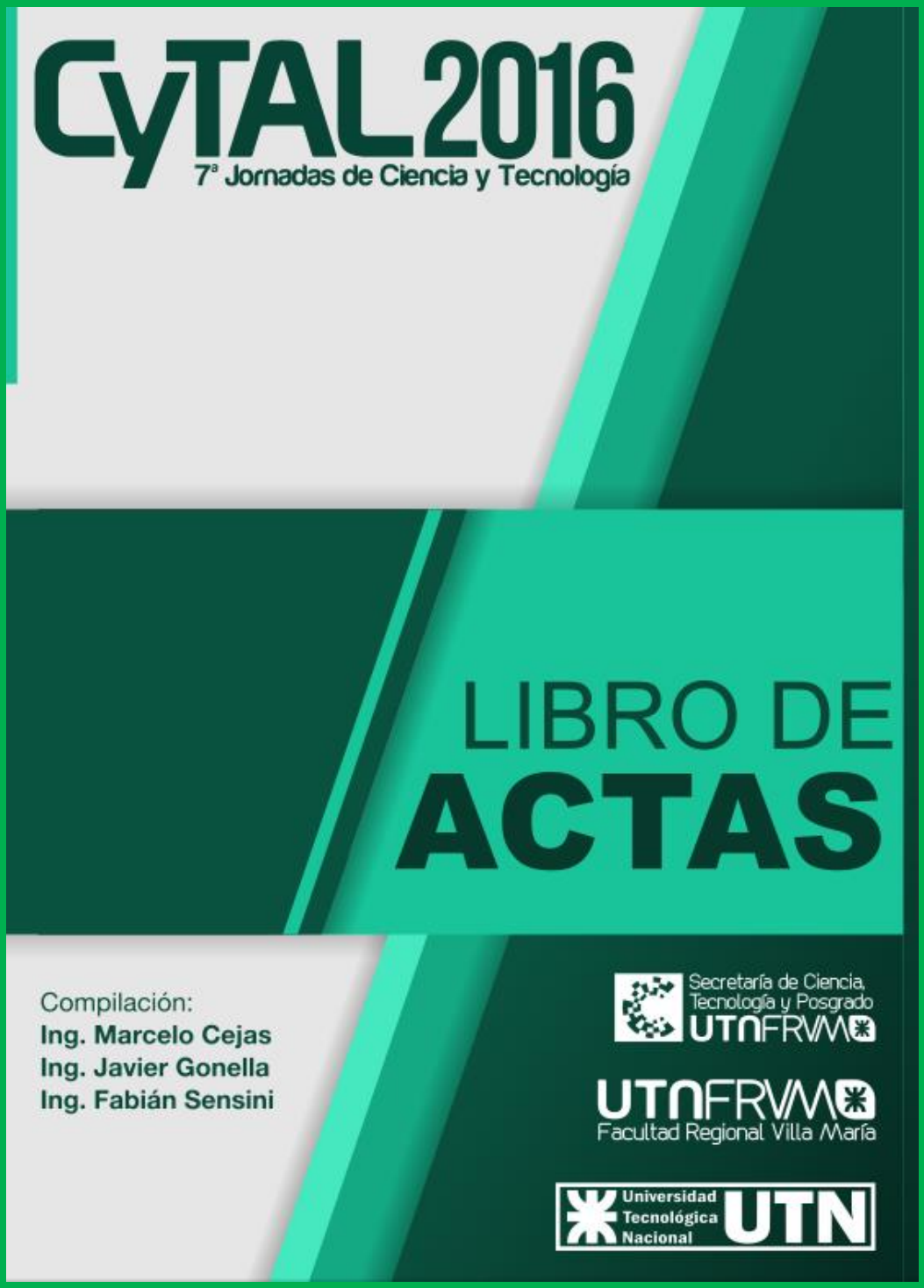
Editorial de la
Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N.
Argentina



Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional - edUTecNe
http://www.edutecne.utn.edu.ar
mailto:edutecne@utn.edu.ar

©[Copyright]

edUTecNe, la Editorial de la U.T.N., recuerda que las obras publicadas en su sitio web son de libre acceso para fines académicos y como un medio de difundir la producción cultural y el conocimiento generados por autores universitarios o auspiciados por las universidades, pero que estos y edUTecNe se reservan el derecho de autoría a todos los fines que correspondan.

Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina
Rector: Ing. Héctor C. Brotto
Vicerrector: Ing. Pablo A. Rosso

edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional
Coordinador General: Ing. Ulises J. P. Cejas
Responsable de Ediciones: Ing. Eduardo Cosso
Área de Promoción y Comercialización: Fernando Cejas
Área Pre-prensa y Producción: Ing. Carlos Busqued
Área Publicaciones en Web: Téc. Bernardo H. Banega
Coordinador del Comité Editorial: Dr. Jaime A. Moragues
Asesor Académico: Dr. Marcos Cohen

Facultad Regional Villa María – UTN
Decano: Ing. Pablo Andrés Rosso
Vicedecano: Ing. Franco Salvático
Secretaría General: Ing. Norberto Gaspar Cena
Secretaría Administrativa: Cr. Sergio Miguel Gilabert
Secretaría Académica: Ing. Odilia Martha Brun
Secretaría De Extensión Universitaria: Ing. Huber Gabriel Fernández
Secretaría De Ciencia, Tecnología Y Posgrado: Esp. Ing. Marcelo Oscar Cejas
Secretaría De Infraestructura: Ing. José Luis Catalano
Secretaría De Asuntos Estudiantiles: Ing. David Jesús Belamate

REUN
Red de Editoriales de Universidades Nacionales

edUTecNe

Prohibida la reproducción total o parcial de este material sin permiso expreso de edUTecNe

7ª Jornadas de Ciencia y Tecnología
CyTAL 2016

Libro de Actas

Marcelo O. Cejas, Javier N. Gonella, Fabián M. Sensini
(Compiladores)

ISBN (versión libro) 978-987-1896-61-5

edUTecNe

Buenos Aires, 2016

Prólogo a la 7° Edición

Haber llegado a la séptima edición bianual de las Jornadas de Ciencia y Tecnología para alumnos de la FRVM debería considerarse, per se, como un logro alcanzado a partir de una política institucional que, sostenida a lo través de distintas gestiones de gobierno, ha demostrado el compromiso de la Regional en alentar la participación de sus estudiantes en actividades de ciencia y tecnología como una continuidad natural del trabajo académico que se desarrolla en sus aulas.

Sin embargo, ante el requerimiento del Sr. Secretario de CyT, Ing. Marcelo Cejas, de elaborar este prólogo he creído necesario revisar hechos fehacientes que demuestren cual fue el progreso alcanzado por este evento desde su creación.

Comenzando por recordar el significado del verbo **progresar,** de acuerdo a la Real Academia Española -RAE- encontramos literalmente: “avanzar, mejorar, hacer adelantos en determinada materia…”. En función de esto, un simple análisis retrospectivo debería resultar suficiente para validar la aseveración enunciada en el primer párrafo.

No obstante, examinado desde una óptica ingenieril, parecería que, si dicho requerimiento no estaba respaldo por un análisis riguroso de la cuestión y no era validado matemáticamente con una herramienta que permitiera cuantificar de algún modo dicho progreso, la tarea quedaría inconclusa.

Tratando de resolver la cuestión recordé que en una reunión de trabajo con el prestigioso colega chileno y director del Centro de Información Tecnológica, Dr. José O. Valderrama Méndez, comentábamos acerca del impacto que generan los distintos modos de transferir el conocimiento científico-tecnológico, derivando luego la charla a un curioso análisis que él realizara al encontrarse en una situación semejante cuando elaborara el prólogo de la 10° edición del Congreso Internacional CAIP´2011. Para lo cual se basó en hechos historicos del evento relacionándolos en base a una progresión geométrica, tomando el 10 como un “número mágico” (*).

El compartir, con su generosidad habitual, dicha información fue el disparador que permitió desarrollar un análisis semejante, aplicado ahora a nuestras Jornadas. Así, recurriendo de nuevo a la RAE podemos encontrar que **progresión**, deriva del latín **progressio** y significa: “sucesión de números o términos algebraicos entre los cuales hay una ley de formación constante”.

La cuestión se limitaba entonces a analizar si se podría tomar el número de esta edición como “número mágico” y partiendo de él validar el progreso alcanzado. Basado en tal premisa y considerando “Ingenierilmente aceptable” el redondear valores con un error absoluto de 7 % para ciertos ítems específicos, es posible entonces presentar los resultados de la evaluación de datos históricos de las jornadas CyTAL, relacionados en dos progresiones. La primera aritmética, cuyo análisis se muestra en la tabla 1 y la segunda geométrica, que es resumida en la tabla 2.

Tabla 1: Progresión aritmética de hechos relacionados con las respectivas ediciones

Valor	Ítem
7 x 1 = 07	Ediciones bianuales de las Jornadas CYTAL desde su creación en 2004…
7 x 2 = 14	Años transcurridos desde la primera convocatoria realizada en 2002…
7 x 3 = 21	Número de instituciones cuyos alumnos participaron del evento a la fecha…
7 x 4 = 28	Promedio de evaluadores que han colaborado en las distintas ediciones…
7 x 5 = 35	Promedio de trabajos presentados desde su primera edición…
7 x 6 = 42	Promedio de tutores/directores de trabajos participantes desde su creación…
7 x 7 = 49	Promedio de trabajos desde la edición 2012, con partición de alumnos de otras instituciones…
7 x 8 = 56	Número de ponencias en la última edición realizada en 2014…
7 x 9 = 63	Promedio de autores que han participado de sus distintas ediciones…
7 x 10 =70	Total de ponencias presentadas en la edición 2016

Tabla 2:Progresión geométrica de hechos relacionados con las respectivas ediciones

Valor	Ítem
7^0 = 1	Primer Regional organizadora de este tipo de eventos orientado a alumnos…
7^1 = 7	Edición actual, con máxima convocatoria de trabajos y participación activa (autores + tutores + evaluadores) …
7^2 = 49	Promedio de alumnos que han participado como autores, por edición…
7^3 = 343	Número total de trabajos presentados desde su creación, de acuerdo a la proyección sigmoidea de crecimiento histórico, prevista a alcanzar en la 8° edición…
7^4 = 2.401	Personas que habrían accedido a la información presentada considerando un factor de visibilidad de 10, estimada como lógica para este tipo de eventos...
7^5 = 16.807	Accesos estimados desde su disponibilidad como libros digitales de libre acceso en la WEB de edUTecNe, considerando un incremento mínimo de un orden de magnitud en su visibilidad…

Del análisis de la información precedente podríamos preguntarnos: ¿Qué valor de alguna de tales progresiones podría corresponder al total de respuestas dadas por los alumnos que participaron de las Jornadas a las distintas problemáticas enfrentadas…? Muchos de ellos hoy ya profesionales activos: ¿Cuantos aportes innovadores habrán realizado y que efecto ha tenido en la sociedad…? O mejor aún: ¿Cuantos más realizarán en la medida que, a la sólida formación

técnica recibida, sumen el indiscutido valor de la experiencia propia…? ¿Qué efecto multiplicador tendrá esto en la capacitación de nuevos recursos humanos cuando algunos desempeñen el rol de docentes y/o investigadores y sean capaces de transmitir la necesidad de ir por más?
No resulta posible cuantificarlo, pero si intuir que ha de ser importante y que, seguramente, seguirá aumentando porque la generación de conocimientos, a diferencia de un recurso natural, no se agota, sino que se multiplica en la medida que se lo emplea contando únicamente como límites con aspectos éticos y morales que no deben ser trasgredidos en la búsqueda de beneficios económicos o personales que se encuentren enfrentados con el bien común.

Esperando que el lector coincida con la apreciación, es posible aseverar entonces que las Jornadas CyTAL han alcanzado, a la fecha, un horizonte de crecimiento sostenido y su consolidación definitiva, representando así un motivo de orgullo institucional que deberá ser mantenido con el compromiso de todos y revalidado en cada una de sus futuras ediciones.

Como hecho anecdótico se menciona que el Programa de Promoción para la Iniciación en Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica de los Alumnos de la Facultad Regional Villa María de la UTN, cuya reglamentación establece la "Creación de un Espacio Institucional para la Difusión de Actividades de I + D + i Desarrolladas por Alumnos…" y reconoce de manera formal a las **Jornadas CyTAL** "como un espacio de difusión que permitirá mostrar a la comunidad académica la labor desarrollada por aquellos que se inician en actividades vinculadas con la creación y aplicación del conocimiento" designándolas además de interés institucional, fue aprobada por Res. de Decanato fechada en julio de 2007, (esto es /07/07) y refrendada por el Consejo Académico mediante Res. N° 711/07.

Finalmente, para de no extender en demasía éste prólogo, se deja al libre interés de los lectores su análisis posterior, a efectos de evaluar si es posible la inclusión de tales datos como un nuevo valor significativo de algunas de las progresiones citadas y se agradece al Comité Organizador su deferencia al permitirme contribuir con esta revisión.

Mg. Ing. Luis A. Toselli
Docente – Investigador
GISIQ - FRVM – UTN

(*) Información Tecnológica. En síntesis. 22 (4) 1, 2011.

ÍNDICE DE TRABAJOS

Código	Nombre del trabajo	Pág.
CYTF-001	Agent SocialMetric: Entrelazando ARS y agentes inteligentes dentro del marco educativo	9
CYTF-002	Acuaponia. Un sistema productivo innovador y sustentable.	15
CYTF-003	Evaluación dinámica de los suelos calcáreos de la provincia de Entre Ríos	21
CYTF-004	Estudio de la respuesta mecánica de suelos arcillosos naturales y estabilizados con ligantes hidraúlicos utilizados en las subrasantes de pavimentos en la Provincia de Entre Ríos	27
CYTF-005	Aportes para la imputación de responsabilidades por contaminación armónica en redes eléctricas	33
CYTF-006	Expendedora automática de agua potable	39
CYTF-007	Análisis del aprovechamiento de hidrógeno en la eletro floculación de un efluente industrial	45
CYTF-008	Evaluación de mezclas colorantes empleadas en la determinación de arsénico por el método del azul de molibdeno	49
CYTF-009	Diseño y construcción de una máquina para ensayos de fatiga por flexión rotativa	55
CYTF-010	Equipo para la determinación de coeficientes de dilatación unidimensional y esfuerzos térmicos	61
CYTF-011	Robot móvil en tiempo mínimo: Desafío de la NASA	67
CYTF-012	Caracterización fisicoquímica de propóleos y determinación de compuestos fenólicos por HPLC	73
CYTF-013	Descripción sensorial cuantitativa de mieles florales	79
CYTF-014	Morteros elaborados con agua tratada	85
CYTF-015	Influencia de la reacción de Maillard a pH ácido sobre las espumas obtenidas a partir de beta-lactoglobulina glicosilada con lactosa	91
CYTF-016	Análisis de la eficiencia del aluminio como sustituto del acero para su empleo en equipos de transporte de carga tipo bitren.	97
CYTF-017	Caracterización de electrolizadores	103
CYTF-018	Monitoreo de radiación no ionizante en la ciudad de Santa Fe	109
CYTF-019	Campos electromagnéticos en instalaciones de alta tensión	115
CYTF-020	Diseño de un electro-floculador para la eliminación de arsénico en agua	121
CYTF-021	Influencia de la homogeneización de muestras en los resultados de análisis microbiológicos de carne vacuna	127
CYTF-022	Aislamiento y selección de bacterias ácido lácticas para la obtención de ácido poliláctico a partir de lactosuero	133
CYTF-023	Optimización de las propiedades del hormigón para utilización en sistema constructivo de cubierta existente	139
CYTF-024	Biodegradación de resinas de fenol-formaldehído modificadas con ligninas por ataque de hongos filamentosos	145
CYTF-025	Optimización estructural de armaduras planas por medio de algoritmos genéticos	151
CYTF-026	Caracterización de parámetros de funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica en función del tiempo	157
CYTF-027	Herramienta de software pedagógica para identificar relaciones y comportamientos en entornos de educación virtual	163
CYTF-028	Diseño, construcción y validación de un motor cohete de propulsante sólido a base de sacarosa	169
CYTF-029	Construcción de dispositivo para determinar la resistencia al desgaste erosivo en seco de materiales de ingeniería	175
CYTF-030	Resinas de melamina-formaldehído destinadas a la producción de laminados decorativos: cambios estructurales y cinética de gelificación durante la etapa de impregnación	181
CYTF-031	Análisis del comportamiento de cuerpos de siembra con sistemas de resorte para comparación futura con sistemas de pulmón neumático	187
CYTF-032	Diseño paramétrico de estéreo estructuras con optimización de secciones	193
CYTF-033	Variación en la calidad de aguas subterráneas de la cuenca del Río Tercero o Ctalamochita	199

Código	Nombre del trabajo	Pág.
CYTF-034	Propiedades superficiales y comportamiento tribológico de recubrimientos en base carbono depositados sobre diferentes aceros	205
CYTF-035	Modelo de análisis térmico de estructuras de hormigón a edades tempranas	211
CYTF-036	Tecnología CASE para modelado CIM con BPMN y su Transformación a vistas de modelos PIM con UML	217
CYTF-037	Elaboración de dietas de engorde con diferentes porcentajes de harina de soja para Tilapia nilotica (Oreochromis niloticus) cultivada en sistemas de recirculación	223
CYTF-038	Construcción de una máquina de ensayos de adhesión para recubrimientos finos tipo Scratch Test basada en la norma ASTM C-1624	229
CYTF-039	Resolución de problema tecnológico en soldadura de proceso automotriz mediante la metodología TRIZ	235
CYTF-040	Optimización de la salida del estacionamiento en hora pico	241
CYTF-041	Resina poliéster insaturada modificada con aceite de soja funcionalizado destinada a la producción de superficie sólida: síntesis y caracterización	247
CYTF-042	Análisis de reducción de tamaño y aislado proteico a partir de harina de soja de extracción	253
CYTF-043	El control de los hormigones reciclados usados como agregados en nuevos hormigones de cemento Portland. Método Norma IRAM 1674	259
CYTF-044	Enseñanza de procesos de optimización en el diseño estructural a través del uso de objetos de aprendizaje en el campo de la ingeniería civil.	265
CYTF-045	Dispositivo para una medición directa de la presión del gel de RAS	271
CYTF-046	Resistencia a compresión del hormigón de cemento Portland en una estructura determinada por madurez	277
CYTF-047	Vulnerabilidad estructural del puente de HºAº sobre el Río Diamante en la RP165, San Rafael	283
CYTF-048	Comportamiento al desgaste y corrosión de AISI 316L nitrurado por plasma y recubierto con TiN	289
CYTF-049	Aglomerado papel - cemento: alternativa de uso en la industria de la construcción	295
CYTF-050	Caracterización mecánica de especies de álamo como aporte a la norma CIRSOC 601	301
CYTF-051	Desarrollo de una herramienta en apoyo a la gestión energética en PyMEs avalando la norma ISO 50001	307
CYTF-052	Transporte terrestre de carga. Análisis comparativo de rendimiento y competitividad	313
CYTF-053	Sistema de indicadores de riesgo de deserción para la UTN-FRLP, Análisis sobre alumnos ingresantes en los años 2013/2015	319
CYTF-054	Pentosanos totales y solubles en la fracción harina de variedades de trigos argentinos	325
CYTF-055	Conocimientos previos de mecánica clásica de ingresantes a ingenierías en la UTN - FRSF: Descripción, análisis y diagnóstico	331
CYTF-056	Revisión de las variables que afectan el rendimiento de la reacción de transesterificación para la producción de etil ésteres de ácidos grasos	337
CYTF-057	Evaluación experimental de técnicas de refinado de aceites vegetales comestibles	343
CYTF-058	Aplicación de la destilación molecular de camino corto a la separación de macromoléculas de aceites vegetales	349
CYTF-059	Fraccionamiento con urea de etil ésteres de ácidos grasos obtenidos por transesterificación de aceites vegetales	355
CYTF-060	Evaluación de extractos vegetales naturales en la inhibición de bacterias del género Leuconostoc	361
CYTF-061	Implementación de un sistema de doble autenticación mediante Password de un solo uso para la autogestión docente en la UTN-FRVM	367
CYTF-062	Aplicación de reglas de asociación para la detección de patrones de comportamiento en sistema académico universitario	373
CYTF-063	Implementación de redes señuelo como técnica de mejoramiento de la ciberdefensa	379
CYTF-064	Simulación de colisiones de mensajes ADS-B	385

AGENT SOCIALMETRIC: ENTRELAZANDO ARS Y AGENTES INTELIGENTES DENTRO DEL MARCO EDUCATIVO

Antonieta Kuz[1], Mariana Falco[1], Roxana Giandini[1,2]
[1] LINSI, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata,
La Plata, Buenos Aires, Argentina.
{akuz, mfalco} @frlp.utn.edu.ar
[2] LIFIA, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata.
La Plata, Buenos Aires, Argentina.
giandini@info.unlp.edu.ar

Resumen

En el presente texto se explorará una propuesta metodológica denominada Agent SocialMetric cuyo objetivo principal es evidenciar y clarificar la utilización de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la formación docente, mediante el uso de Agentes Inteligentes y el Análisis de Redes Sociales. En este marco, se ejecutó un caso de prueba con la herramienta para determinar las posibilidades de su aplicación y ayuda al profesor.

Palabras claves: ARS, TICs, Agentes Inteligentes, Ámbito educativo

1. Introducción

El paso del tiempo y el consecuente desarrollo e incremento de los avances tecnológicos, han derivado en implicaciones que permanentemente modifican la vida del hombre y transforman todos los elementos de su entorno. Sin lugar a dudas, en este siglo XXI la humanidad ha entrado en una etapa de transición hacia nuevos paradigmas y nuevos valores; siendo factible de percibir la sinergia entre los procesos mentales y la interactividad proporcionada por las tecnologías. Una importantísima contribución a los procesos comunicacionales es el concepto de red, verdadera estructura organizativa que permite agrupar una amplia diversidad de participantes, multiplicando las interacciones en función de la producción de conocimientos. Las redes sociales representan la manera en que se relacionan las personas, los alumnos en el aula, los colegas en su trabajo, entre otros [7]. Ahora bien, el Análisis de Redes Sociales (ARS) [8] se ha desarrollado como una herramienta de medición y análisis de las estructuras sociales que emergen de las relaciones entre diversos actores sociales.

A raíz de lo anterior, las redes de relaciones informales pueden mapearse y gestionarse para incrementar el aprendizaje organizacional a través de un enfoque metodológico del estudio de las interacciones humanas, representadas mediante redes sociales. Los Agentes Inteligentes de Software son sistemas de información que proveen de información a los usuarios para ayudarlos a tomar decisiones. Muchas de las investigaciones en torno a los Agentes de Software están centradas en adaptar la enseñanza, a las acciones y características de los estudiantes. El objetivo general de Agent SocialMetric es proveer una metodología con soporte tecnológico, basada en la integración del ARS y el desarrollo de un agente de software de interfaz, denominado Albert, que asista al profesor en un ambiente áulico. El fin anexo es la creación y obtención del asistente virtual con diálogo emocional, que pueda interactuar a través de una interfaz gráfica y así brindar al docente en forma dinámica, una descripción de la estructura interna de los grupos, su organización, cohesión y la identificación de los individuos que revisten de

significancia dentro del aula; determinando los problemas de inadaptación social es decir aquellos alumnos conflictivos, rechazados, aislados y/o que sufren de *bullying.*

De la misma manera, pueden determinarse los líderes que mantienen los lazos informales en el grupo. Se procurará a través del presente trabajo evidenciar que con Agent SocialMetric es viable proveerle al profesor información del curso mediante la extracción de conocimiento de la red que lo compone, a través de diferentes técnicas y métodos. Partiendo de la base que la finalización de la escuela secundaria marca un punto de inflexión en la vida de los jóvenes y que es un nuevo y desconocido camino el que deben transitar, con numerosos desafíos y prácticas nuevas; es también objeto de este trabajo exponer los aspectos funcionales y técnicos de la herramienta software presentada, haciendo foco en un caso de estudio aplicado en el ámbito de una comisión del curso de ingreso a Ingeniería que permitirá vislumbrar no sólo las facilidades de su utilización sino también la importancia que trae consigo la información obtenida de los grafos generados a partir de las relaciones que se establecen entre los alumnos.

2. La Herramienta Agent SocialMetric

En el proceso de enseñanza, la vida social y las relaciones informales que los estudiantes establecen en el aula, encarnan un tema de interés y forman parte del proceso formativo de los mismos. Por lo tanto, los docentes deben asumir la responsabilidad de orientar las claves relacionales entre los estudiantes como una vía para prevenir, intervenir y favorecer las relaciones personales saludables y equilibradas entre ellos, mejorando así el clima de convivencia escolar. El Análisis de Redes Sociales ha sido desarrollado como una herramienta de medición y análisis de las estructuras sociales que emergen de las relaciones entre diversos actores sociales como individuos, organizaciones, naciones, entre otros.

Actualmente, existen diversas herramientas de software que permiten llevar a cabo el ARS y representar las redes sociales [2][3][4][5][7], algunas de las cuales son aplicaciones de plataformas independientes, fácilmente accesibles, utilizadas para realizar investigaciones diversas, aplicándose a diferentes fuentes de datos con el fin de obtener distintos niveles de análisis. Las herramientas mencionadas son de gran utilidad pero están destinadas a usuarios que cuentan con conocimientos vinculados específicos a la temática de ARS. A través de Agent SocialMetric se busca alcanzar la retroalimentación entre el profesor y el agente, quien determinará y mostrará al docente la profundidad y el índole de relaciones sociales entre los alumnos. Dicha herramienta prototipo se apoya y sustenta en una idea de educación que se aleja del sistema individual de aprendizaje, basándose en una trama de intercambio de conocimientos entre personas en desarrollo constante.

2.1 Modelo de Funcionamiento

Agent SocialMetric [6] es una herramienta interactiva de código abierto que cuenta con un agente de interfaz conversacional llamado Albert, el cual es una entidad de software y es el encargado de interpretar la relación existente en la atmósfera de convivencia que se desarrolla entre los alumnos y asistir al docente en la actuación del profesor como conductor y organizador del clima en el aula y de las relaciones interpersonales para la convivencia y el aprendizaje en dicho ambiente. El modelo está dividido en las dos secciones siguientes:

- **Entrada de datos**: a través de test sociométricos u otras fuentes. Al incluir respuestas negativas, podremos diferenciar entre los alumnos rechazados y

abandonados, y la identificación de las polarizaciones sociales de un gran número de rechazos. Este cuestionario ha sido cargado dentro de la herramienta Agent SocialMetric y el contenido de estas preguntas nos permitió recabar y obtener un dataset.

- **Estructura Interna**: donde se mapean los perfiles personales de cada alumno, las relaciones entre los alumnos y se contextualiza la red que entrelaza las relaciones de los mismos. A partir de esta información se obtendrá un modelo de red social o sociograma, que le permitirá determinar al agente la naturaleza e intensidad de las relaciones interactivas que se dan dentro de un grupo, como así también el grado de cohesión y la estructura de un grupo así como la posición que ocupa cada miembro dentro de él. Además en este modelo el agente será el encargado de comunicarse con el profesor.

2.2. Características del Agente Conversacional Albert

Es posible comprender y visualizar de qué forma el agente conversacional Albert interactúa estableciendo un chat con el docente, mediante la ejecución de una respuesta para cada entrada, y la búsqueda del estado requerido dentro del conjunto de estados producidos en función de la entrada recibida [10]. El agente brindará respuestas al docente a través de la visualización de las interacciones (en grafos), la detección de alumnos aislados, líderes informales (aquellos alumnos que tienen la capacidad que inviste el alumno en ocupar una posición intermediaria en las comunicaciones informales entre el resto de los estudiantes) y relaciones de amistad.

3. Caso de estudio

El propósito principal del presente caso de estudio es vislumbrar el funcionamiento de Agent SocialMetric en la aplicación directa en el ámbito áulico; lo cual permitirá realizar en paralelo un análisis de la herramienta propiamente dicha a partir de la interacción con los alumnos y profesores. A través del ARS, se intentará profundizar en el conocimiento de los fenómenos sociales en el aula. Con el fin de constituir la población del caso de estudio, se ha seleccionado un curso de 20 alumnos de entre 17 a 19 años que se encuentran en el ingreso a la Universidad. Para proteger la identidad de los estudiantes, hemos utilizado *labels* desde A1 a A20. La sociometría estudia la estructura socio-afectiva de los grupos a través del análisis de las relaciones que allí existen.

Uno de los medios para medir las relaciones sociales es el test sociométrico, que consiste en una serie de preguntas a partir de las cuales, se les solicita a cada uno de los miembros del grupo, en este caso alumnos, que señalen con cuáles de sus compañeros desearían asociarse para desarrollar una cierta actividad obteniendo una relación de las preferencias que existen en el grupo, aquí y ahora, a través del testimonio de sus miembros [1]. Particularmente y con el fin explícito de determinar las relaciones entre los alumnos seleccionados, se utilizó el test sociométrico, delimitando el siguiente set de preguntas:

1. *¿A quiénes elegirías como los dos mejores compañeros?*
2. *¿Con qué dos compañeros no querrías compartir el banco?*
3. *¿A quiénes dos compañeros elegirías para compartir el banco?*
4. *¿A quiénes elegirías como tus dos mejores amigos?*

El conjunto de preguntas correspondientes a las encuestas han sido cargadas en Agent SocialMetric. A partir de las preguntas y el conjunto de respuestas por cada alumno involucrado en el caso de prueba, se conforma la base de conocimientos de Albert que en este caso maneja diferentes niveles de conocimiento y tiene una estructura organizada para

este contexto, a través de un conjunto de categorías ordenadas. Lo que un usuario le dice al agente es una entrada y lo que él le responde es una salida.

3.1. Resultados

Un grupo alcanza lo que se propone cuando está cohesionado, de allí que la unidad de esfuerzos y objetivos comunes lo fortifica, le facilita sus logros y lo lleva a altos niveles de desarrollo, de manera que la cohesión es imprescindible, de ella depende la ponderación que tiene la membresía de su imagen, su atractivo e incluso su fuerza de pertenencia o el deseo de mantenerse en él. Una mejor comprensión de la dinámica social de una clase permitirá a los profesores utilizar métodos grupales de enseñanza de una forma más eficaz.

a. Visualización de las interacciones: En la Figura 1 es factible visualizar un ejemplo de grafo que surge a partir de la pregunta 1: *¿A quiénes elegirías como los dos mejores compañeros?*. Albert puede evidenciar la fuerza de un vínculo el cual es una combinación del tiempo, confianza mutua y los servicios recíprocos que caracterizan a dicho vínculo. En dicha estructura de grafos, el docente podrá observar la fuerza e intensidad de los vínculos, ya que en los mismos se pueden visualizar las relaciones de diferente grosor desde el punto de vista del ARS. Mediante los grafos obtenidos de las respuestas a las preguntas planteadas en el test sociométricos, ha sido factible inferir los patrones de organización social a través del análisis topográfico de dichos grafos.

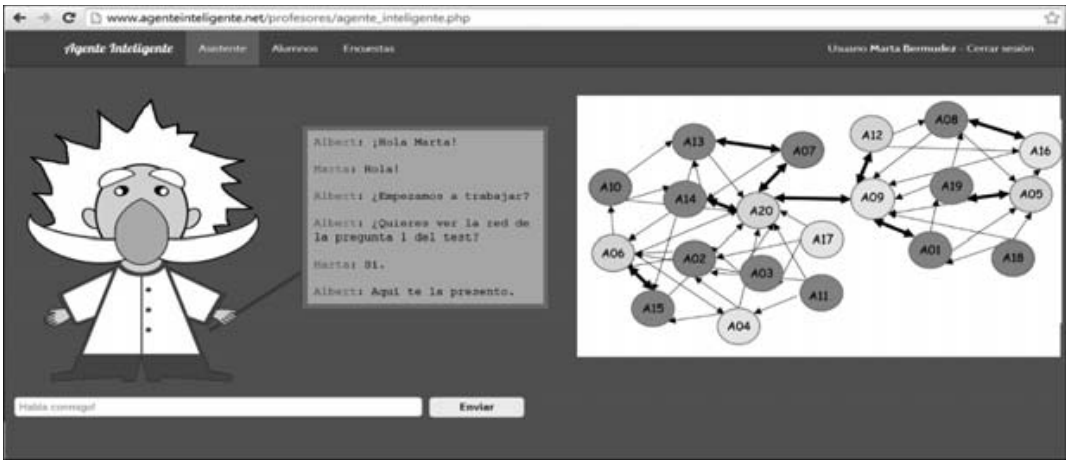


Fig. 1: Grafo para la pregunta 1

b. Detección de los alumnos aislados: Todos los alumnos necesitan una conexión, un lazo con sus compañeros. No sólo es que el alumno aislado no tiene la oportunidad de aprender las habilidades necesarias para desarrollar y mantener las amistades en el aula, su trabajo escolar también puede verse afectado ya que su atención se desvía a las preocupaciones sociales. Es factible denotar las elecciones que tuvieron en cuenta los alumnos a la hora de elegir a sus compañeros para no compartir el banco. A partir del análisis del grafo para la pregunta 2, los alumnos aislados resultaron ser: A04, A05, A07, A08 y A10.

c. Detección de los líderes: Considerando que los líderes informales poseen los mayores poderes de intermediación y son los que controlan los flujos de comunicación informal, es factible mencionar que a partir de dicha figura se desprenden dos líderes informales: A09 y A20, quienes encabezan dos subgrupos bien diferenciados. Es decir, que son esencialmente comunicadores muy cualificados. Dichos alumnos son tanto verbalmente

elocuentes, pero también capaces de comunicarse con los seguidores (en inglés, *followers*) en un nivel profundo y emocional. Ellos son capaces de articular una visión convincente o cautivante, y asimismo, de despertar emociones fuertes en los seguidores [9].

d. Detección de las relaciones de amistad: Las interacciones que se desarrollan dentro del contexto de las amistades de los alumnos producen una cantidad importante de aprendizaje y de desarrollo. A través de sus experiencias con los amigos, los estudiantes aprenden a mantener relaciones sociales, a comprender y a acomodar los sentimientos y las acciones de otros, y a ajustarse a normas y rutinas sociales. Está claro pues que, si uno de los objetivos principales de la escuela es convertir a los alumnos en adultos adaptados y socialmente competentes, los profesores tienen que prestar atención a la vida social del aula.

La amistad es una relación social que vincula el mismo rol (amigo-amigo). En el grupo existen diversos tipos de relaciones de amistad, debido a que los lazos pueden ser simples (unidireccionales) o bidireccionales (ambos se eligen entre sí, obteniendo una amistad de fuertes rasgos).

Conclusiones

Al establecer una nueva configuración del modo en que los educadores y los educandos pueden tener acceso a los conocimientos y la información, las Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación plantean un desafío al modo tradicional de concebir el material pedagógico, los métodos y los enfoques tanto de la enseñanza como del aprendizaje. El uso de esas tecnologías está en ascenso y ahora es posible obtener otros datos por medio de los cuales se puede enseñar, formar y evaluar a los alumnos. Agent SocialMetric revela el clima del aula, basado en las relaciones sociales que en él fluyen, confiable, de fácil acceso, disponible cuando la necesite, que da lugar a una experiencia docente dinámica. El fin de la herramienta radica en convertirse en el medio que le permita al docente prever cómo actuar en el aula para anticipar su comportamiento hacia el alumnado, mejorar las estrategias pedagógicas y fortalecer las bases en la interacción entre los alumnos y en los posibles focos de conflictos.

En esta línea de investigación (perteneciente a un PID-UTN de redes sociales y agentes de software aplicados a la educación) se encuadra en el desarrollo de un modelo en donde se integra e incorpora el ARS en particular la Sociometría junto con la creación y el desarrollo de un agente conversacional pedagógico llamado Albert, que podrá establecer una conversación con el docente de manera autónoma y fluida. El agente, a través de este diálogo con el profesor, le brindará una descripción y análisis de las interacciones de los estudiantes, para que el docente pueda intervenir oportunamente, mejorar las relaciones y prevenir posibles conflictos.

A través del caso de estudio con Agent SocialMetric fue factible vislumbrar la estructura del aula (y el clima social) a partir de preguntas claves que permitieron ahondar en la determinación de los roles estudiantiles en el aula. Para conocer la relación entre los miembros de un grupo y poder intervenir en él fue de suma utilidad el test sociométrico realizado junto con los grafos e índices obtenidos. Como trabajos futuros, se intentará efectuar diversos test de usabilidad de la herramienta a un conjunto de docentes para efectuar una evaluación de la misma. Por otro lado y en relación a la herramienta se buscará incorporar un historial de conversación con los distintos docentes, y con ello realizar un seguimiento de los mismos en función de las preguntas realizadas e introducir un módulo con mayor carácter conversacional de reflexión.

Agradecimientos

Agradecemos a las autoridades de la UTN FRLP (Universidad Tecnológica Nacional -Facultad Regional La Plata) por el apoyo brindado, así como al LINSI.

Referencias

[1] J.M. Bezanilla. *Sociometría: Un Método de Investigación Psicosocial*. 2011.
[2] M. Castells y C.M. Gimeno. *La era de la información: economía, sociedad y cultura*. Número 1 in La era de la información: economía, sociedad y cultura. Siglo Veintiuno, 1999.
[3] A. Álvarez Ferrando, A. Kuz, M. Falco. *Gephi: Análisis de interacciones en un foro, a través de ARS en el aula.* Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología (TE&ET). Red de Universidades Nacionales con Carrera en Informática – Universidad Nacional de La Plata (RedUNCI – UNLP) Número 11, La Plata, Buenos Aires, Argentina. ISSN 1850-9959. Diciembre 2013.
[4] C. Lozares. Bases socio-metodológicas para el análisis de redes sociales, ARS. *EMPIRIA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales*, 10:9–35, 2005.
[5] S. A. Matei. *Analyzing Social Media Networks with NodeXL: Insights from a Connected World* by Derek Hansen, Ben Shneiderman, and Marc A. Smith. *Int. J. Hum. Comput. Interaction*, 27(4):405–408, 2011.
[6] M. Clyde. *Social Networks in urban situations: Analyses of personal relationships in Central African towns*. University Press, Manchester, 1969.
[7] W. De Nooy, A. Mrvar, y V. Batagelj. *Exploratory Social Network Analysis with Pajek*. Structural Analysis in the Social Sciences. Cambridge University Press, 2011.
[8] S. Wasserman, K. Faust y J.L. Molina. *Análisis de redes sociales. Métodos y aplicaciones:*. Clásicos contemporáneos. Centro de Investigaciones Sociológicas, 2013.
[9] M. S. Granovetter. *The strength of weak* ties. The American Journal of Sociology, 1973.
[10] J. Cassell. Embodied Conversational Interface Agents. Commun. ACM, 43(4):70–78, apr 2000.

ACUAPONIA. UN SISTEMA PRODUCTIVO INNOVADOR Y SUSTENTABLE.

Angelina Gorosito[1], Aldo N. Zanazzi[1], Federico Cecchi[1] y Julio Imeroni[1] Tutor: Dr. Juan C. Mallo[1,2]

e-mail: jcmallo@mdp.utn.edu.ar

1. Unidad Académica Mar del Plata (UTN). 2. Comisión de Investigaciones Científicas Bs.As. (CIC).

Resumen

Esta experiencia se realizó en el Laboratorio de Acuicultura (U.A. MdP-UTN), con el objetivo de producir peces y vegetales reduciendo la tasa de recambio de agua y su descarte hacia el ambiente, resultando en un uso más sustentable. Esto se traduce en menores costos operativos del sistema, aumentando la rentabilidad productiva y beneficiando al medio ambiente. En nuestro país aún no se han implementado sistemas de producción de acuaponía con la especie *Oreochromis niloticus* (Tilapia del Nilo), lo cual hace más novedosa esta experiencia. Esta experiencia se realiza en un sistema de recirculación con un mínimo recambio de agua semanal. El sistema utilizado para el cultivo hidropónico es el denominado NFT (*Nutrient Film Technique*) y para los peces SRA (Sistema de recirculación acuícola). Como resultado se obtuvo un buen crecimiento de las hortalizas, cosechando cada dos meses hierbas aromáticas y ciboulette y cada tres meses verduras de hoja y tomates cherry; respecto a los peces se obtuvieron a los tres meses ejemplares de 300gs. Como resultado se obtuvieron vegetales y pescado de muy buena calidad, fortalecido por parte de un panel de evaluación sensorial con una muy buena aceptación. En base a todo lo expuesto podemos concluir que este novedoso sistema de producción alternativo no solo es factible de realizar a pequeña escala, sino también extrapolarlo a mediana o mayor escala y en espacios de poca dimensión.

Palabras clave: vegetales, peces, producción, acuicultura, sustentabilidad

Introducción

La acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos vegetales y animales que involucra intervenciones en el proceso de cría para aumentar la producción. Es probablemente, en la última década el sector de producción de alimentos de más rápido crecimiento y representa casi el 50 por ciento del pescado destinado a la alimentación a nivel mundial (FAO,2014). Los métodos de producción acuícola se han desarrollado en varias regiones del mundo, y por lo tanto se han adaptado a las condiciones ambientales y climáticas específicas de estas regiones. Las cuatro categorías principales de la acuicultura incluyen sistemas abiertos de agua (por ejemplo, jaulas, balsas, etc.), el cultivo en estanques, canales de flujo continuo y sistemas de recirculación acuícola (SRA).

En los sistemas de recirculación acuícola, se cultivan organismos acuáticos en forma intensiva, esto implica utilizar pequeños espacios para lograr altas producciones, a través de la aplicación de tecnologías de tratamiento del agua. Aunque un SRA no es el sistema de producción más barato debido a sus altos costos de inversión, energía y gestión, se puede aumentar considerablemente la productividad por unidad de superficie y es la tecnología más eficiente y utilizada de ahorro de agua en el cultivo de peces. (Kubitza. 2006)

La palabra hidroponía proviene del griego *Hydro* que significa agua y *Ponos* que significa labor, trabajo o esfuerzo; traducido literalmente significaría trabajo en agua (Guzmán Díaz 2004). La acuaponía es la integración de la acuicultura y la hidroponía en un sistema de producción. Los

cultivos hidropónicos son los llamados cultivos sin suelo, estos nuevos sistemas de cultivo no sólo prescinden del suelo, sino también de un sustrato material sólido y en su lugar se utiliza un sustrato liquido, de donde absorberán los nutrientes las raíces para sus procesos metabólicos (Sádaba *et al* 2007). Los sistemas de recirculación acuícolas y cultivos hidropónicos han experimentado una gran expansión en el mundo no sólo por sus altos rendimientos, sino también por su mejor uso de la tierra y agua, métodos simples de control de contaminación, mejora de la gestión de los factores productivos, mayor calidad de los productos y mayor seguridad alimentaria. (FAO 2014).

La acuaponía es una técnica que tiene su lugar dentro del contexto más amplio de la agricultura intensiva sostenible, especialmente en aplicaciones a escala familiar, pueden generar grandes cantidades de alimentos en lugares donde la agricultura basada en el suelo es difícil o imposible. (FAO, 2014).

En este sistema los desechos generados por los peces, son aprovechados por la plantas y transformados en materia orgánica vegetal. Esto ocurre ya que solo una fracción del alimento para los peces (20 a 30 %) se metaboliza y se incorpora como tejido muscular mientras que el resto (excreción, alimento no consumido y diluido) se utiliza como nutriente para el crecimiento de los vegetales (Church & Pond, 1982). Por otro lado los tratamientos convencionales de las descargas de la acuicultura, representa un significativo costo adicional; de esta forma la acuaponía se convierte en una alternativa de tratamiento de las descargas de la acuicultura, más económica y rentable (Adler *et al* 2000).

El nitrógeno cumple funciones vitales dentro de los seres vivos, encontrándose dentro de las plantas tanto en formas orgánicas como inorgánicas. Estas últimas son en realidad de escasa magnitud, presentándose la mayoría como nitratos (NO_3^-), única forma inorgánica capaz de ser almacenada; este último juega un rol esencial en el crecimiento vegetal.

La tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) es un pez de agua dulce con una serie de características biológicas y ecológicas destacables, como rápido crecimiento, resistencia a enfermedades y a condiciones adversas, conversión eficiente del alimento, alta fecundidad, maduración temprana y aceptación de alimentos artificiales, además de brindar proteína de altísima calidad (El-Sayed, 2006; Nguyen & Davis, 2009). Es uno de los principales peces de cultivo de agua dulce en el mundo, ganando popularidad recientemente en los Estados Unidos y algunos países de Europa, también es muy consumida en la República Popular China y actualmente en Latinoamérica (FAO, 2014).

Materiales y métodos

En el Laboratorio de Acuicultura perteneciente a la Unidad Académica Mar del Plata (Universidad Tecnológica Nacional) se trabajó en un sistema de recirculación cerrada donde se combinó el cultivo de distintos vegetales de consumo habitual y la producción de la especie Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Descripción del sistema de recirculación utilizado.

El sistema de cultivo bio-integrado, radicó en la unión del sistema hidropónico NFT (*Nutrient Film Technique*) con el cultivo de peces en un sistema de recirculación cerrada que consta de un tanque de fibra de vidrio ovalado de 3000 litros, un decantador de 100 litros, un filtro biológico de

250 litros y una bomba centrífuga de 1,5HP. La modalidad del sistema consistió en colocar una serie de caños de PVC de 110 mm de diámetro sobre el tanque de engorde de peces. Estos caños fueron perforados en su parte superior, donde se colocaron los recipientes plásticos ranurados con los plantines de vegetales a cultivar. Se utilizó como sustrato grava de pequeña granulometría que permitió que éstos queden fijos y sus raíces suspendidas para alcanzar la película de agua cargada de nutrientes que reingresa luego de la filtración mecánica y biológica. Esta corre con un flujo débil para que las raíces puedan absorber los nutrientes necesarios para su crecimiento. Al atravesar el canal de cultivo el agua cae nuevamente al tanque de peces para que a posteriori regrese al sistema de filtrado. (Figura 1).

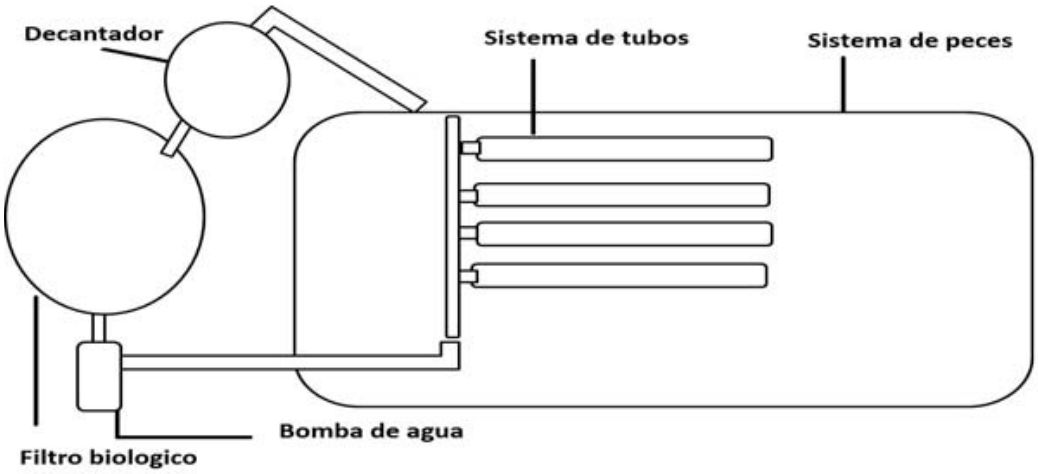


Figura 1. Esquema del sistema acuapónico.

Sistema de filtrado.

El sistema está compuesto por tanques de cultivo y filtros construidos en plásticos reforzado con fibra de vidrio los cuales ofrecen resistencia y un fácil manejo. Se trabajó con un tanque tipo “raceway” de forma ovalada con la salida del agua en uno de los extremos. Los filtros mecánicos se sitúan inmediatamente a continuación del tanque que contendrá los peces y se destinan a eliminar todas las partículas sólidas en suspensión que existan en el sistema. En nuestro sistema el decantador es de forma cilíndrica y posee una entrada y una salida en posición lateral.

El filtro biológico se coloca a continuación del filtro mecánico y se emplea con el objetivo de transformar biológicamente los desechos metabólicos generados por los peces, que pueden permanecer en el sistema. Este proceso se lleva a cabo por medio de las bacterias *Nitrobacter* y *Nitrosomonas* que crecen en el filtro en presencia de los desechos metabólicos, éstas requieren de una superficie de contacto donde alojarse. Estas bacterias, oxidan el amonio y los nitrito para suplir sus necesidades energéticas, dando como producto final nitrato que es menos toxico para los peces y es una fuente importante de alimento para las plantas

El sistema NFT consiste en hacer correr una película de solución nutritiva muy fina a lo largo de un canal de cultivo, lo que permite agrupar las plantas y obtener rendimientos altos por unidad de superficie. Al atravesar el canal de cultivo el agua retorna al tanque de los peces. Las plantas son contenidas en algún recipiente plástico ranurado, suspendido sobre el canal permitiendo que sus raíces alcancen el agua. Este sistema es muy utilizado en plantas pequeñas (Caló, 2011).

Toma de parámetros y suministro de alimento.

Diariamente se tomaron los parámetros de calidad del agua utilizando un multisensor paramétrico marca "Horiba" U10. Semanalmente se midieron las concentraciones de los nutrientes en el filtro biológico y el tanque por medio de kits colorimétricos y cada quince días se enviaba una muestra al Laboratorio de Análisis Industriales de esta Unidad Académica, para determinar la concentración de amoniaco, nitritos y nitratos en el filtro biológico y tanque.

Los ejemplares juveniles que se sembraron fueron obtenidos mediante desoves en las instalaciones del laboratorio de acuicultura, éstos fueron sembrados con un peso promedio de 80g y cosechados con un peso promedio de 300g al cabo de 94 días.

El alimento utilizado fue un balanceado seco con un 30% de proteína bruta, según lo recomendado por Bahnasawy *et al*, 2009 que se suministró diariamente en seis raciones, determinadas de acuerdo a la biomasa existente en el tanque y por tablas de alimentación.

Se realizaron los muestreos mensuales, para observar crecimiento en talla (Largo total, Largo estándar), para ello se utilizó un ictiómetro con una precisión de 1mm, y para el crecimiento en peso se utilizó una balanza digital con precisión de 0,1gramo EK4150, a fin de calcular la biomasa del tanque.

Con respecto a los vegetales, fueron plantados de semilla en la Unidad Académica Mar del Plata. Las mismas se colocaron a germinar en un recipiente con tierra. Una vez germinada, al llegar el plantín a un mínimo de cinco hojas verdaderas se procedió a lavar las raíces para luego trasladarlas al sistema NFT. Las plantas fueron colocadas dentro de vasos ranurados que contenían grava de pequeña granulometría, lo que permite la fijación de ellas.

Análisis sensorial.

El análisis sensorial se llevó a cabo en la Unidad Académica MDP (UTN), por un panel de evaluadores seleccionados y entrenados para dichos productos. De cada una de las muestras de peces y vegetales se evaluaron los principales atributos como color, olor, sabor y textura para poder determinar las cualidades organolépticas, que influirían en la elección por parte de los potenciales consumidores. Además se realizó la comparación de los atributos seleccionados con productos comerciales para determinar si existen diferencias significativas entre ellos.

Resultados.

Los valores de los parámetros de calidad del agua se mantuvieron constantes producto de una buena recirculación y filtración, el oxígeno disuelto mostró valores entre 5,1ppm y 6ppm, la temperatura 26±1°C y el pH entre 7 y 7,5 a lo largo del engorde.

Las concentraciones de amonio, nitritos y nitratos se mantuvieron dentro de los parámetros esperados, sin bien no se produjo una depuración total del sistema, los valores observados se mantuvieron en concentraciones que no son nocivas para los peces, reduciendo considerablemente los recambios diarios de agua a recambios parciales semanales. (Tabla 1)

Tabla 1. Valores de las concentraciones de productos nitrogenados en filtro y tanque

Muestra Filtro Biológico	Resultados mg/l
Nitratos	50
Nitritos	0,5
Amonio	0,5

Muestra Tanque	Resultados mg/l
Nitratos	12,5
Nitritos	0,5
Amonio	1

Los vegetales tuvieron un buen crecimiento pudiendo obtener plantas de tamaño comercial en el periodo de 12 a 14 semanas de los vegetales ya descriptos (Figura 2)

Figura 2. Sistema acuapónico NFT en el Laboratorio de Acuicultura

Análisis Sensorial.

De los resultados obtenidos se determinó que los vegetales producidos en este sistema acuapónico poseían diferencias significativas en cuanto al sabor, color y olor respecto a los vegetales comerciales, encontrando un sabor y olor más intenso y característico y un color más brillante; mientras que en cuanto a la textura no se encontró diferencias estadísticamente significativas entre ambos.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación de los panelistas entrenados, se determinó que los atributos de los filets de los ejemplares de tilapias cultivadas fueron de un color blanco característico, sabor suave y neutro, olor neutro y firme textura; aceptados totalmente por los panelistas.

Conclusiones.

Se puede afirmar luego de los resultados obtenidos que este novedoso y sustentable sistema de producción se puede utilizar para producir vegetales y peces en forma conjunta logrando no solo un ahorro energético sino también en forma orgánica y sustentable en sistemas de pequeñas, medianas y grandes producciones. Igualmente se seguirá investigando con diferentes sistemas de producción para lograr el más conveniente medioambientalmente y productivo. La acuaponia sostenible considera la dinámica ambiental, económica y social.

Referencias

Adler, P.R., Harper, J.K., Wade, E.M., Takeda, F. & Summerfelt, S.T. 2000. Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. International Journal of Recirculating Aquaculture. Vol.1: 10-13

Bahnasawy M.H., EL-Ghobashy A.E. & Abdel-N.F.Hakim. 2009. Culture of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a recirculating water system using different protein levels. Egypt J. Aquat. Biol. & Fish., Vol. 13, No. 2:1-15. ISSN 1110 –1131

Caló, P. 2011. Introducción a la acuaponia. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola- CENADAC. Dirección Nacional de Acuicultura. Pp. 1-15.

Church D & Pond W.1982. Basic animal nutrition and feeding. New York, USA: John Wiley and Sons. ISBN 10: 0471875147 / ISBN 13: 9780471875147

FAO. 2014. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Oportunidades y desafíos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, 2014. 274 Pp. ISBN 978-92-5-308275-9 (edición impresa). E-ISBN 978-92-5-308276-6.

Guzmán Díaz, G. 2004. Hidroponia en casa. Una actividad familiar. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sistema Unificado de Información Institucional. ISBN: 9968-877-11-5.Pp.1-25.

Kubitza, F. 2006. Sistemas de Recirculação: Sistemas fechados com tratamento e reuso da agua. Panorama da Aqüicultura. Río de Janeiro. vol. 16, n° 95, p. 15 a 22.

El-Sayed, A.F.M. 2006. Tilapia Culture. Wallingford (UK): CAB International Publishing. 277p.

Nguyen T.N. & Davis D.A. 2009. Evaluation of alternative protein sources to replace fish meal in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis* spp. Journal of the Word Aquaculture Society. 40(1): 113-121.

Sádaba, S; J. Del Castillo, J.Sanz de Galdeano, A. Uribarri & G. Aguado. 2007. Lechuga en cultivo hidropónico. Acercamiento a nuevas formas de producción. ITG. Agrícola. Pp. 29-34.

EVALUACIÓN DINÁMICA DE LOS SUELOS CALCÁREOS DE LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS

Autores: Mariano J. A.Cabrera[1], Cipriano N.Meichtry[1]. Edgardo E.Rivas[1].
Tutor: Mg. Ing. Bolla, Gustavo Luis[1]
[1]Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Paraná. Almafuerte 1033 (3100). Paraná, Entre Ríos.
Mail de contacto: bollagustavo@arnet.com.ar

Resumen
Se plantea el estudio de dos materiales calcáreos muy utilizados en obras viales de la provincia provenientes dedos zonas muy particulares. Uno correspondiente a una cantera adyacente a la orilla del Río Paraná (Roskopf en Colonia Ensayo, departamento Diamante) y otra, a la del Río Uruguay (Tayreta en Concepción del Uruguay, departamento Uruguay).
Se analizan sus propiedades físicas, la degradación de la granulometría debido al proceso de compactación aplicado y su caracterización mecánica y dinámica, mediante los ensayos de Valor Soporte Relativo y Módulo Resiliente.
Se muestra un análisis de los resultados y se efectúan consideraciones particulares de cada caso.
El presente proyecto se enmarca dentro de un convenio de Investigación y colaboración entre la Facultad Regional Paraná (FRP) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) y la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR).

Introducción
Los métodos de diseño empírico mecanicistas actuales necesitan como información la caracterización dinámica de los materiales que forman parte de la estructura de un camino. Enla actualidad se utilizan métodos empíricos de diseño de paquetes estructurales, basados en los resultados del Valor Soporte Relativo (VSR). Este último se correlaciona, mediante tablas, con el Módulo Resiliente (M_R), determinando de esta manera las características dinámicas de los materiales.
En la provincia de Entre Ríos es muy frecuente el uso, en las sub bases y bases granulares, de suelos calcáreos. Este material es muy heterogéneo y posee propiedades particulares que son necesarias estudiar para ajustar su caracterización.
Existen tres tipos de materiales calcáreos:
- Los calcáreos organógenos: Originados a partir de la acumulación de material calcáreo proveniente de la actividad de animales y/o plantas.
- Los calcáreos químicos: Formados por precipitación del carbonato de calcio sin influencia clara de actividad de animales o plantas.
- Los calcáreos clásticos: Formados por calcáreos de los grupos anteriores, retransportados y a veces modificados por diagénesis.

Los calcáreos químicos están ampliamente distribuidos en la provincia, conocidos bajo la denominación de tosca, tosquilla o broza y se presentan en forma de calcretes.
Según Watts(1977), los calcretes son el resultado de la introducción predominantemente de carbonatos de calcio por procesos de replazamiento y displazamiento en cantidades más o menos grandes de suelos, roca o sedimentos de un perfil de meteorización.
Los calcretes que se observan a lo largo de la barranca del río Paraná, se deben no solamente a soluciones carbonatadas descendentes sino también ascendentes, pues aparecen a distancias considerables del nivel del río, superando la capa freática por efecto de la capilaridad.
Otra manifestación del calcrete incipiente se da en la zona adyacente al río Uruguay, encontrándose infiltraciones e incrustaciones calcáreas en areniscas entre Concordia y Concepción del Uruguay.
La caracterización de los suelos calcáreos es difícil, debido a que los esfuerzos de compactación en la construcción y los de tránsito durante su período de servicio, pueden alterar su estructura interna mediante efectos de degradación. Esto puede modificar su comportamiento mecánico original con respecto a los parámetros de diseño adoptados en el cálculo del paquete

estructural.Consecuentemente, se analizó la granulometría de la muestra original y posterior a cada método de compactación.

Desarrollo del proyecto

En la Fig. 1 se detalla la ubicación las canteras en la provincia dedonde se obtuvieron los suelos para ser estudiados.

Fig. 1. Detalle de la ubicación las canteras estudiadas.

En la ttabla 1, se indican las clasificaciones granulométricas de los suelos calcáreos en su estado natural junto con las densidades, humedades Proctor, los valores soporte e hinchamiento de ambas muestras.

Tabla1: ensayo de compactación y valor soporte relativo.

Material	Clasificación HRB	Constantes físicas (muestra original)		Ensayo de Compactación		Valor Soporte Relativo	
	Muestra Originial	LL (%)	IP (%)	$\gamma d_{máx}$ (g/cm³)	$H_{ópt}$ (%)	VSR (%) (56 golpes)	Hinch. (%)
Roskopf	A – 1 – b $_{(0)}$	No Plástico		1,50	24,60	76,14	0,30
Tayreta	A – 1 – b $_{(0)}$	30,16	2,76	1,84	12,50	22,90	1,23

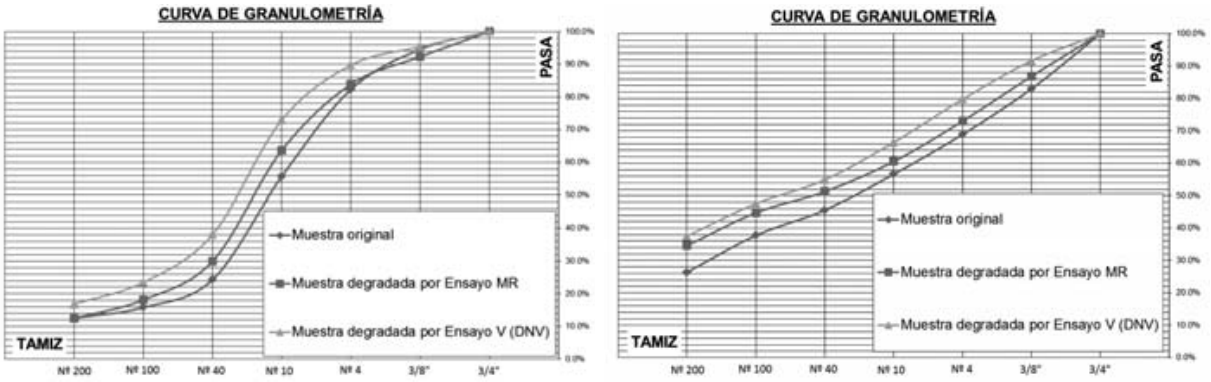
Posteriormente se analizó la granulometría resultante de la compactación Proctor y la efectuada para la confección de las probetas utilizadas en el ensayo de Módulo Resiliente, las cuales fueron compactadas mediante utilización de vibración y densidad controlada.

En la Tabla 2 se indica las clasificaciones del suelo calcáreo degradados por los ensayos de Proctor y Módulo Resiliente.

Tabla2: clasificación de los suelos luego de la degradación del material.

Material	Clasificación HRB	
	Post Ensayo de Compactación	Post Ensayo de Módulo Resiliente
Roskopf	A – 1 – b $_{(0)}$	A – 1 – b $_{(0)}$
Tayreta	A – 2 – 4 $_{(0)}$	A – 1 – b $_{(0)}$

En la Fig. 3 se grafican la granulometría natural y las resultantes de los procesos de compactación Proctor y módulo resiliente.



Cantera Roskopf Cantera Tayreta

Fig. 3. Proceso de degradación granulométrica por efecto de la compactación.

En el análisis de las tres curvas granulométricas, previa a los ensayos, luego del Proctor y después del ensayo M_R, se observa que los tamaños de aberturas medias (Tamiz Nº4 a Nº40) incrementaron sustancialmente el porcentaje de pasante, respecto de los tamices extremos de la serie analizada.

La degradación es mayor en el ensayo Proctor que en el ensayo $M_{R.}$ En el ensayo Proctor, la energía de compactación es constante, con golpes de un pisón en caída libre, el cual descarga su energía directamente sobre la capa a compactar, en un área parcial. En las probetas para $M_{R,}$ la carga se transmite al área total de la muestra por vibración.

Las curvas mantuvieron su forma, sufriendo sólo un desplazamiento, a excepción de la muestra de Roskopf donde se produce una mayor degradación en la parte gruesa, para la muestra compactada en el ensayo de $M_{R.}$, no obstantela clasificación, según AASHTO, no cambió.

Ejecución del ensayo de Módulo Resiliente.

Para la ejecución del Módulo Resiliente se utilizó la Norma AASHTO T 307-99 “Método de Ensayo Estándar para Determinación del Módulo Resiliente de Suelos y Materiales Agregados”.

En las figuras 4. 5 y 6 se observa la preparación de las probetas para el ensayo en el equipo utilizado en el laboratorio de materiales viales del IMAE

Fig. 4: Compactación vibratoria

Fig. 5: Probeta compactada y encabezada

Fig. 6. Probeta preparada para el ensayo

El método para la obtención de resultados se detalla a continuación. En la tabla 3, se muestran los escalones de cargas para el ensayo, según el tipo de material.

Tabla 3. Ciclos de carga para materiales Tipo 1 y Tipo 2.

Secuencia Nº	Material Tipo 1		Material Tipo 2		Número de Ciclos
	Presión de Confinamiento σ_3 [MPa]	Tensor Desviador σ_d [MPa]	Presión de Confinamiento σ_3 [MPa]	Tensor Desviador σ_d [MPa]	
0	0.105	0.105	0.042	0.028	1000
1	0.021	0.021	0.042	0.014	100
2	0.021	0.042	0.042	0.028	100
3	0.021	0.063	0.042	0.042	100
4	0.035	0.035	0.042	0.056	100
5	0.035	0.070	0.042	0.070	100
6	0.035	0.105	0.021	0.014	100
7	0.070	0.070	0.021	0.028	100
8	0.070	0.140	0.021	0.042	100
9	0.070	0.210	0.021	0.056	100
10	0.105	0.070	0.021	0.070	100
11	0.105	0.105	0.010	0.014	100
12	0.105	0.210	0.010	0.028	100
13	0.140	0.105	0.010	0.042	100
14	0.140	0.140	0.010	0.056	100
15	0.140	0.280	0.010	0.070	100

A partir de las variables que se controlan, se calculan las que intervienen en las ecuaciones constitutivas propuestas. Luego se realiza una transformación de variables para aplicar la regresión lineal y evaluar el modelo de ajuste.
A continuación se detallan las ecuaciones constitutivas propuestas para evaluar el comportamiento no lineal de los suelos.

Modelo de la Guía de Diseño 2002 (MEPDG – NCRHP 1 – 28A) (***Ecuación Constitutiva 1***):

$$\frac{M_R}{P_a} = K_1 \cdot \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} + 1 \right)^{K_2} \cdot \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{K_3}$$

Modelo K-τ_{oct}-σ_3 (***Ecuación Constitutiva 2***):

$$\frac{M_R}{P_a} = K_1 \cdot \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} \right)^{K_2} \cdot \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^{K_3}$$

Modelo K-σ_d (***Ecuación Constitutiva 3***): Moossazadeh y Witczak, 1981

$$\frac{M_R}{P_a} = K_1 \cdot \left(\frac{\sigma_d}{P_a} \right)^{K_2}$$

Las ecuaciones constitutivas obtenidas se detallan en las figuras 8, 9 y 10.
Para el caso del calcáreo de Tayreta, ajustaron excelentemente dos ecuaciones, según el criterio de buen ajuste de Moossazadeh y Witczak.

El material de Roskopf se comportó como un material Tipo 1 y el de Tayreta, como Tipo 2.
La degradación por compactación fue menor que en Proctor de referencia, lo cual se debe a la forma de entregar la energía.

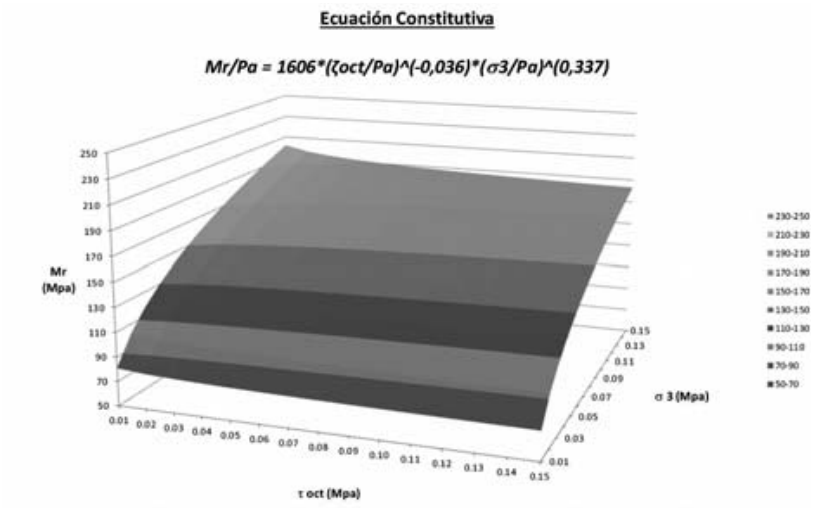


Fig. 8: Ecuación constitutiva para el suelo perteneciente a Roskopf.

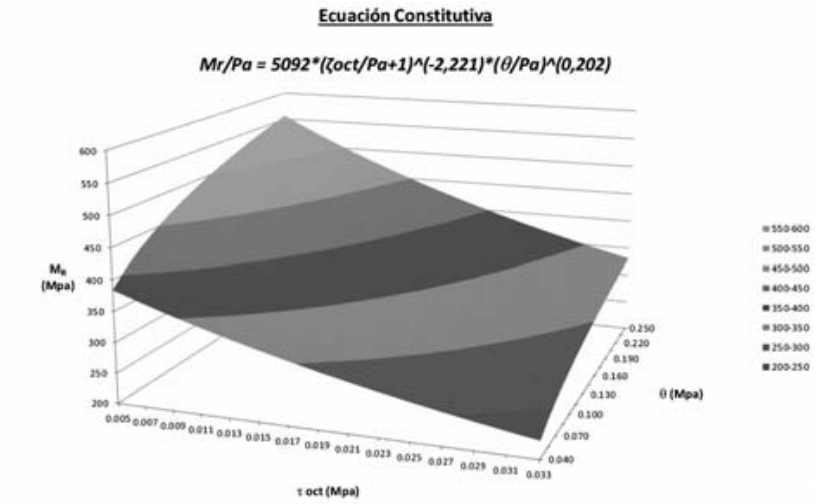


Fig. 9: Ecuación constitutiva para el suelo perteneciente a Tayreta.

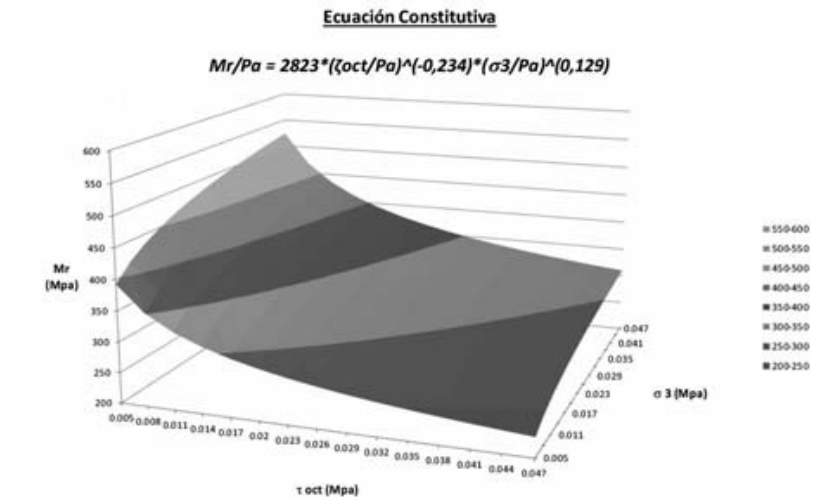


Fig. 10: ecuación constitutiva para el suelo perteneciente a Tayreta.

El M_R del material extraído de Roskopf, disminuye escasamente conforme aumenta la tensión octaédrica evidenciando una rigidez creciente con el aumento de la presión de confinamiento, característico de los materiales granulares o Tipo 1. Este fenómeno, algunos autores lo llaman "stress hardening" (endurecimiento por tensiones).
El M_R del material extraído de Tayreta, disminuye conforme aumenta la tensión octaédrica y la rigidez crece con el aumento del invariante de tensiones, característico de los materiales granulares o Tipo 1. Además, el M_R disminuye en mayor medida, comparando con Roskopf, conforme aumenta la tensión octaédrica. La rigidez crece en menor medida que en el otro material, conforme aumenta la presión de confinamiento.
La tensión octaédrica está relacionada directamente con la tensión desviadora y de ella depende el comportamiento de los suelos cohesivos. Este material, depende de ella pero también depende del invariante de tensiones, por lo que su comportamiento es intermedio (entre un suelo granular y uno cohesivo).

Conclusiones

El presente trabajo contempla una iniciativa a los métodos de caracterización dinámica de los materiales de uso vial de nuestra provincia y que servirá de complemento a los ensayos de rutina.
La continuidad de este estudio es muy amplia, restando evaluar los materiales de otras zonas de explotación en la provincia.
Se observa que las propiedades de los materiales, de Roskopf y de Tayreta, son diferentes, a pesar de ser clasificados ambos como A-1-b (0) (fragmentos de rocas, gravas y arenas), según AASHTO.
Se aprecia una relación inversa entre el VSR y el M_R de ambos materiales. La muestra de Roskopf si bien tiene un mayor VSR (76,14 %) respecto de la de Tayreta (22,90 %), presenta un menor valor promedio del M_R (Roskopf 145 MPa; Tayreta 358 MPa), contrariamente a los modelos típicos.
Se considera que este estudio debe ser complementado con el análisis de las muestras extraídas "in situ" post compactación a los efectos de determinar los valores reales de degradación de su estructura.
El método de compactación vibratorio utilizado en el ensayo de M_R produce una menor degradación en la muestra, comparada con la del ensayo de compactación Proctor T-180. En general se mantienen las formas de las curvas granulométricas para ambos sistemas de compactación, pero se evidencia un fenómeno de degradación que debería ser estudiado in situ, con la energía de compactación aplicada por los equipos viales, para ajustar el método en laboratorio.

Referencias bibliográficas

CORDO, Oscar. "Curso de Módulo Resiliente". Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña "Agrimensor Alfonso de la Torre". Instituto de Materiales y Suelos. Universidad Nacional de San Juan. Argentina, 2011.
JIMÉNEZ ACUÑA, Mónica. "Implementación del Ensayo de Módulo Resiliente en Bases Granulares para Pavimentos". Laboratorio de Ensayos Dinámicos (LED). Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, San José. Costa Rica, 2009.
ANGELONE, Silvia María; MARTÍNEZ, Fernando Oscar; CAUHAPE CASAUX, Marina. "Caracterización Dinámica de Suelos Granulares". Laboratorio Vial. Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (I.M.A.E.). Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Argentina.
ANGELONE, Silvia María; MARTÍNEZ, Fernando Oscar. "Aplicación de Modelos No Lineales de Comportamiento de Suelos y Materiales Granulares al Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles". Laboratorio Vial. Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (I.M.A.E.). Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Argentina.

ESTUDIO DE LA RESPUESTA MECÁNICA DE SUELOS ARCILLOSOS NATURALES Y ESTABILIZADOS CON LIGANTES HIDRAÚLICOS UTILIZADOS EN LAS SUBRASANTES DE PAVIMENTOS EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS

AUTORES: Ing. Sebastián Arduino, Ing. Axel A. Butus, Ing. Natán E. Cis.

DIRECTOR: Mg. Ing. Gustavo Bolla.

Facultad Regional Paraná – Universidad Tecnológica Nacional

Resumen

En varias regiones de nuestro país, en especial en la Provincia de Entre Ríos, las estructuras viales se cimentan sobre bases de asiento compuestas por suelos arcillosos con muy baja capacidad portante y alta deformabilidad, muy sensibles a las variaciones estacionales de humedad. Como consecuencia de ello, se han registrado en obras nuevas y reconstruidas, fenómenos de ahuellamiento prematuro, aun cuando los paquetes estructurales han sido diseñados para un tránsito medio diario anual correcto, resultando por ende un incremento considerable de los costos de ejecución y mantenimiento en relación a su real performance.

En el presente proyecto se plantea el estudio integral de los suelos arcillosos existentes en la Provincia de Entre Ríos, utilizados en las subrasantes de los pavimentos, teniendo en cuenta su clasificación para uso vial, sus características mecánicas y su respuesta a los esfuerzos dinámicos inducidos por el tránsito simulados en laboratorio; tanto en su estado natural, como posteriormente al proceso de estabilización con ligantes hidráulicos. Se enmarca dentro del PID MAUTIPA0002407TC, actualmente en desarrollo en la UTN F.R.Paraná.

Introducción

Estas arcillas se presentan prácticamente en todo el territorio de la Provincia, salvo algunas zonas adyacentes a las costas de los ríos Paraná y Uruguay, la mayoría de las subrasantes de las obras viales deben ser construidas utilizando éstos suelos, fundamentalmente por razones de índole económica.

Dadas las características de estos suelos arcillosos mencionados, en lo referente a su alta plasticidad, su variación volumétrica estacional, y su bajo valor portante, las subrasantes deben ser estabilizadas mediante la adición de ligantes hidráulicos, generalmente cal para uso vial, en porcentajes predeterminados por cada proyecto, a los efectos de disminuir su actividad y mejorar sus características mecánicas.

Por lo tanto se considera que se debe profundizar en la evaluación de la respuesta dinámica de estos suelos frente al tránsito y conocer más acabadamente su deformabilidad en los procesos de fatiga, a los efectos de evitar el subdimensionamiento de las estructuras de los pavimentos.

Cualquier subdimensionamiento de una estructura vial significará una disminución de su vida útil y mayores erogaciones futuras en tareas de conservación, refuerzo o reconstrucción.Con el conocimiento de la respuesta a las solicitaciones de éstos materiales mencionados se podrán realizar ajustes al proyecto que luego postre redundarán en importantes ahorros en la inversión.

En el caso de los suelos de las subrasantes, para efectuar el cálculo y dimensionamiento del nuevo pavimento será necesario entonces conocer tanto sus propiedades físicas como sus características mecánicas, en particular las dinámicas, con el objeto de utilizar estos valores como datos a incorporar en los métodos de diseño estructural basados en el análisis racional multicapa.

Si bien es posible abordar el problema dinámico mediante la adopción de valores basados en fórmulas empíricas o a partir de otros ensayos normalizados, como lo son la resistencia a la compresión simple o el valor soporte, la determinación del módulo resiliente es indispensable para conocer su respuesta bajo diferentes solicitaciones repetidas simuladoras del tránsito, y aplicarlos a los métodos de diseño estructural mecanicistas.

Alcances del proyecto

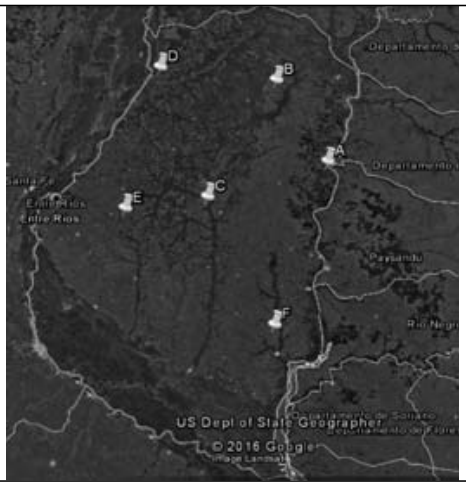
El presente proyecto tiene en cuenta las siguientes etapas:

Análisis de la bibliografía disponible y el marco normativo. Muestreo representativo de los suelos de las subrasantes en base a una zonificación de la Provincia de Entre Ríos, teniendo en cuenta

su utilización en las obras viales ejecutadas y en ejecución. Caracterización de los suelos naturales con referencia a su granulometría, plasticidad, Proctor, valor soporte y contenido de materia orgánica. Caracterización de los suelos con referencia a su plasticidad y Proctor, sometiéndolos a un proceso previo de estabilización con diferentes porcentajes de ligantes hidráulicos. Elección de un suelo representativo, estudiando sus características mecánicas mediante el ensayo de compresión simple y sus características dinámicas a través de la determinación del módulo resiliente. Formulación de conclusiones.

Desarrollo del proyecto

Se realizó un muestreo representativo de los suelos de las subrasantes en base a una zonificación de la Provincia de Entre Ríos (Fig.1), teniendo en cuenta su utilización en las obras viales ejecutadas y en ejecución. Se caracterizaron en estado natural con referencia a su granulometría, plasticidad, Proctor, valor soporte y contenido de materia orgánica. Posteriormente se los sometió a un proceso previo de estabilización con diferentes porcentajes de ligantes hidráulicos; caracterizándolos con referencia a su plasticidad y PROCTOR. Finalmente se eligió un suelo representativo, estudiando sus características mecánicas mediante el ensayo de compresión simple y sus características dinámicas a través de la determinación del módulo resiliente.



A – Ruta Sin Número, Acceso Puerto Yeruá, Departamento Concordia
B – Ruta Provincial N°28, Departamento Federal
C – Ruta Nacional N°18, Departamento Villaguay
D – Ruta Sin Número, Acceso a La Paz, Departamento La Paz
E – Ruta Provincial N°34, Departamento Nogoyá
F – Ruta Provincial N°20, Departamento Gualeguaychú

Fig. 1. Zonificación suelos de las subrasantes en la Provincia de Entre Ríos.

En la Fig. 2 se representan las granulometrías de los diferentes suelos. Se observa que el suelo A presenta características granulométricas muy diferentes a las demás muestras, principalmente acusa menor cantidad de pasante por Tamiz N°200.

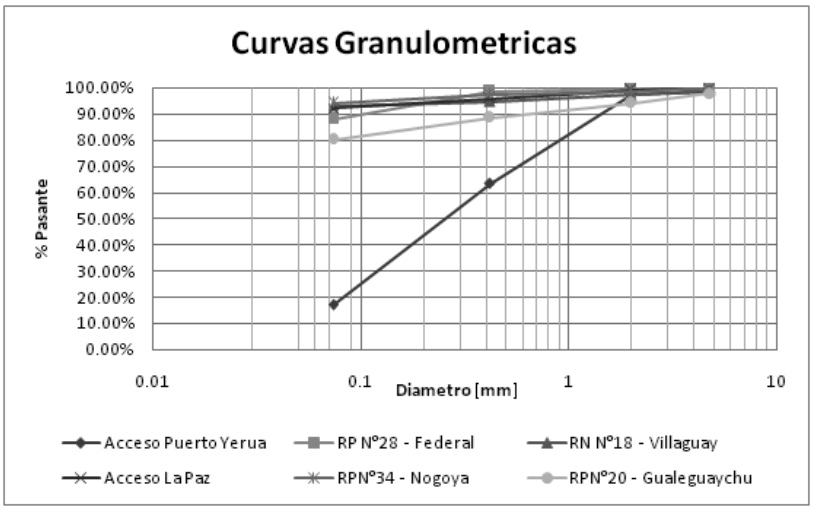


Fig. 2. Curvas Granulométricas de los diferentes tipos de suelos.

Esta situación se debe a las cercanías de la zona de influencia del río Uruguay, donde es común encontrar suelos arenosos con baja plasticidad. Del mismo modo se observa que las demás muestras presentan características similares en cuanto a su composición granulométrica.
En la Fig. 3 se representan las granulometrías de los suelos B a F realizados mediante el método del hidrómetro, siguiendo los lineamientos establecidos en las normas AASHTO T87 y T88, y ASTM D421 D422.

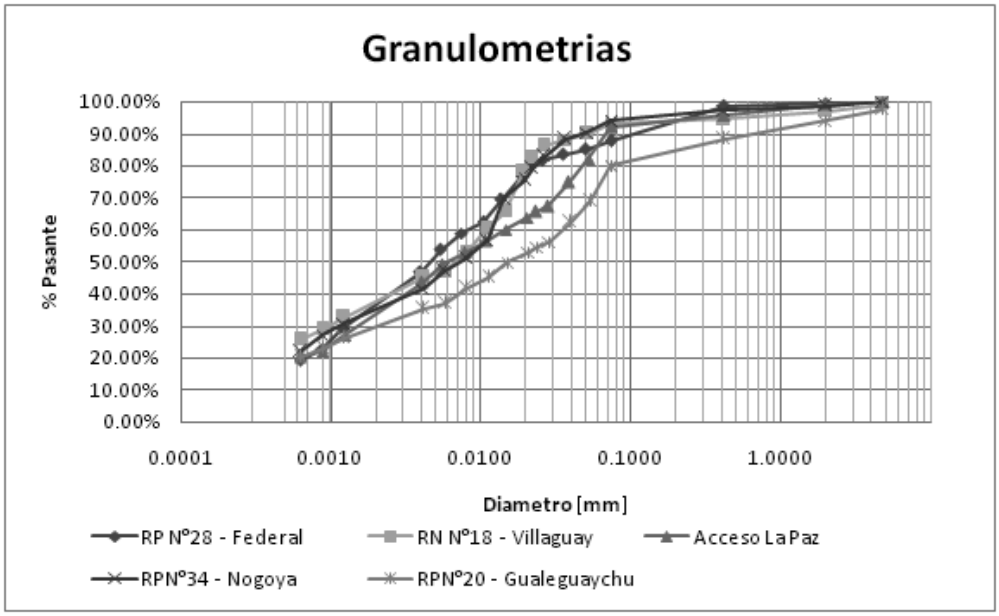


Fig. 3. Curvas Granulométricas suelos B a F.

En la Tabla 1 se observan los resultados obtenidos de los ensayos Proctor, Valor Soporte y contenido de material orgánico, y la clasificación HRB. Los suelos B, C, D y E clasifican iguales, observándose bajos valores soporte y elevados hinchamientos. El contenido de materia orgánica no tiene relación directa ni con la densidad máxima ni con la humedad óptima.

Tabla 1–Comparación de características físico-mecánicas de las muestras naturales.

	CLASIFICACION HRB		PROCTOR T-99		VALOR SOPORTE		MATERIA ORGÁNICA (%)
MUESTRA	Tipo	IG	Ds (g/cm^3)	Hop (%)	V.S.R (%)	Hinch (%)	
A	A-2-4	0	1.854	5.10	23	0.06	1.37
B	A-7-6	20	1.555	21.80	5	1.35	2.87
C	A-7-6	20	1.347	24.60	4	4.44	2.46
D	A-7-6	20	1.488	22.50	6	3.32	5.72
E	A-7-6	20	1.410	27.80	3	7.03	3.15
F	A-6	8	1.583	18.80	7	2.17	6.13

En la Tabla 2 se observan las plasticidades de los suelos A a E, en su estado natural, y estabilizados con la adición de diferentes porcentajes de cal útil vial. El suelo A es no plástico.

Tabla 2 – Comparación de variación del Indice de Plasticidad (IP) con distintos tenores de cal.

MUESTRA	Natural	2% C.U.V.	3% C.U.V.	5% C.U.V.
A	26.12%	13.85%	9.05%	7.11%
B	24.97%	6.67%	4.64%	3.26%
C	22.65%	9.69%	6.67%	3.61%
D	28.58%	6.13%	4.72%	3.36%
E	14.68%	4.41%	3.20%	1.29%

En la Fig. 4 se representa la variación del IP de cada suelo para diferentes tenores de adición de cal, con respecto al IP del suelo natural. Se observan mayores gradientes de disminución del IP para porcentajes menores de estabilizante. A partir del 2% de adición de C.U.V. se registran disminuciones menos pronunciadas del IP.

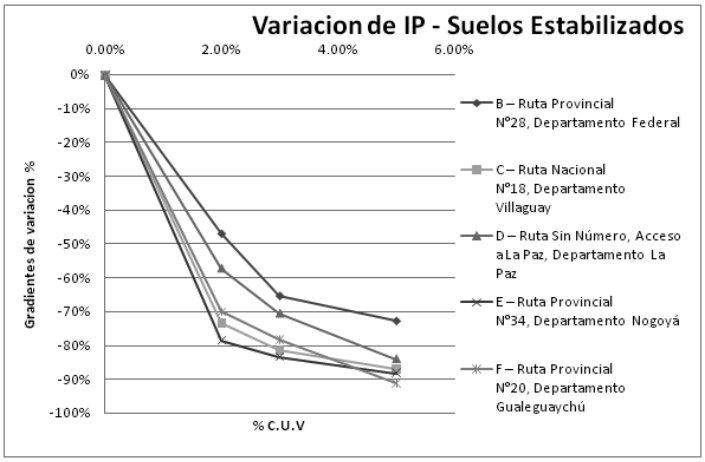


Fig. 4. Variación del IP para diferentes tenores de C.U.V.

En la Tabla 3 se detallan los resultados del ensayo Proctor para los suelos A a E. Se observa que la Ds disminuye y la humedad aumenta a medida que aumenta el contenido de ligante incorporado.

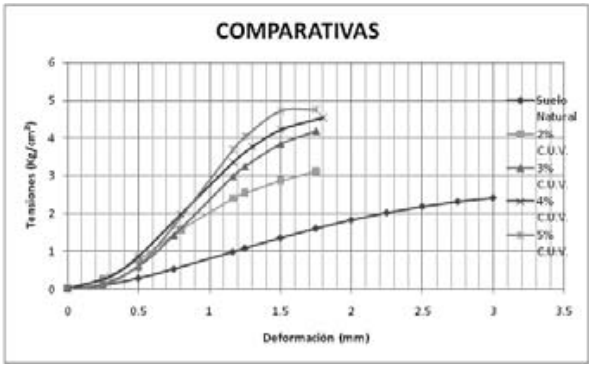
Tabla 3 – Comparación de la variación de densidad PROCTOR T-99 con distintos tenores de cal.

MUESTRA	Natural		2% C.U.V.		3% C.U.V.		5% C.U.V.	
	Ds (g/cm³)	Hop (%)	Ds (g/cm³)	Hop (%)	Ds (g/cm³)	Hop (%)	Ds (g/cm³)	Hop (%)
A	1.555	21.80	1.548	22.50	1.537	23.30	1.531	24.70
B	1.347	24.60	1.335	27.20	1.348	28.90	1.319	31.20
C	1.488	22.50	1.407	26.70	1.398	28.80	1.393	30.80
D	1.410	27.80	1.402	30.00	1.387	31.50	1.350	33.00
E	1.583	18.80	1.553	25.20	1.536	26.30	1.512	28.10

Se adoptó el suelo E en función de las condiciones más desfavorables de plasticidad, valor soporte e hinchamiento. Se analizó su comportamiento mecánico y dinámico, realizando ensayos de resistencia a compresión simple (Rcs) y módulo resiliente (MR) en probetas de suelo natural, y estabilizadas con 2%, 3%, 4% y 5% de cal útil vial C.U.V. En la Tabla 4 se representan los valores promedio registrados para la Rcs, para una deformación del 1% y las diferentes curvas resultantes.

Tabla 4 – Resistencia a compresión simple para 1% de deformación de la muestra E.

Muestra	Rcs (Kg/cm2)
Natural	0.96
2% C.U.V.	2.58
3% C.U.V.	2.98
4% C.U.V.	3.35
5% C.U.V.	3.68



Finalmente, se efectuaron ensayos de módulo resiliente (MR) en probetas moldeadas a densidad controlada, naturales y con 2%, 3%, 4% y 5% de C.U.V., siguiendo los lineamientos de las Normas AASHTO T294-921 y ASTM D-4123. En la Fig. 5 se representa la variación del Mr para diferentes porcentajes de C.U.V, observándose que el mismo aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de ligante.

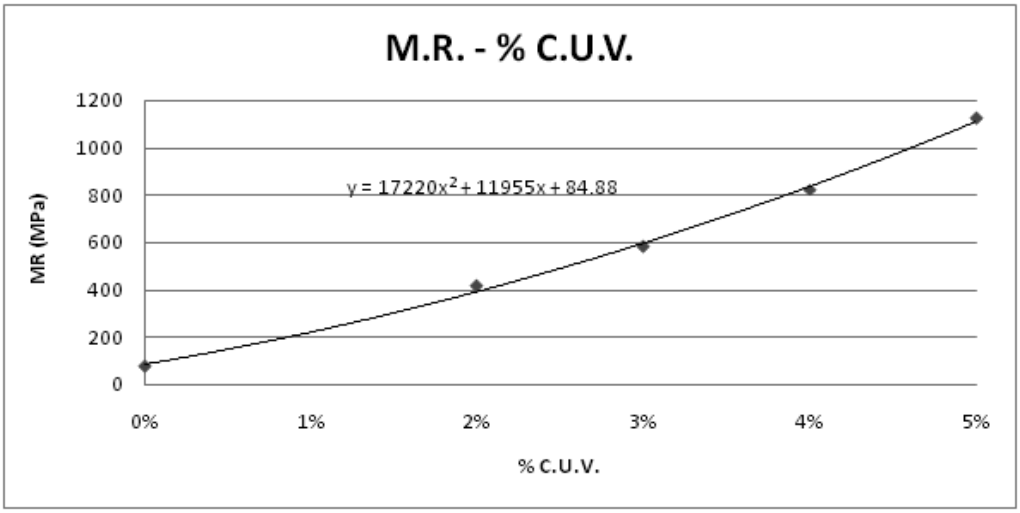


Fig.5 – Variación de MR en función del porcentaje de C.U.V.

En la Fig. 6 se representa la variación del MR respecto a la presión de confinamiento (σD) y la relación entre la presión de confinamiento y el tensor desviador (σD/σ3).

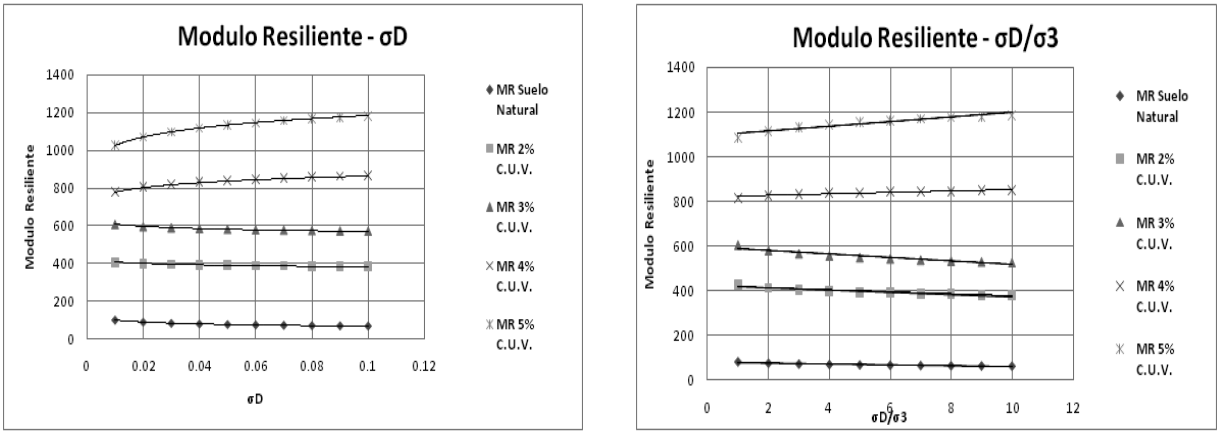


Fig.6 – Variación de MR en función de σD y σD/σ3.

Se observa que para el suelo natural el MR disminuye a medida que aumenta la relación σD / σ3. Lo mismo ocurre cuando se incrementa σD. Esto nos indica que el suelo natural es más susceptible al efecto dinámico del tránsito a medida que disminuye el espesor de la estructura del pavimento. Esta condición se observa también, aunque en menor medida, para suelos estabilizados con bajos porcentajes de C.U.V. (entre 0% y 3%) donde aún no se han alcanzado los efectos cementantes del ligante hidráulico. Para porcentajes mayores del C.U.V. (4% en adelante) el comportamiento se invierte observándose que el MR disminuye a medida que disminuye la relación σD/ σ3, y σD respectivamente.
Para todos los suelos tratados se puede observar que a medida que aumenta la relación σD/σ3, y σD respectivamente, el valor del MR tiende a un valor constante. En el caso del suelo natural esa tendencia no se verifica.
En la Fig. 7 se representa el cociente MR/Rcs en función de los diferentes porcentajes de C.U.V.

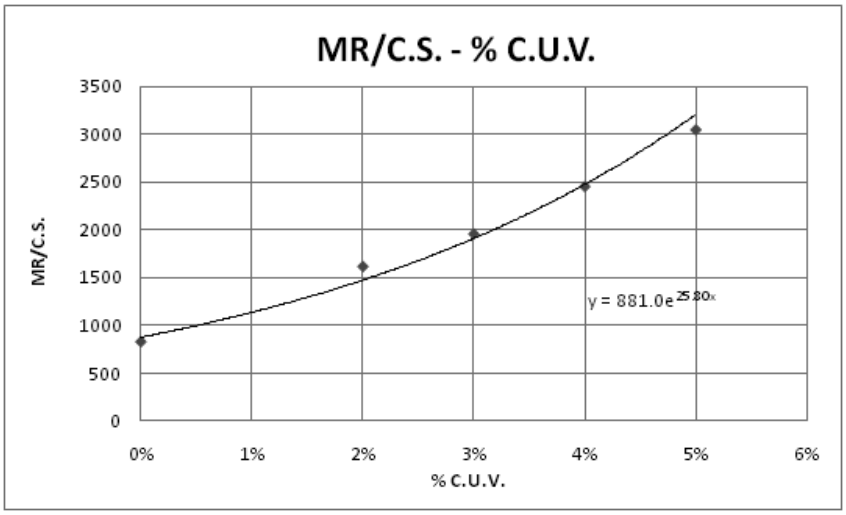


Fig.7. Relación entre MR/Rcs y C.U.V. (%).

Formulación de conclusiones

En función del muestreo representativo efectuado, el suelo predominante de la provincia clasifica como suelo arcilloso A-7-6 (20), el cual por su alta plasticidad y elevado porcentaje de hinchamiento es dificultosa su utilización sin tratamiento previo como material de soporte de paquetes estructurales de caminos.

La densidad óptima Proctor no tiene relación directa con el contenido de materia orgánica de los suelos estudiados.

El gradiente de disminución del IP con respecto al IP del suelo natural, es mayor para menores porcentajes de adición de C.U.V., y a medida que aumenta el porcentaje de cal incorporado, si bien el IP continua disminuyendo, el gradiente de variación es menor. Para el suelo E con mayor IP del suelo natural, se observa el mayor gradiente de disminución para bajos porcentajes de C.U.V incorporados.

La densidad óptima Proctor disminuye y la humedad óptima aumenta a medida que aumenta el contenido de cal incorporado a los suelos.

A medida que se incrementa el porcentaje de incorporación del ligante hidráulico, aumenta la resistencia de los suelos a la Compresión Simple. No obstante, se observa que el gradiente de incremento de la resistencia del suelo estabilizado respecto al suelo natural es más significativo para menores porcentajes de incorporación de C.U.V.

Para el suelo natural, el MR disminuye a medida que aumenta la relación σD / $\sigma 3$. Lo mismo sucede para aumentos de σD. Esto nos indica que el suelo natural es más susceptible al efecto dinámico del tránsito a medida que disminuye el espesor de la estructura del pavimento. Esta condición se observa también, aunque en menor medida, para suelos estabilizados con bajos porcentajes de C.U.V. (entre 0% y 3%) donde aún no se han alcanzado los efectos cementantes del ligante hidráulico. Para porcentajes mayores del C.U.V. (4% en adelante) el comportamiento se invierte observándose que el MR disminuye a medida que disminuye la relación σD/ $\sigma 3$, y σD respectivamente.

Para todos los suelos tratados se puede observar que a medida que aumenta la relación $\sigma D/\sigma 3$, y σD respectivamente, el valor del MR tiende a un valor constante. En el caso del suelo natural esa tendencia no se verifica.

Referencias bibliográficas y marco normativo.

Normas de ensayo DNV; método Porter; método Shell 1963; método Shell 1978; método AASHTO1993; método AASHTO 2002; AASHTO T87 y T88 método del higrómetro; ASTM D421 y D422 método del higrómetro; AASHTO T208 compresión simple; ASTM D-2166 compresión simple; AASHTO T294-921 módulo resiliente; ASTM D-4123 módulo resiliente.

APORTES PARA LA IMPUTACIÓN DE RESPONSABILIDADES POR CONTAMINACIÓN ARMÓNICA EN REDES ELÉCTRICAS

Autores: Diego M. Ferreyra[(1)], Alejandro D. Gudiño[(2)]
GISEner (Grupo de Investigación Sobre Energía), Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional, San Francisco (Prov. de Córdoba), Argentina
[(1)] dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar; [(2)] aleg_electromecanica@hotmail.com

Resumen
En las redes eléctricas, la distorsión armónica es un parámetro de calidad de energía de régimen permanente que se debe supervisar debido a sus efectos negativos sobre las cargas sensibles. La distorsión armónica de la tensión en cualquier punto de la red de una empresa distribuidora está directamente relacionada con la no linealidad de las corrientes consumidas por sus usuarios. Sin embargo, en el punto de conexión de un usuario dado, no es trivial determinar si la responsabilidad por la contaminación armónica local es del usuario o si es del resto de la red. A fin de establecer dicha responsabilidad, existen criterios convencionales; el que se aplica localmente es relativamente sencillo de implementar, pero se ha demostrado que puede generar imputaciones erróneas de responsabilidad. En este trabajo, se tomaron mediciones a los bornes de una carga claramente distorsionante; los resultados se evaluaron con el criterio vigente en la normativa y con otro criterio alternativo propuesto en la literatura. Se proporciona así un aporte cuantitativo para la revisión del criterio vigente y para la eventual propuesta de su reemplazo.

Palabras clave
calidad de energía, calidad de potencia, contaminación armónica, distorsión armónica, imputación de responsabilidades

Introducción a la contaminación armónica

Idealmente, las tensiones y corrientes de las redes eléctricas deberían presentar formas de onda sinusoidales. Sin embargo, en el funcionamiento normal de las redes eléctricas reales, las formas de onda de tensiones y corrientes siempre distan en algún grado de una sinusoide. Dicho apartamiento se denomina distorsión armónica, por la posibilidad de expresarlo en función de componentes armónicas. La manifestación de esta distorsión en las tensiones y corrientes de una red eléctrica implica que en ella exista contaminación armónica (Gómez Targarona, 2005; Ferreyra *et ál.*, 2012; Ferreyra, 2014).
Según el análisis de Fourier, cualquier función periódica de período T puede representarse por medio de la sumatoria de suficientes funciones sinusoidales, una de frecuencia fundamental y otras de frecuencias armónicas. En la Fig. 1, se muestra un ejemplo elemental de descomposición de una forma de onda en su fundamental más una componente armónica.

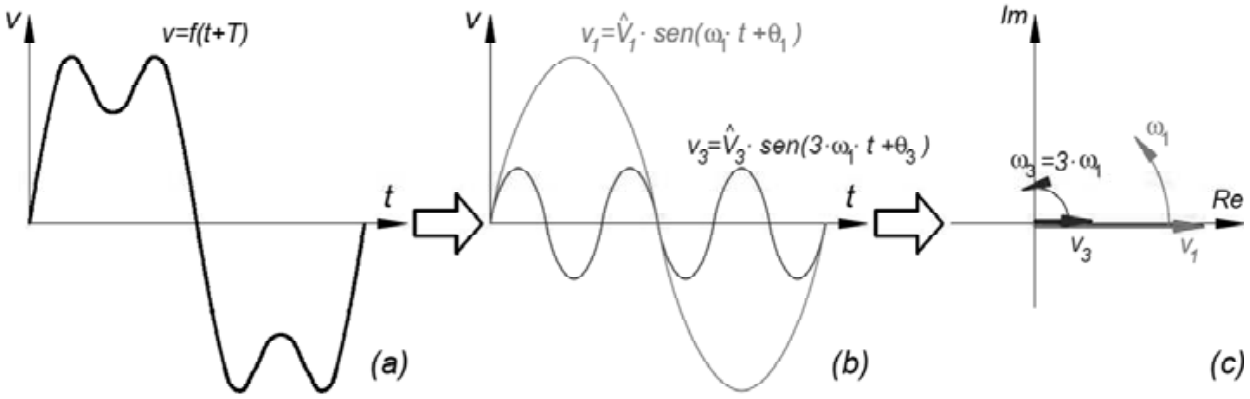


Figura 1. Descomposición de una forma de onda de tensión periódica (a) en su fundamental más una componente armónica de tercer orden (b) y su representación fasorial (c)

En el ejemplo, la armónica v_3 tiene una frecuencia angular ω_3 igual al triple de la frecuencia ω_1 de la fundamental v_1. Tanto la fundamental como la armónica representadas tienen sus respectivos ángulos de fase θ_1 y θ_3 que, para este caso, se han definido como nulos.
Una carga lineal se define como aquella cuya corriente refleja exactamente la forma de onda de la tensión que se le aplica. En contraposición, las cargas no lineales son aquellas cuya forma de onda de corriente se aparta de la forma de onda de la tensión aplicada a sus bornes. En las redes eléctricas reales, todas las cargas presentan algún grado de no linealidad, aunque algunas pueden considerarse prácticamente lineales.
Entre las cargas no lineales, se distinguen algunas que atenúan la distorsión armónica, o sea que el nivel de distorsión armónica de su corriente es menor al de una carga lineal sometida a la misma tensión; tales cargas resultan inocuas, o hasta beneficiosas, en cuanto a la contaminación armónica de la red eléctrica que las alimenta. En cambio, otras cargas no lineales resultan contaminantes porque magnifican la distorsión armónica en la red que las alimenta, debido a que consumen corrientes más distorsionadas que una carga lineal en las mismas circunstancias.
A pesar de esta clasificación, si se toman mediciones de tensión y corriente en el punto donde una distribuidora alimenta a un usuario, no resulta trivial determinar si la carga del usuario es contaminante y empeora la contaminación armónica de la red de la distribuidora o si, por el contrario, el usuario está recibiendo una tensión ya distorsionada de la red que lo alimenta.

Criterios de imputación de responsabilidades
En la normativa de nuestro país (ENRE, 1997; ENRE, 2000; Cáceres *et ál.*, 2010), rige un criterio específico para establecer si un usuario es responsable por la distorsión armónica de la tensión en su punto de conexión a la red, o bien si la responsabilidad recae sobre la empresa distribuidora de energía. Según este criterio, para cada orden armónico h, si la potencia armónica activa P_h fluye desde el usuario hacia la distribuidora y se supera el máximo admisible para esa corriente armónica, se considera responsable al usuario; si dicha potencia armónica P_h fluye en sentido inverso, se imputa la responsabilidad a la distribuidora. Sin embargo, se ha demostrado que este criterio resulta injusto debido a los “falsos positivos” que surgen (Reineri *et ál.*, 2002).
Según dicha normativa, para comprobar si un usuario está produciendo contaminación armónica por encima de los límites fijados, se prevé que la distribuidora realice las mediciones trifásicas necesarias en el punto de suministro. Durante el período de medición, se registran en intervalos de 10 minutos las tensiones armónicas, las intensidades de las corrientes armónicas y los correspondientes ángulos de desfasaje entre ellas; con estos datos, se determina la potencia activa de cada armónica. Los límites de corrientes armónicas asignados a un usuario se estipulan para cada orden armónico y, según el nivel de tensión, se determinan en proporción a su potencia (corriente) contratada. Para el caso analizado en este trabajo, se aplican los límites para usuarios con tarifas T2, fijados como valores porcentuales respecto de la corriente demandada por el usuario, obtenida a su vez de la potencia contratada, considerando un factor de potencia de 0,85.
Existen estudios que proponen otros criterios diferentes para cuya aplicación se debe obtener una impedancia equivalente tanto de la fuente (la distribuidora) como de la carga (el usuario) (Chen *et ál.*, 2004). Sin embargo, si bien esto permite asignar más claramente las responsabilidades por distorsión armónica, tales impedancias por lo general no pueden determinarse con suficiente certeza como para que los resultados puedan tomarse como concluyentes.
Un criterio alternativo consiste en la denominada separación de corrientes (Chandra *et ál.*, 2003; Srinivasan *et ál.*, 1998): a partir de los fasores de tensión y corriente de frecuencia fundamental V_1 e I_1, se calcula el siguiente valor de impedancia que luego se aplica como referencia a los fasores correspondientes a cada frecuencia armónica:

$$Z_{ref} = \frac{V_1}{I_1} \tag{1}$$

Si la relación tensión-corriente V_h/I_h a un orden armónico h dado responde exactamente en amplitud y ángulo a dicha impedancia de referencia, se considera que no hay influencia mutua, es decir, se trata de una situación límite. Si, para la tensión armónica V_h presente, la corriente armónica I_h es mayor a la que dictaría esta proporción, se considera que el usuario es

responsable por la distorsión armónica; si la corriente es menor, implicaría que es la distribuidora la responsable. En términos más concretos, para cada frecuencia, dada la tensión armónica $V_h\angle\theta_h$ se proponen los siguientes conceptos de corriente conforme I_{hc} y corriente no conforme I_{hnc}:

$$I_{hc} = \frac{V_h}{Z_{ref}}\angle[\theta_h + h \cdot (\phi_1 - \theta_1)] \quad (2)$$

$$I_{hnc} = I_h - I_{hc} \quad (3)$$

Si se suman las corrientes conformes que resultan de la aplicación de (2) a todos los órdenes armónicos, se obtiene una corriente con igual forma de onda que la tensión, aunque desplazada un ángulo de fase igual a la diferencia entre corriente y tensión de frecuencia fundamental. Esto responde a una carga ficticia de referencia con comportamiento mixto entre resistencia pura (amplitudes invariables con la frecuencia) y una inductancia pura (ángulos de fase variables linealmente con la frecuencia). Por otro lado, las corrientes no conformes que se obtienen con (3) son las que se pueden evaluar para determinar la responsabilidad en cuestión.
Para todos estos criterios, los análisis se realizan siempre de a una frecuencia armónica por vez, o sea que se admite la validez del principio de superposición, al menos convencionalmente. Así, para un grupo dado de frecuencias, el responsable de la distorsión armónica podría ser el usuario y, para otras, la responsabilidad podría recaer sobre la distribuidora. Esta situación mixta es bastante factible cuando hay múltiples cargas en un mismo punto de interconexión.
En todos los casos, previendo los límites de corrientes armónicas, cabe la posibilidad de que un usuario considerado contaminante solicite incrementar su potencia contratada a fin de diluir tal imputación de responsabilidad. En la práctica, aun cuando para el usuario el costo de esta acción cubriera las penalizaciones, todo aumento en la demanda implicaría un acuerdo entre usuario y distribuidora que primero requiere la aprobación de esta. Ante un incremento en la potencia contratada, la distribuidora debería redimensionar la red de distribución de manera tal que efectivamente se admitirían los niveles de contaminación originalmente inyectados por el usuario.

Mediciones y cómputos

Para las mediciones, se usó un analizador de calidad de energía METREL modelo Power Quality Analyser-Plus MI 2292, con una precisión de ±0,5 % de la lectura para las magnitudes medidas. Se realizaron grabaciones de 2 segundos (unos 100 ciclos a frecuencia industrial) de las formas de onda de las tensiones y corrientes de las tres fases. Dada la frecuencia de muestreo del equipo, unos 3,2 kHz, se obtuvieron 128 valores instantáneos por cada ciclo de frecuencia industrial. Los datos se descargaron y luego se procesaron numéricamente fuera de línea.
Si bien el instrumento puede registrar armónicas hasta el orden 63, se contempló solo hasta el 41 a fin de manejarse dentro del rango de precisión estipulado; también, porque, según la normativa, el THD se calcula con armónicas de hasta el orden 40 y las de órdenes superiores habitualmente no tienen gran incidencia en las redes de distribución.
Se tomaron mediciones a la entrada de un variador de frecuencia, ya que el rectificador trifásico allí dispuesto constituye una reconocida carga no lineal distorsionante, fuente de contaminación armónica. El variador se alimentó desde la red, a escasa distancia eléctrica del secundario de un transformador de distribución estándar (IRAM 2250) de 400 kVA de potencia nominal, dedicado a la instalación donde se hizo la medición.
El variador se utilizó en su configuración de 380 V, con 142 A de corriente nominal de entrada, accionando un motor de 105 A de corriente nominal. La corriente eficaz promedio consumida por el variador durante el período de medición considerado fue de 116,20 A (mín. 113,52 A, máx. 118,34 A), es decir que funcionó aproximadamente a un 80 % de carga. La tensión de fase promedio aplicada a cada una las tres fases de la entrada del variador fue de 221,36 V (mín. 220,48 V, máx. 222,10 V).
En la Fig. 1, se aprecian la disposición para la medición y los datos nominales del variador y del motor.

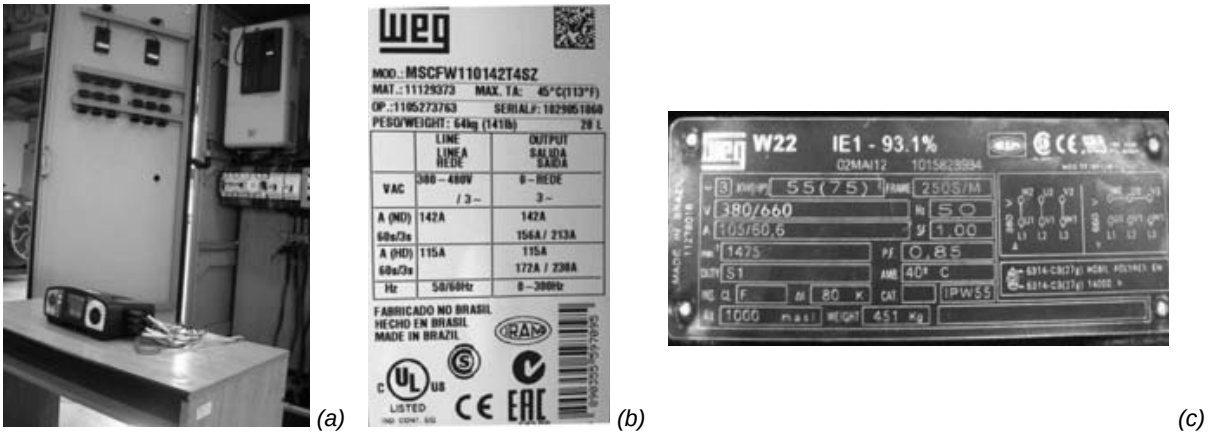


Figura 1. (a) Montaje para las mediciones. (b) Datos nominales del variador de frecuencia medido. (c) Datos nominales del motor accionado por el variador de frecuencia.

En la Fig. 2, se muestra un ciclo de la tensión de una fase y su espectro armónico en frecuencia. El THD de 4,1 % que se indica es razonable para la situación planteada: como referencia, la normativa prevé penalizar a la distribuidora si es superior al 8,0 % el percentil 95 de los valores medios de una serie de mediciones tomadas en períodos de 10 min durante una semana.

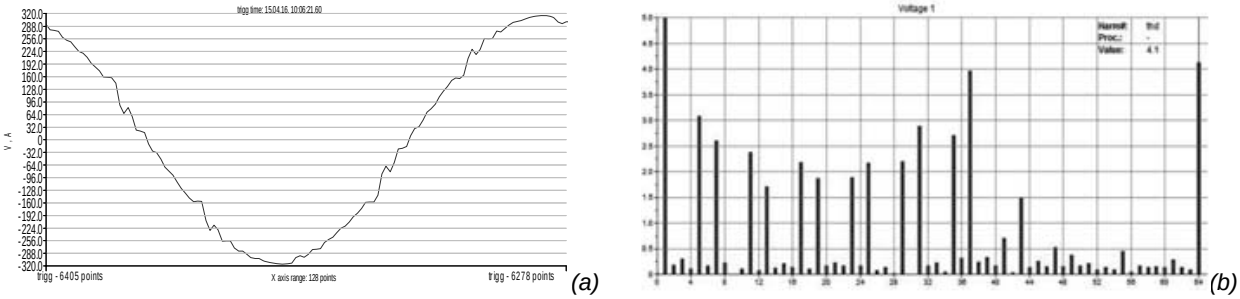


Figura 2. Un ciclo de tensión en la fase “1”. (a) Forma de onda. (b) Espectro en frecuencia.

En la Fig. 3, se ve un ciclo de la corriente homóloga a la tensión antes presentada, también con su espectro armónico en frecuencia. Naturalmente por la carga de que se trata, y como es de esperar con la forma de onda observada, el THD de 33,4 % es notoriamente superior al de la tensión.

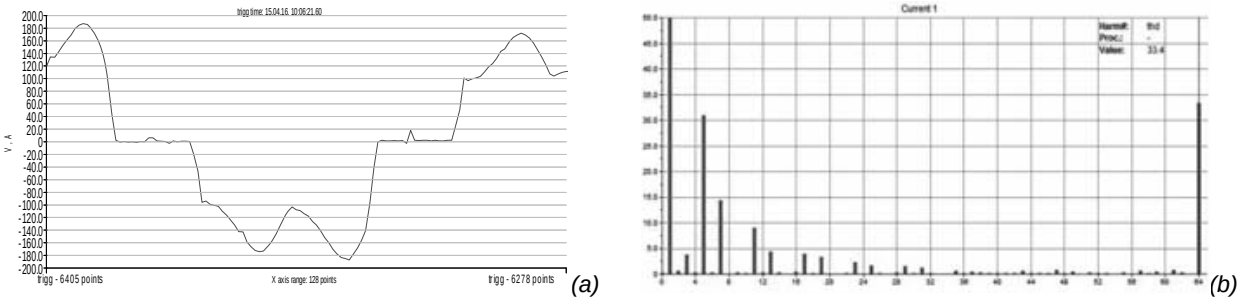


Figura 3. Un ciclo de corriente en la fase “1”. (a) Forma de onda. (b) Espectro en frecuencia.

Las mediciones (3 tensiones y 3 corrientes) se procesaron de la siguiente manera:
Paso 1: se seleccionó un período completo de la frecuencia fundamental (128 puntos de medición instantánea a la frecuencia de muestreo).
Paso 2: se aplicó la transformada discreta de Fourier para obtener los fasores de las componentes armónicas $V_h \angle \theta_h$ de las tensiones e $I_h \angle \phi_h$ de las corrientes.

Paso 3: se verificaron armónicas pares tan reducidas que se despreciaron ($|V_h| \leq 0{,}5\ \%\ |V_1|$, $|I_h| \leq 0{,}5\ \%\ |I_1|$), al igual que el valor de corriente continua. Ambas condiciones son habituales en redes eléctricas industriales, aunque esta simplificación es especial, ya que la normativa contempla todas las armónicas entre orden 2 y 40 para los cómputos. Con el mismo criterio, se despreciaron las triples, aunque la de orden 3 tenía casi un $2{,}5\ \%$ de incidencia en corriente.
Paso 4: para las tensiones y corrientes de cada orden armónico, se obtuvieron las componentes de secuencia cero ("0"), positiva ("+") y negativa ("-"). Se verificaron desequilibrios reducidos (p. ej., $|V_{5(-)}| \leq 10\ \% |V_{5(+)}|$), por lo que se continuó el análisis solo para la secuencia característica de cada orden armónico (p. ej., negativa para la 5.ª, positiva para la 7.ª, etc.).
Paso 5: se obtuvo la impedancia ficticia de referencia con las componentes de secuencia positiva de la frecuencia fundamental de la tensión y la corriente $Z_{ref} = V_1/I_1$.
Paso 6: para cada orden armónico, se obtuvo la corriente conforme I_{hc} según (2)
Paso 7: para cada orden armónico, se obtuvo la corriente no conforme I_{hnc} según (3)

Resultados
En la Tabla 1, se presentan los resultados de aplicar ambos criterios a las mediciones:

Tabla 1: Resultados obtenidos y aplicación de criterios de imputación de responsabilidades

h	Sec.	V_h $\angle\theta_h$	I_h $\angle\phi_h$	$\lvert I_{hmáx}\rvert$	P_h	Q_h	Criterio ENRE.	$I_{hc}\angle\phi_{hc}$	$I_{hnc}\angle\phi_{hnc}$	Criterio separac.	Crit. sep. + $\lvert I_{hmáx}\rvert$
1	+	221,2 <20,3	108,5 <14,5		23 869	2411		108,5 <14,5			
5	-	3,103 <-172,4	31,02 <-125,4	17,04	65,61	-70,43	-	1,521 <-201,2	30,68 <-122,6	X	X
7	+	2,312 <53,3	14,13 <169,0	12,07	-14,17	-29,43	x	1,133 <12,9	15,17 <170,7	X	X
11	-	2,251 <-100,1	9,210 <4,5	6,106	-5,215	-20,07	x	1,104 <-163,5	10,29 <5,8	X	X
13	+	1,554 <132,3	4,833 <-127,7	4,260	-1,311	-7,396	x	0,7619 <57,3	5,593 <-127,0	X	X
17	-	1,920 <-12,0	4,318 <101,1	3,834	-3,248	-7,627	x	0,9413 <-110,0	5,146 <95,7	X	X
19	+	1,840 <-156,1	3,470 <-39,7	2,698	-2,843	-5,715	x	0,9020 <-265,7	4,147 <-48,7	X	X
23	-	1,852 <81,2	2,831 <-168,0	2,272	-1,866	-4,900	x	0,9081 <-51,5	3,336 <177,9	X	X
25	+	1,990 <-59,2	2,236 <56,1	2,272	-1,896	-4,025	-	0,9755 <-203,4	2,599 <34,4	X	-
29	-	2,087 <163,4	1,641 <-82,0	1,263	-1,429	-3,113	x	1,023 <-3,9	1,745 <-117,0	X	X
31	+	2,628 <18,0	1,455 <151,2	1,200	-2,619	-2,786	x	1,288 <-160,8	1,125 <93,0	X	X
35	-	2,782 <-157,9	0,9993 <5,2	1,095	-2,659	-0,8095	-	1,364 <-359,8	0,3781 <167,0	-	-
37	+	3,762 <48,5	1,071 <-118,2	1,052	-3,920	0,9314	x	1,844 <-165,0	1,358 <-20,1	-	-

En "h", se indican los órdenes armónicos y en "Sec.", la secuencia preponderante, "+" o "-" según el caso. En "$V_h\angle\theta_h$", están los fasores de las tensiones armónicas y en "$I_h\angle\phi_h$", los de las corrientes armónicas. En "$|I_{hmáx}|$", se da el valor máximo admitido según la normativa para la corriente de ese orden armónico, tomando como referencia la corriente nominal del variador en esa configuración, $142\ A$. Luego, "P_h" y "Q_h" son potencias armónicas activas y reactivas. En

"Criterio ENRE", se da el resultado del criterio vigente, donde una "x" implica que se responsabiliza al usuario. En "I_{hc}" y "I_{hnc}", se detallan las corrientes conforme y no conforme a cada frecuencia. En la columna "Criterio separac.", se indica el resultado del criterio alternativo considerado. En la última columna, "Crit. sep. + $|I_{hmáx}|$", se agrega a este criterio alternativo el resultado de la verificación con "$|I_{hmáx}|$".

Conclusiones

En este trabajo, se midieron tensiones y corrientes a bornes de una carga muy contaminante en cuanto a armónicas, como es un rectificador trifásico industrial. Para determinar responsabilidades de contaminación armónica, se aplicaron dos criterios: el vigente en la normativa, basado en el sentido de las potencias activas armónicas y en los límites de corrientes armónicas; y un criterio alternativo tomado de la literatura, que propone la separación de una corriente conforme de una no conforme, diferenciadas por medio de una convención específica. Con este criterio alternativo, incorporando los límites de corrientes armónicas, se imputó a la carga como responsable para todos los órdenes armónicos hasta el 31 inclusive, salvo el 25. Con el criterio vigente en la normativa, se tuvieron las mismas imputaciones, pero se eximió a la carga de responsabilidad en la quinta armónica, justamente la de mayor nivel después de la fundamental y claramente originada en la carga. Esto aporta una prueba de la necesidad de revisar y eventualmente reemplazar el criterio vigente por otro más fiable, ya sea el alternativo propuesto u otro similar.

Agradecimientos

Los autores agradecen al grupo de la UTN Fac. Reg. San Francisco CIDEME (Cálculo, Investigación, Desarrollo y Ensayo de Máquinas Eléctricas) por brindar los medios para realizar las mediciones; y al IPSEP (Instituto de Protecciones de Sistemas Eléctricos de Potencia) de la Fac. de Ing. de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) por brindar recursos de software.

Este trabajo se financió parcialmente con el PID (Proyecto de Investigación y Desarrollo) "Evaluación de una metodología para la imputación de responsabilidades por la contaminación armónica en redes de baja tensión", desarrollado en la Facultad Regional San Francisco de la UTN, homologado por Rectorado de UTN con el código ENUTNSF0002234.

Referencias

R. Cáceres, R. Correa, E. Cordero, "Desarrollo de la normativa para el control de perturbaciones (flicker y armónicas) correspondientes al producto técnico (Etapa 2) en la provincia de Mendoza, Argentina", CIDEL 2010, Buenos Aires, 2010

A. Chandra, B. Mbang, K. Srinivasan, B. N. Singh, P. Rastgoufard, "A Method of Implementation of Separating Customer and Supply Side Harmonic Contributions Using an Active Filter", May 2003

C. Chen, X. Liu, D. Koval, W. Xu, T. Tayjasanant, "Critical Impedance Method. A New Detecting Harmonic Sources Method in Distrib. Systems", IEEE Trans. Pow. Del., Vol. 19, No. 1, Jan. 2004

ENRE, Ente Nacional Regulador de la Electricidad de Argentina, "Base Metodológica para el control de la emisión de perturbaciones. Producto técnico. Etapa 2", Resolución ENRE Nº 99/1997

ENRE, Ente Nacional Regulador de la Electricidad de Argentina, "Base metodológica para el control de la calidad del producto técnico", Resolución ENRE Nº 184/2000

D. Ferreyra, A. Gudiño, "Calidad de energía: Medición de armónicas de tensión en una instalación urbana", Editorial Universitaria de la Universidad Tecnológica Nacional, 2012, http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/medicion_armonicas_tension.pdf

D. Ferreyra, "Implementación de técnicas de estimación de estado armónico en sistemas eléctricos de distribución", Tesis de Maestría en Cs. de la Ing., Fac. de Ingeniería UNRC, 2014

J. C. Gómez Targarona, Calidad de Potencia: para usuarios y empresas eléctricas, Buenos Aires (Argentina), Edigar, 2005

C. Reineri, M. Florit, D. Adorni, "Un aporte para la determinación de responsabilidades en la contribución a la distorsión armónica en el punto de acoplamiento común", CIDEL ARGENTINA 2002, Buenos Aires, 2002

K. Srinivasan, R. Jutras, "Conforming and Non-Conforming Current for Attributing Steady State Power Quality Problems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 1, Jan. 1998

EXPENDEDORA AUTOMÁTICA DE AGUA POTABLE

Autor: Luciano S. Giorgis - Tutor: Fabián Sensini
UTN-FRVM, Av. Universidad 450, Villa María 5900, Argentina

Resumen

El objetivo de este trabajo fue desarrollar una expendedora automática de agua potable capaz de brindar agua caliente (80 – 85° C), fría (8 – 10° C) y agua a temperatura ambiente, en volúmenes comprendidos entre 0,5 y 20 litros. La misma cuenta con un sistema de cobro por medio de un monedero electrónico y un servicio optativo de tarjeta de proximidad, implementado con un lector de identificación por radio frecuencia (RFID). Para proveer de agua caliente la expendedora cuenta con una resistencia de 1500 W de potencia, sumergida en una caldera de acero inoxidable, el sistema de provisión de agua fría, emplea un circuito cerrado de refrigeración el cual consta de seis elementos principales: un compresor de 75 W, un condensador, una válvula de expansión, un capilar, un evaporador y un termostato y el sistema de agua natural es uno de los más simples y a diferencia de los anteriores su entrada está conectada directamente al tanque principal y su expendio depende de la electroválvula correspondiente, donde cada sistema cuenta con su propia electroválvula.

Palabras clave: RFID, microcontrolador

Introducción

Debido fundamentalmente al avance de la tecnología, en los últimos años se observa con notoriedad el desarrollo de máquinas y sistemas puestos al servicio de la sociedad para mejorar su calidad de vida y brindar soluciones prácticas a sus necesidades. En base a ello se decidió desarrollar una máquina capaz de entregar de manera automática agua potable, sin necesidad de depender de terceros o tener restricciones horarias.

Para desarrollar el análisis del funcionamiento de la máquina expendedora, la misma fue dividida en cuatro sistemas: comunicación con el usuario, control de potencia, control de apertura y sistema de control. En la Figura 1 se presenta el esquema en bloques con las partes principales de la máquina.

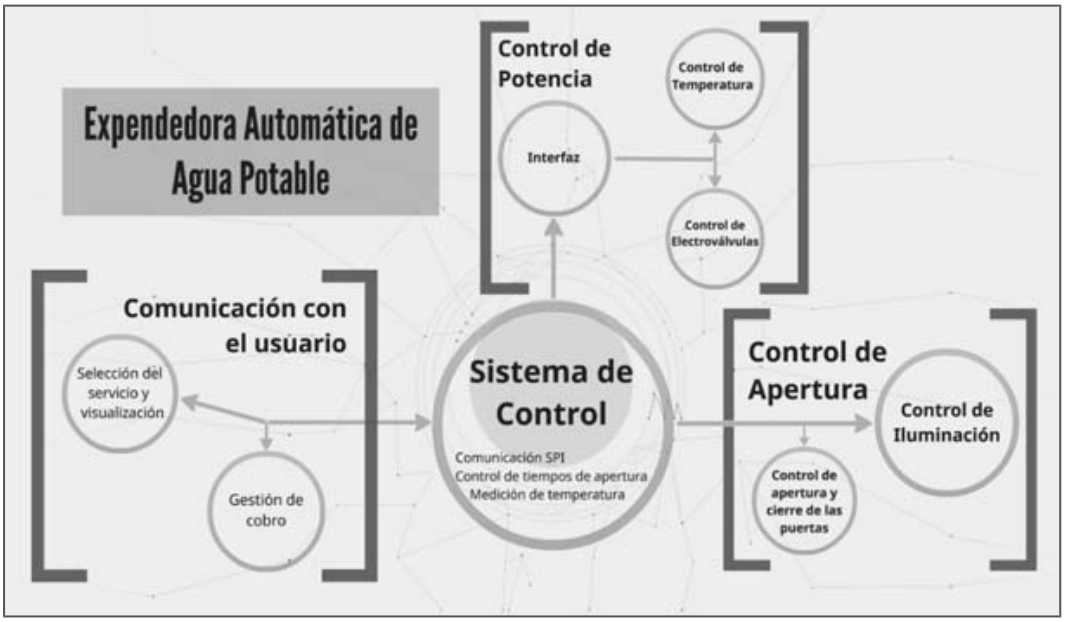


Fig. 1. Esquema en bloques de la máquina expendedora.

Desarrollo

1. Comunicación con el usuario

Para el manejo de la expendedora el usuario cuenta con un panel principal con el que realiza su pedido. Este está formado por siete pulsadores, uno es utilizado como parada de emergencia, tres son empleados en la selección del tipo de agua, dos sirven para seleccionar la cantidad de agua, partiendo de un mínimo preestablecido y permitiendo modificar dicho valor mediante suma o resta mientras que el último confirma las acciones solicitadas.

1.1 Monedero electrónico

El modelo de monedero utilizado en la máquina expendedora pertenece a la empresa SOMYC, modelo ECO-2, configurado como validador de monedas, es decir, luego que ingresa una moneda, el mismo la valida en función de su diámetro, espesor, material del borde, aceleración de caída, etc.

1.2. Lector de tarjetas

La máquina cuenta con un segundo sistema de cobro el cual consiste en un lector de identificación por radio frecuencia (RFID).
Un sistema RFID consiste en un lector y una o más etiquetas. A través de su antena el lector transmite energía, que es absorbida por la antena de la etiqueta y utilizada para alimentar el microchip incluido en la misma. Es entonces cuando la etiqueta RFID modula las ondas electromagnéticas generadas por el lector para poder devolverle la información que en ella se almacena. El lector, de esta manera, recibe las ondas moduladas y las digitaliza. Se utilizó el módulo lector/escritor presentado en la Figura 2, denominado “módulo RFID MFRC522” el cual contiene un circuito integrado de la empresa NPX SEMICONDUCTOR llamado “MFRC522” [1] y los demás componentes necesarios para su funcionamiento.

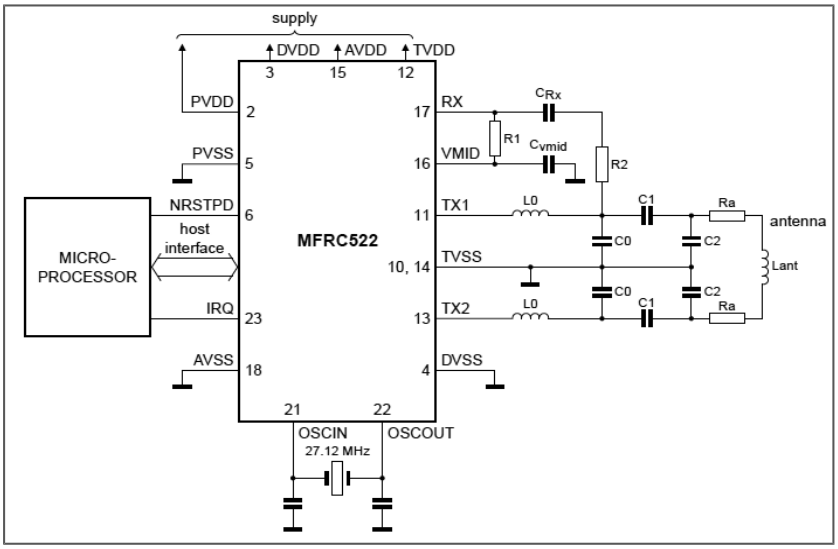


Fig. 2. Circuito electrónico implementado en el lector/escritor.

El integrado MFRC522 perteneciente al módulo es capaz de leer y escribir etiquetas de tecnología MIFARE estándar, que es una tecnología de etiquetas inteligentes sin contacto, opera a una frecuencia de 13,56 Mhz con una tensión de alimentación de $3{,}3\,Vcc$, trabajando con cualquier etiqueta nucleada según la norma ISO/IEC 14443, las cuales cumplen con los requisitos para establecer de manera correcta la comunicación entre el lector y la etiqueta, la expendedora cuenta con etiquetas en formato de tarjetas.

El esquema en bloques resumido del integrado mencionado anteriormente puede observarse en el Figura 3.

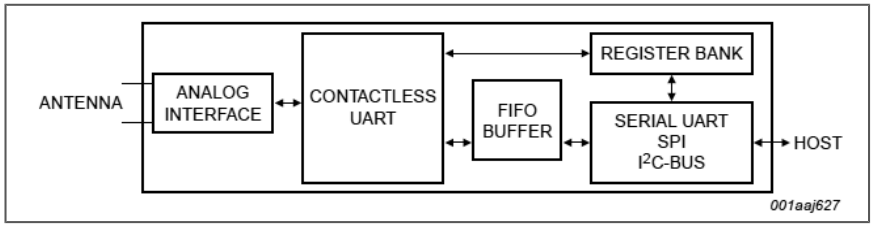


Fig. 3. Esquema en bloques del integrado MFRC522 [2].

La interfaz analógica se encarga de la modulación y demodulación de las señales analógicas proveniente de un proceso de lectura o escritura en la tarjeta. La UART (transmisor-receptor asíncrono universal) gestiona los requisitos del protocolo para la comunicación además de realizar la detección de errores mediante la comprobación de redundancia cíclica (CRC) en función de la paridad y la velocidad de transferencia. El buffer FIFO (primero en entrar-primero en salir) garantiza una transferencia de datos rápida entre el microcontrolador y la etiqueta. El MFRC522 identifica la interfaz utilizada automáticamente mediante la detección de los niveles lógicos de tensión en los pines de control.

La comunicación entre el microcontrolador y el módulo MFRC522 se lleva a cabo mediante la interfaz SPI [3] (interfaz de periféricos serie). La interfaz del lector puede manejar velocidades de transferencia de hasta 10 Mbit/s, durante la comunicación el módulo lector sólo puede actuar como un dispositivo esclavo, es decir que el maestro será el microcontrolador, este establece la configuración de los registros internos del módulo.

El protocolo SPI consta de 4 señales: SCK (señal de reloj, proporcionada por el microcontrolador), MOSI (salida de datos desde el maestro al esclavo) MISO (se utiliza para enviar datos desde el MFRC522 al maestro) y NSS (esclavo no seleccionado) es decir que indica a un esclavo que el dato proveniente del maestro es para él o bien se reclama que envíe una respuesta a una petición del maestro. Los bytes de datos en ambas líneas MOSI y MISO se envían con el MSB primero. Los datos sobre las dos líneas deben ser estables en el flanco de subida del reloj y se puede cambiar en el flanco de bajada.

En la Figura 4, se presenta el diagrama de tiempos de la interfaz SPI del módulo lector de tarjetas:

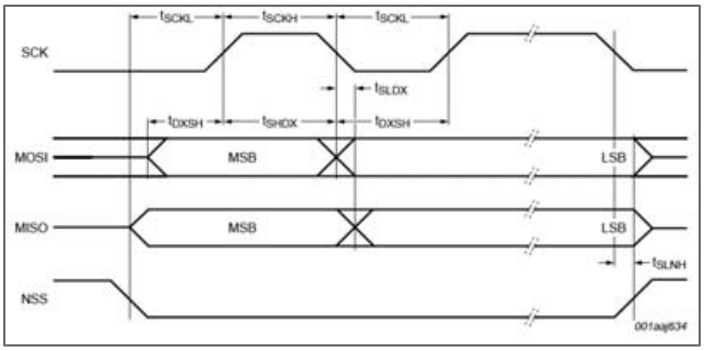


Fig. 4. Diagrama de tiempo de la interfaz SPI [3].

La lectura y escritura de los datos mediante el protocolo SPI requiere del orden de bytes que se muestran en la Tabla 1 y 2 respectivamente, donde el primer byte define tanto el modo como la dirección de los datos. Es posible leer y escribir hasta n-bytes de datos con la misma dirección.

Tabla 1. Líneas MOSI y MISO orden de bytes para la lectura.

Línea	Byte 0	Byte 1	Byte 2	To	Byte n	Byte n+1
MOSI	Dirección 0	Dirección 1	Dirección 2	…	Dirección n	00
MISO	-	Dato 0	Dato 1	…	Dato n-1	Dato n

Tabla 2. Líneas MOSI y MISO orden de bytes para la escritura.

Línea	Byte 0	Byte 1	Byte 2	To	Byte n	Byte n+1
MOSI	Dirección 0	Dato 0	Dato 1	…	Dato n-1	Dato n
MISO	-	-	-	…	-	-

Como se puede observar en la Tabla 1, durante un proceso de lectura el dispositivo maestro envía la dirección al dispositivo esclavo y este le envía los datos como respuesta y para el proceso de escritura presente en la Tabla 2, el dispositivo maestro envía primero el byte de dirección y luego envía los datos a escribir.

El byte de dirección debe ser enviado con el formato presentado en la Tabla 3. El bit más significativo del primer byte define el modo, es decir, si es igual a 1 el MFRC522 actúa como lector y si es igual a 0, actúa como escritor. El bit menos significativo es puesto a 0 y los bits restantes (6:1) son empleados para definir la dirección a acceder.

Tabla 3. Orden byte de dirección.

7(MSB)	6	5	4	3	2	1	0(LSB)
1/0	Dirección						0

2. Control de Potencia

El sistema de control de potencia, es la interfaz necesaria entre el microcontrolador y la red de energía eléctrica, por un lado maneja el encendido y apagado de una resistencia en función de la temperatura preestablecida a la que debe ser entregada el agua caliente y además controla las electroválvulas que administran el tipo de agua solicitada por él usuario. Para su desarrollo se utiliza como elemento conductor a un TRIAC, modelo Q4015L5 [4], el mismo es un dispositivo electrónico semiconductor bidireccional de tres terminales, uno de los cuales es el mando o compuerta (G) y los otros dos son los terminales de conducción (MT2 MT1).

En la figura se puede observar el encapsulado, Figura 5 (a), acompañado del símbolo del componente Figura 5 (b).

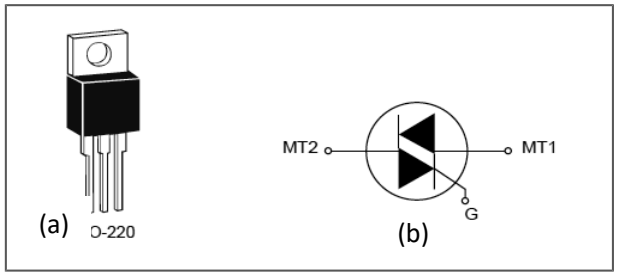


Fig. 5. TRIAC. (a) Encapsulado (b) Símbolo.

Para el control del encendido del TRIAC, se emplea un optoacoplador, cuyo modelo es MOC3041M [5], el mismo es un TRIAC acoplado ópticamente dentro de un mismo encapsulado, con la particularidad de tener un sistema detector de cruce por cero, que permite sincronizar las

señales de la red eléctrica con las señales de. En la Figura 6, se puede visualizar el componente acompañado de su esquemático.

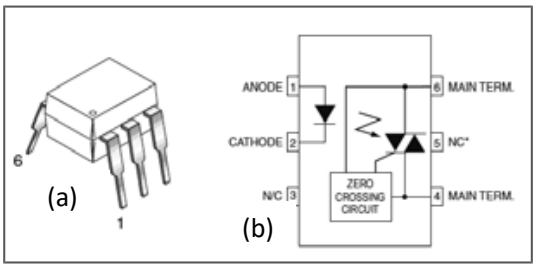


Fig. 6. Optoacoplador. (a) Encapsulado (b) Símbolo.

La señal proveniente del microcontrolador debe ingresar por el pin 1, la misma no debe superar los 15 mA y la conexión del TRAIC se realiza entre el pin 6 y 4.

4. Sistema de control: Microcontrolador

Para la elección del microcontrolador se tuvieron en cuenta las características con las que debía contar a la hora de controlar las funciones de la máquina, es decir, que dispusiera de los pines necesarios para establecer la comunicación con el usuario, que contara con un periférico SPI capaz de trabajar en conjunto con el lector de tarjetas enumerado en la sección 1.2, que contara con un conversor analógico a digital empleado en el control de temperatura del sistema de agua caliente y demás funciones, tales como controlar el tiempo de apertura de las electroválvulas. Esto condujo a optar por el PIC18F4550 de la empresa Microchip Technology Inc. [6] de 40 Pin PDIP.

4. Control de apertura

La máquina expendedora cuenta con dos gabinetes, el más pequeño llamado Gabinete 1, Figura 7 (a) donde se entrega el agua caliente para termos o el agua fría para botellas y el gabinete de mayor tamaño llamado Gabinete 2, Figura 7 (b) que es donde se expende el agua natural para bidones dispenser.

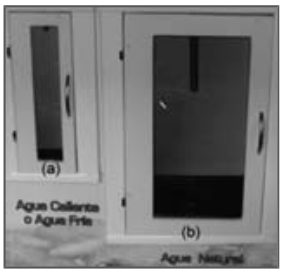


Fig. 7. Gabinetes. (a)Agua fria/Caliente. (b)Agua natural.

Cada gabinete cuenta con una puerta individual y un sistema de trabas, lo que impide su apertura y solo se abren al momento de ingresar o retirar los envases provistos por los usuarios, de esta manera se garantiza que al momento de entregar agua no se produzca ninguna alteración con el envase.

En la Figura 8 se presenta la expendedora terminada, las dimensiones de la misma son 1,7 m de altura y 0,75 m de ancho.

Fig. 8. Expendedora automática de agua potable.

5. Conclusión.

Se concluye que el proyecto cumple con las expectativas, es capaz de entregar agua en tres alternativas posibles en cualquier momento y su funcionamiento es lo más dinámico posible, para facilitar de esta manera el uso de la misma por parte de los usuarios. La expendedora no depende de una persona encargada de su operación, ya que la máquina está provista con los sistemas necesarios para trabajar de manera eficiente por largos periodos de tiempo. El hecho de que el usuario cuenta con dos alternativas a la hora de abonar su pedido, le da a la expendedora un panorama de trabajo más amplio, ya que no sólo apunta al uso casual, sino también está destinada a generar clientes de uso frecuente.
La investigación e implementación de un sistema de cobro utilizando tecnología RFID, está siendo cada vez más utilizada, tanto en transporte público como en sistemas de control de acceso a viviendas, lo cual le da mayor importancia a dicho desarrollo, ya que puede tomarse como punto de partida para realizar otras actividades.

6. Referencias.

[1] NXP Semiconductors; MFRC522, data sheet: (112138, 2014)

[2] NXP Semiconductors; MFRC522, Section 6. Block Diagram: (112138, 2014)

[3] NXP Semiconductors; MFRC522, Section 8.1. Digital Interfaces: (112138, 2014)

[4] Littelfuse; Q4015L5, data sheet: (19725807777, 2004)

[5] Fairchild; MOC3041M, data sheet: (1.01, 2005)

[6] Microchip Technology Inc.; PIC18F4550, data sheet: (DS39632C, 2006)

ANÁLISIS DEL APROVECHAMIENTO DE HIDRÓGENO EN LA ELECTRO FLOCULACIÓN DE UN EFLUENTE INDUSTRIAL

Tutor: Yonni, F[(1),(2)]. ;Tutor [(2)]: Fasoli, H. ; Autor: Montesino, Juan I.

[(1)]UTN, FRGP Av. Hipólito Yrigoyen 288, 1617 Gral. Pacheco, Buenos Aires, Argentina,
Tel: +54-11-4740-5040, electrica@frgp.utn.edu.ar
[(2)]UCA, FCFI Av. Alicia Moreau de Justo 1500, C1107AAZ .CABA, Argentina, Tel: +54-11-4338-0743

Resumen

En el siguiente trabajo se presenta un dispositivo que se ha diseñado a escala laboratorio para el aprovechamiento, como vector energético, del gas hidrógeno generado como coproducto en el proceso de electrofloculación aplicado a la purificación de efluentes acuosos industriales.

El diseño propuesto utiliza un electrodo de acero inoxidable como cátodo y un electrodo de cobre como ánodo; la separación entre los electrodos es de 2 cm y fueron dispuestos concéntricamente lo que permite que la distribución de campo eléctrico y la densidad de corriente sea uniforme.

Los resultados obtenidos permitieron interpolar una producción de hidrógeno de 16 L/h, para un caudal de líquido a tratar de aproximadamente 150 L/h, lo que posibilitaría generar, a partir de su conexión a una pila a combustible hidrógeno, una energía de 1,15 kWh por día. Como el consumo de una vivienda unifamiliar tipo es de 10 kWh por día, podríamos generar un poco más del 10% del consumo doméstico promedio diario (estimando el consumo de una vivienda unifamiliar tipo en 300 kWh/mes).

Introducción

El agua es tanto un derecho como una responsabilidad, y tiene, además, valor económico, social y ambiental. Por tal motivo resulta imperioso tomar conciencia de que el agua dulce de calidad es un recurso natural, cada vez más escaso tanto a nivel superficial como subterráneo, necesario no sólo para el desarrollo económico sino imprescindible como soporte de cualquier forma de vida en la naturaleza. Al mismo tiempo no cabe duda de que la industria es motor de crecimiento económico y, por lo tanto, clave del progreso social; sin embargo el adecuado tratamiento de sus aguas residuales y su posterior reutilización contribuye a un consumo sostenible del agua y a la regeneración ambiental del dominio público hidráulico, marítimo y de sus ecosistemas.

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura[1] la extracción hídrica total en Argentina para el 2011 alcanzó los 37,8 km^3, señalando que al sector industrial le corresponde un consumo de 4,0 km^3 equivalente al 11% de las extracciones y por ende un valor similar de residuos líquidos generados. Generalmente las aguas residuales industriales son finalmente vertidas a un cuerpo receptor natural (mar, ríos, lagos), por lo cual es imprescindible su tratamiento previo de los afluentes para proteger la fauna y flora.

Los métodos convencionales de tratamiento de las aguas residuales industriales utilizan una combinación de métodos químicos (adición de productos químicos para conseguir la precipitación y el volumen y peso adecuados de los lodos) y métodos físicos (decantación y flotación)[2]. En los últimos años se ha señalado a la electrocoagulación o electrofloculación como una técnica eficiente y económica para el tratamiento de aguas residuales. El método consiste en la desestabilización de contaminantes presentes en un medio acuoso mediante la introducción de una corriente eléctrica continua y constante a través de una o varias celdas electrolíticas. Cada celda consta de dos electrodos metálicos siendo uno de ellos (el ánodo) generalmente de hierro o aluminio, los cuales se encuentran sumergidos en una solución conductora formada por el líquido a tratar.

El objetivo del presente estudio consiste en diseñar un dispositivo a escala laboratorio que permita colectar el hidrogeno generado en la electrofloculacion de un efluente; de esta manera se busca determinar el posible aprovechamiento del gas hidrógeno como vector energético, ampliando la sustentabilidad del proceso de electrofloculación, aplicado a la purificación de aguas residuales.

Desarrollo

Ensayos preliminares al diseño del reactor

En primer lugar, se realizaron pruebas en laboratorio utilizando un diseño convencional de reactor para electrofloculación, montando electrodos paralelos de dimensiones (10,0 cm x 10,0 cm y 0,4 mm de espesor), utilizando cobre como cátodo y acero inoxidable como ánodo, sobre soportes a diferentes distancias. Como fuente de corriente continua se utilizó el modelo DC Power Supply HY 3010.

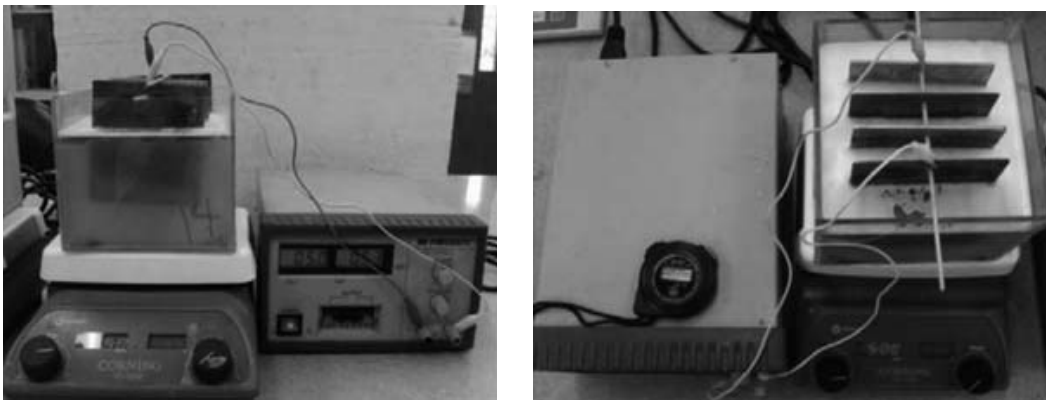


Fig. 1 Diseño convencional de un electrofloculador experimental

Diseño y construcción del electrofloculador

En un electrolizador convencional de geometría rectangular pueden producirse pérdidas eléctricas debido a las corrientes parásitas originadas en los vértices del electrodo (efectos de esquina) como consecuencia de la acumulación de campos electromagnéticos en dichos vértices ocasionada por una densidad de corriente no uniforme, además es complicado poder colectar el hidrogeno producido como consecuencia del pasaje de corriente eléctrica en la solución. Este fenómeno no se verifica en electrodos circulares, por lo que se optó por utilizar una distribución radial dado que de esta forma el campo eléctrico tiene una distribución uniforme y se logra una densidad de carga pareja en todo el electrodo [3]. Se decidió también que el floculador presente un desarrollo vertical, para favorecer la recolección del hidrógeno producido, gas que habitualmente es venteado en los diseños convencionales utilizados industrialmente. Además, el esquema permite que el único elemento consumible (ánodo), sea de fácil intercambio. En relación al material de este electrodo se utilizó el cobre como cátodo teniendo en cuenta su excelente maleabilidad, su relativamente bajo costo y su bajo sobrepotencial (en relación a otros posibles metales a utilizar) asociado a la formación de hidrógeno (potencial a pH 7: -0,479 V).

La construcción del reactor (ver Fig. 3) se realizó en polipropileno, material económico e inerte para nuestras necesidades. El reactor está formado de un tubo de 2” y de un largo de 25 cm, recubierto internamente con una lámina de cobre (cátodo). En su parte superior contiene una tapa roscada de 2” conectado a un acople que sostiene y centra el ánodo (formado por una varilla de acero inoxidable). En la parte inferior del reactor se agregó un sistema receptor de los sólidos formados (principalmente flóculos de óxido férrico hidratado) de plástico transparente (para poder

visualizar su saturación); el mismo tiene una rosca que facilita la extracción de los sólidos decantados. En los laterales se realizaron tres perforaciones, dos de ellas destinadas al ingreso y salida del agua a tratar y la tercera que permite la conexión del ánodo a la fuente de corriente a través de un cable de cobre. Finalmente se selló las conexiones existentes para asegurar la hermeticidad del sistema. El hidrógeno producido es colectado a través de un frasco de vidrio que permite el drenaje de líquido y el pasaje del hidrógeno a un sistema cuantificador formado por un tubo invertido de acrílico graduado que a través del desplazamiento de una columna de agua permite la lectura del volumen de hidrógeno formado. El líquido a tratar presenta las siguientes características.

Estudios de la sustancia	valores	Método de cuantificación
DQO	700 mg/l	5220 D Std. Methods Ed. 22
Sólidos sedimentables 10´	< 0,1 mL/L	2540 Std. Methods Ed. 22
Sólidos sedimentables 2 hs	< 0,1 mL/L	2540 Std. Methods Ed. 22
pH	7,2	

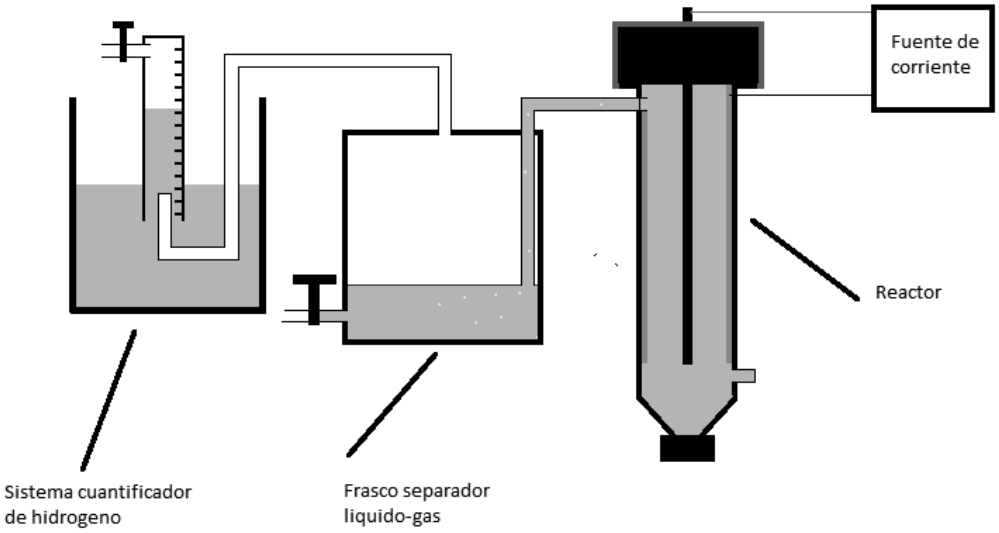


Fig. 2- Esquema del floculador

Los ensayos se desarrollaron utilizando un caudal de agua de 2,5 L/h, una corriente media 50 mA y una tensión del orden de los 0,8 volts.

Fig. 3-Vista del electrofloculador y el sistema colector de hidrógeno en funcionamiento, con pila de hidrógeno

La cuantificación del hidrógeno colectado en los ensayo en laboratorio (realizado por duplicado) alcanzo un valor medio de 0.26 L/h con una dispersión de 1-2% ; estos valores permiten interpolar una producción de hidrógeno de 16 L/h, para un caudal de líquido a tratar de aproximadamente 150 L/h, lo que permitiría generar, a partir de su conexión a una pila a combustible hidrógeno, una energía de 1,15 kWh por día que representa un poco más del 10% del consumo doméstico promedio diario (estimando el consumo de una vivienda unifamiliar tipo en 300 kWh/mes).

Conclusiones

Como conclusión del trabajo se puede inferir que el diseño cilíndrico del equipo de electrofloculación a utilizar en el tratamiento de efluentes industriales permite la colección del gas hidrógeno que se produce en el cátodo. La separación de este gas y su inyección en pilas de combustible hidrógeno permite una generación energética que podría satisfacer la demanda del 10% del consumo doméstico urbano promedio diario de aproximadamente 10 kWh. Es importante destacar que la presente propuesta no se agota en este trabajo ya que el mismo aporta solo datos parciales obtenidos en laboratorio, por lo que para tener una aproximación mayor al uso indirecto del proceso industrial del tratamiento de efluentes denominado electrofloculación para la generación de energía eléctrica habría que llevar los ensayos a escala planta piloto.

Referencias

[1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/arg/indexesp.stm
[2] Antonio Rodríguez Fernández-Alba, A.R, Letón García, P., Rosal García, R., Dorado Valiño, M., Villar Fernández, S., Sanz García, J.M. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Elecé Industria Gráfica. Depósito Legal: M-30985, 2006
[3] Butler,E., Hung,Y.,Yu-Li Yeh, R., Al Ahmad, M.S. Electrocoagulation in Wastewater Treatment. Water. 2011, 3, 495-525. [4] Cerqueira, A.A., Russo, C., da C. Marques, M. C., Electroflocculation for textile wastewater treatment. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2009, 26(4), 659-668.
[4] AkankshaG , Roopashree G. B., Lokesh K. S., Comparative study of electrode material (iron, aluminium and stainless steel) for treatment of textile industry wastewater. International Journal of Environmental Sciences. 2013, 4, (4), 519-531.

EVALUACIÓN DE MEZCLAS COLORANTES EMPLEADAS EN LA DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO POR EL MÉTODO DEL AZUL DE MOLIBDENO

Mariana Muzzio[1], Verónica Frossasco[1], Paula V. Sarmiento[2]

[1] Alumna de Ingeniería Química Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María.
[2] Becaria en proyecto de investigación y desarrollo de Ciencia y Tecnología, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María. e-mail: paula.victoria.sarmiento@gmail.com

TUTORES: Mg. José Peralta; Mg. Miguel A. Rosa

Resumen

En el presente trabajo se realizó la evaluación de diferentes mezclas colorantes propuestas por tres autores empleadas en la técnica del azul de molibdeno, para determinar cuál de ellas obtiene los resultados más precisos y produce un complejo estable en el tiempo. Para ello se aplicó la metodología de adiciones estándares a una muestra de agua corriente adicionada con patrón de arsénico, y se empleó el método del azul de molibdeno para la determinación de arsénico. Se efectuó la regresión lineal de los datos obtenidos y se calculó la concentración de arsénico total de la muestra, su desviación estándar y el intervalo de confianza al 95% para dicho valor. La mezcla colorante que produjo los mejores resultados es la propuesta por Lenoble, con una desviación estándar de 0.004 mg/L, un ajuste de regresión del 99,06%, y una elevada estabilidad del complejo formado. A pesar de esto, esta mezcla presenta la desventaja de una baja velocidad de desarrollo del color. Se plantea la optimización del reactivo empleado en la técnica, partiendo del propuesto por Lenoble como base para las mejoras.

Palabras Clave: arsénico, azul de molibdeno, análisis de aguas.

Introducción

Los métodos espectrofotométricos Ultravioleta-Visible (UV-Vis) se encuentran entre los procedimientos más empleados en la detección de As en aguas para consumo, debido a su simplicidad y bajo costo. Para la determinación analítica solo es necesario disponer de un espectrofotómetro UV-Vis, un equipo accesible y económico para la mayoría de los laboratorios.

Gran parte de los métodos colorimétricos para la medición de arsénico se basan en el ensayo de Gutzeit (1891). Este procedimiento genera gas arsina por reducción de As en condiciones acidas, y se realiza la cuantificación de la misma por absorción en solución de dietilditiocarbamato de plata o en papel impregnado en bromuro de mercurio (Iberoarsen, 2009).

El procedimiento normalizado para la determinación de As en aguas emplea el método espectrofotométrico del dietilditiocarbamato de plata, el cual puede aplicarse en muestras de agua potable, superficial, subterránea y residual, y tiene un límite de detección de 5 ppb. El uso de esta técnica implica la manipulación de ácidos concentrados, acetato de plomo, y la generación de arsina, por lo que deben tomarse las medidas de seguridad apropiadas. Además, requiere material de laboratorio específico, lo cual dificulta el empleo de la técnica en el lugar de recolección de la muestra.

El método colorimétrico del azul de molibdeno constituye una forma simple, rápida, de bajo costo, portátil y sensible para determinar el As inorgánico en muestras de agua, ya que solo requiere un espectrofotómetro pequeño y reactivos baratos. Consiste en el empleo de una mezcla colorante compuesta por molibdato de amonio, tartrato de antimonio y potasio y ácido sulfúrico. Tanto los iones fosfato como arseniato forman complejos coloreados con el molibdato reducido, mientras

que el arsenito no lo hace. El esquema de la técnica propuesta por Johnson y Pilson (1972) permite determinar las concentraciones de las tres especies en una muestra de agua. Diferentes autores han propuesto mejoras a esta técnica con el objeto de optimizar la velocidad de desarrollo del color y los puntos más débiles de la misma (Tsang, et al., 2007).
En el presente trabajo se estudian las mezclas colorantes propuestas por Lenoble, et al. (2003), Dhar, et al. (2004) y Tsang, et al. (2007), para comparar su estabilidad en el tiempo y rapidez de desarrollo de color. Además, se plantean algunas modificaciones en las mezclas originales, para adaptarlas a las condiciones particulares empleadas. Se busca encontrar la alternativa de mezcla colorante que presente una elevada estabilidad en el tiempo, y por lo tanto la menor variabilidad.

Materiales y Métodos

Materiales y Equipo

El instrumental requerido se limita a material de vidrio de uso común. Se emplea un espectrofotómetro de haz simple UV/Visible Mecasys Optizen POP con celdas de 1 cm de paso óptico. Los espectros de absorción de los complejos de arseno-molibdato y fosfo-molibdato formados son muy similares y presentan un máximo centrado entre 875 y 880 nm (Dhar, et al., 2004) (Tsang, et al., 2007), por lo tanto la absorbancia se mide a 880 nm durante todas las experiencias.

Soluciones Patrón

Se prepara una solución madre de 125 mg/L As^{+3} disolviendo arsenito de sodio ($NaAsO_2$) de grado analítico en agua desionizada. Dicha solución se conserva con 1mg/ml de ácido ascórbico (Dhar, et al., 2004). A partir de estas soluciones se preparan estándares secundarios de 25 mg/L.
Se prepara una solución madre de 10 mM de fosfatos disolviendo KH_2PO_4 en agua desionizada. Diariamente se preparan estándares secundarios de 1 mM.

Preparación de Reactivos[1]

El agente oxidante empleado es KIO_3 2 mM, se prepara disolviendo el reactivo en agua desionizada conteniendo 2% (v/v) de HCl. El medio ácido es necesario para lograr una oxidación completa del As^{+3} en un menor tiempo (Hu, et al., 2012).
Se utiliza el agente reductor de Johnson (1971), el cual consiste en una mezcla de metabisulfito de sodio ($Na_2S_2O_5$) al 14%, tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$) al 1.4% y ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 10% (v/v) en una proporción 2:2:1 respectivamente. Esta solución se prepara diariamente ya que solo es estable durante 6 horas a temperaturas inferiores a 30°C.
Los tres reactivos colorantes estudiados emplean la misma solución de ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) al 10,8%. A continuación se detalla la composición de cada una de las mezclas analizadas.
Colorante 1 (Lenoble, et al., 2003). Se preparan 100 ml de molibdato de amonio ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$) al 13%, 100 ml de tartrato de antimonio y potasio ($C_8H_4K_2O_{12}Sb_2.3H_2O$) al 0.35%, y 300 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 9 M. Se mezclan las tres soluciones en un matraz de 500 ml. El reactivo es estable durante dos meses almacenado en una botella de vidrio opaca.
Colorante 2 (Dhar, et al. 2004). Ácido ascórbico al 10,8%, molibdato de amonio al 3%, tartrato de antimonio y potasio al 0.56% y ácido sulfúrico 2.5 M. Estas soluciones deben combinarse en una relación 2:2:1:5, respectivamente, pero debido a problemas de estabilidad en la solución obtenida, el ácido ascórbico se agrega a la alícuota tratada en primer lugar, y luego se agrega la mezcla de los demás compuestos.
Colorante 3 (Tsang, et al. 2007). Este reactivo optimiza el propuesto por Lenoble. Se preparan 100 ml de molibdato de amonio al 52%, 100 ml de tartrato de antimonio y potasio al 0.088%, y 300 ml de ácido sulfúrico 9 M. Se unifican las tres soluciones en un matraz de 500 ml. Este autor también

[1] Las concentraciones se expresan en % p/v, siempre que no se especifique otra unidad.

optimiza la cantidad de ácido agregada en el pretratamiento, para compensar esa acidez se emplea una solución de ácido sulfúrico al 8% v/v.
En la tabla 1 se resume la composición de cada mezcla y los parámetros de las mismas.

Tabla 1 – Especificaciones de las mezclas colorantes evaluadas

	Colorante 1	**Colorante 2**	**Colorante 3**
Ácido ascórbico (AA)	10,8 %	10,8 %	10,8 %
Molibdato de amonio (MA)	13 %	3 %	52 %
Tartrato de amonio y potasio (TAP)	0,35 %	0,56 %	0,088 %
Ácido sulfúrico	9 M	2,5 M	9 M
Proporción de mezcla	AA agregado aparte, los demás se mezclan 1:1:3	2:2:1:5	AA agregado aparte, los demás se mezclan 1:1:3
Tiempo de desarrollo del color	60 minutos	10 minutos	10 minutos
Estabilidad del color	> 4 horas	60 minutos	2 horas

NOTA: Las concentraciones se expresan en % p/v

Procedimiento

Para realizar la comparación de los reactivos colorantes se aplicó la técnica de adiciones estándares. Las muestras de aguas naturales poseen una matriz mucho más compleja que la presente en muestras de aguas artificiales, esta técnica se emplea para evitar posibles interferencias de esta matriz en los resultados del análisis. Consiste en tomar alícuotas de un volumen fijo de muestra pretratada a las cuales se les añaden volúmenes variables de un estándar de concentración conocida diluyendo a un volumen final fijo (Sánchez Palacios, 2015). Cuando la relación entre la absorbancia medida y la concentración del estándar es lineal, se realiza la regresión y se calcula directamente la concentración de arsénico en la muestra.
El método del azul de molibdeno puede dividirse en tres etapas: un pretratamiento de la muestra de agua, una etapa de óxido-reducción y una etapa de desarrollo del color.

Pretratamiento y preparación de adiciones estándares

Se empleó una muestra de agua de red adicionada con patrón de As^{+3} para lograr una concentración mínima de arsénico de 0.05 mg/L. El pretratamiento consiste en acidificar al 1% (v/v) con HCl concentrado y adicionar fosfato para lograr una concentración mínima 2 µM. Esto último elimina cierta dependencia que existe entre el P y el As, mejorando la velocidad de desarrollo del color y logrando mediciones más precisas (Dhar, et al., 2004).
Se prepararon cuatro adiciones de 250 ml empleando un volumen de muestra de 200 ml, y se añadió estándar de As^{+3} 25 mg/L. La primera no contiene estándar, mientras que las demás se adicionan hasta concentraciones de 0.05, 0.10 y 0.15 mg/L. Se preparó además un blanco de reactivos empleando agua de red para poder corregir el error debido al arsénico presente en la misma. El análisis se realizó por triplicado.
Por cada adición se toman tres alícuotas las cuales son tratadas siguiendo el procedimiento que se muestra en la Figura 1.

Etapa de óxido-reducción

A cada alícuota se adiciona agente oxidante o reductor, y se permite reaccionar durante 15 minutos para alcanzar los estados de oxidación requeridos en los iones de arsénico.

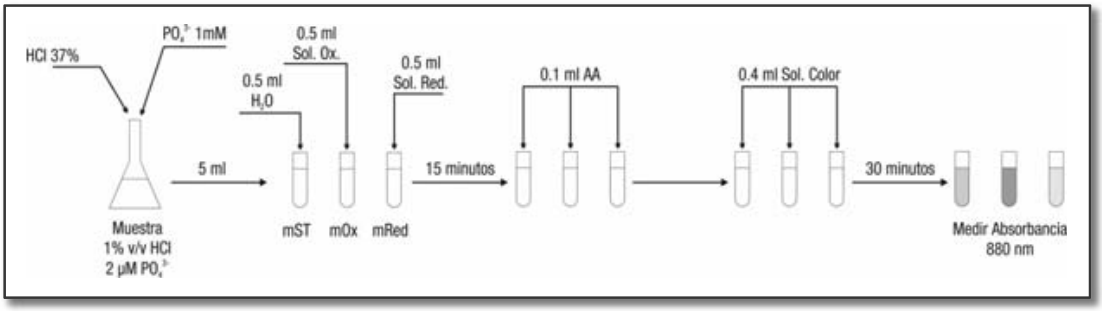


Figura 1 – Método del azul de molibdeno

Alícuota sin tratar (ST): se adiciona agua destilada para igualar el volumen. Las especies que desarrollaran color son PO_4^{-3} y AsO_4^{-3} presentes en la muestra original.
Alícuota oxidada (Ox): se adiciona un agente oxidante de manera tal que todo el As^{+3} se oxide a As^{+5}. Las especies PO_4^{-3} y AsO_4^{-3} desarrollaran color, pero en este caso el As^{+5} representa el arsénico total presente en la muestra.
Alícuota reducida (Red): se adiciona un agente reductor para reducir todo el As^{+5} a As^{+3}. El color desarrollado será únicamente debido a PO_4^{-3}.
Etapa de desarrollo del color
Se agrega ácido ascórbico, se agita, y luego se adiciona la mezcla colorante con molibdato. Se deja reaccionar durante unos minutos, la velocidad del desarrollo del color depende del reactivo colorante empleado. Finalmente se mide la absorbancia de las tres alícuotas, y las concentraciones de las especies presentes en la muestra se calculan de la siguiente manera:

$$As_{Total} = As_{oxidada} - As_{reducida} \quad (1)$$

$$As^{+5} = As_{sin\ tratar} - As_{reducida} \quad (2)$$

$$As^{+3} = As_{oxidada} - As_{sin\ tratar} \quad (3)$$

En la tabla 2 se detallan los volúmenes empleados en cada análisis.

Tabla 2 – Especificaciones del análisis para cada mezcla colorante

Componente	Colorante 1	Colorante 2	Colorante 3
Muestra	10 ml	5 ml	4 ml
Tratamiento redox	1 ml	0.5 ml	0.4 ml
Ácido ascórbico	0.25 ml	0.1 ml	0.1 ml
Colorante	0.5 ml	0.4 ml	0.2 ml
Otro	0.75 ml H_2O	-	0.3 ml H_2SO_4 8%

Con los valores medidos corregidos por el blanco se realiza la regresión lineal para obtener la concentración de arsénico total. Mediante la siguiente ecuación se calcula la concentración de arsénico en la muestra, la cual debe ser 0.05 mg/L.

$$As_{Tot} = \frac{b}{a} \cdot \frac{C_{std}}{V_o} \quad (4)$$

Donde b es la ordenada al origen de la regresión lineal, a es la pendiente, C_{std} es la concentración del estándar empleado, y V_o es el volumen de muestra inicial en cada adición.

Resultados y Discusión

En las figuras 2 a 4 se grafican los valores de absorbancia correspondientes al arsénico total presente en la muestra de agua adicionada analizada, calculados mediante la ecuación 1 y corregidos mediante el blanco. Estos datos se representan contra el volumen de patrón agregado a cada adición, y se realiza una regresión lineal que luego permitirá calcular la concentración de As.

En la tabla 3 se expresan los valores de pendiente (a) y ordenada al origen (b) obtenidos de la regresión lineal de los datos, y la concentración de arsénico total de la muestra para cada mezcla colorante calculada aplicando la ecuación 4, con los valores de C_{std} = 25 mg/L y V_o = 200 ml.

Se muestran además las desviaciones estándares para cada mezcla, calculadas de acuerdo al método de extrapolación para adiciones estándares detallado por Graham & Paramjit (1999).

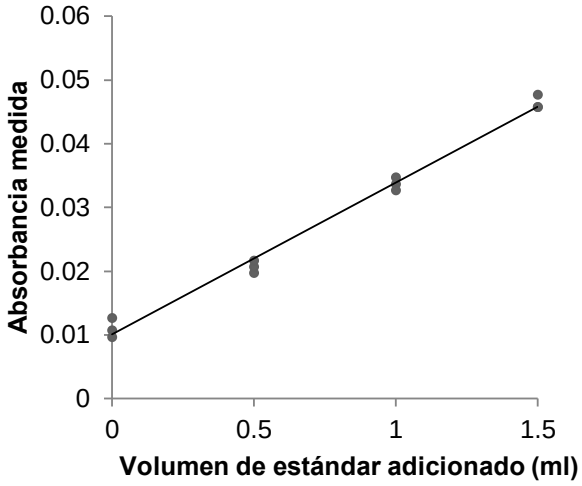


Figura 2 – Regresión de datos para Colorante 1

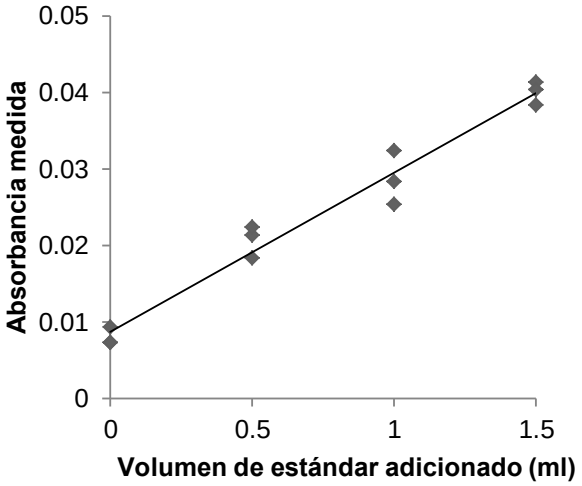


Figura 3 – Regresión de datos para Colorante 2

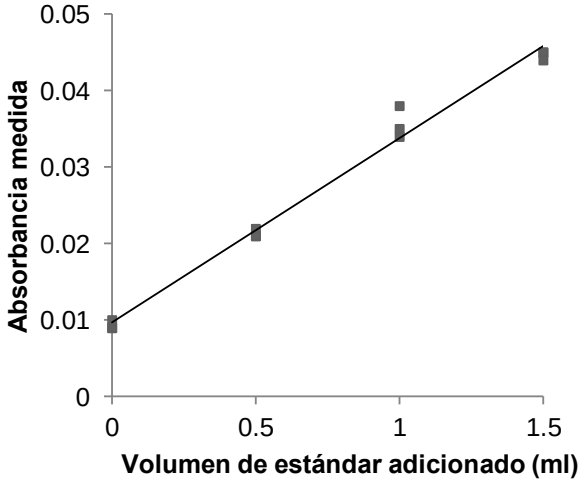


Figura 4 – Regresión de datos para Colorante 3

Tabla 3 – Resultados obtenidos

Mezcla colorante		**1**	**2**	**3**
Tiempo medición (min)		75	40	30
Pendiente (a)		0.0238	0.0208	0.0241
Ordenada al origen (b)		0.0101	0.0087	0.0097
[As] Total (mg/L)		0.053	0.052	0.05
Desviación Estándar (mg/L)		0.004	0.0073	0.0044
IC 95%	Inferior	0.044	0.036	0.04
	Superior	0.062	0.069	0.06
R^2		99,06%	96,92%	98,81%

De acuerdo a los resultados obtenidos, las tres mezclas colorantes permiten obtener el valor esperado en la muestra, 0.05 mg/L de As total correspondientes al patrón adicionado a la muestra de agua corriente.

Los valores de absorbancia se midieron al tiempo reportado por el autor y a un lapso mayor. La concentración de As total obtenida para el periodo más corto siempre fue menor a la esperada,

mientras que a mayor tiempo se alcanzó el valor adecuado. En conclusión, todas las mezclas colorantes evaluadas desarrollan el color esperado a intervalos mayores que los sugeridos por los autores. En la tabla 3 se especifican los tiempos a los cuales se obtuvieron las mediciones correctas.

El colorante 2 es el que presenta una mayor variabilidad en las mediciones experimentales con una desviación estándar en el resultado obtenido de 0.0073 mg/L, y un grado de ajuste de la regresión lineal del 96,92%. Este efecto es atribuible a la polimerización/coagulación del complejo de molibdato, el cual en consecuencia precipita en las paredes de la celda (Tsang, et al., 2007).

Tanto los colorantes 1 y 3 obtienen resultados precisos con una baja variabilidad. La mezcla 3 desarrolla el color relativamente rápido debido a que contiene una mayor concentración de molibdato de amonio, pero a medida que transcurre el tiempo presenta ciertas variaciones atribuibles a la inestabilidad de la misma. La mezcla 1 es la que presenta una mayor demora en desarrollar el color, pero una vez estabilizado la absorbancia medida permanece estable por hasta 4 horas.

De las mezclas colorantes evaluadas la que mejores resultados obtiene es la número 1, propuesta por Lenoble, con una desviación estándar pequeña e igual a 0.004 mg/L y un ajuste en la regresión lineal del 99.06%, además de una elevada estabilidad en el tiempo del complejo de molibdato formado.

Conclusiones

El método del azul de molibdeno constituye una alternativa simple y de bajo costo para realizar análisis rutinarios de arsénico en aguas. Para ello deben mejorarse ciertos aspectos de la técnica que la vuelven ineficiente.

La mezcla colorante empleada es un punto crucial a la hora de obtener resultados precisos. En el presente trabajo se evaluaron las diferentes alternativas disponibles en la bibliografía. La mejor opción actual disponible es el reactivo colorante propuesto por Lenoble, et al. (2004), ya que obtiene buenos resultados con baja variabilidad, y los mismos son estables en el tiempo. Aun así, esta mezcla presenta una desventaja importante, que es su baja velocidad de desarrollo del color. Se plantea realizar en trabajos futuros la optimización del reactivo colorante, partiendo de la mezcla colorante propuesta por Lenoble como base para las mejoras.

Referencias

Dhar, R. K., Zheng, Y., Rubenstone, J. & van Green, A., 2004. A Rapid Colorimetric Method for Mesuring Arsenic Concentrations in Groundwater. *Analytica Chimica Acta,* 526(2), pp. 203-209.

Graham, B. R. & Paramjit, G. S., 1999. Estimates of precision in a standard additions analysis. *Journal of chemical education,* 76(6), pp. 805-807.

Gutzeit, H., 1891. *Pharm. Zeitung,* Volumen 36, pp. 748-756.

Hu, S., Lu, J. & Jing, C., 2012. A novel colorimetric method for field arsenic speciation analysis. *Journal of environmental sciences 24(7),* pp. 1341-1346.

Iberoarsen, 2009. *Metodologías Analíticas para la Determinación y Especiación de Arsénico en Aguas y Suelos,* Argentina: CYTED.

Johnson, D., 1971. Simultaneous determination of arsenate and phosphate in natural waters. *Environmental science and technology,* 5(5), pp. 411-414.

Johnson, D. & Pilson, M., 1972. Spectrophotometric determination of arsenite, arsenate and phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta,* Volumen 58, pp. 289-299.

Lenoble, V., Deluchant, V., Serpaud, B. & Bollinger, J.-C., 2003. Arsenite oxidation and arsenate determination by the molybdene blue method. *Talanta,* Volumen 61, pp. 267-276.

Sánchez Palacios, M. A., 2015. *Métodos de Calibrado,* Mérida - Venezuela: Facultad de Ciencias, Departamento de Química.

Tsang, S., Phu, F., Baum, M. M. & Poskrebishev, G. A., 2007. Determination of phosphate/arsenate by modified molybdenum blue method and reduction of arsenate by $S_2O_4^{2-}$. *Talanta,* Volumen 71, pp. 1560-1568.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PARA ENSAYOS DE FATIGA POR FLEXIÓN ROTATIVA

Bruno Dalmasso Visconti, Facundo Lástrico, Matías Rey
Tutor: Dr. Ing. Eldo José Lucioni

Departamento de Ingeniería Mecánica – Laboratorio de Metalurgia y Materiales
Facultad Regional Villa María – Universidad Tecnológica Nacional
Avda. Universidad 450 – (5900) Villa María (Córdoba)

Resumen

El fenómeno de fatiga está dado por la rotura lenta del material debido a esfuerzos dinámicos y cíclicos a los que está sometido. Estas rupturas son un daño estructural progresivo y localizado, que se dan por fisuras dentro del material, las cuales van avanzando conforme aumenta el número de ciclos.

En los diferentes ensayos de fatiga, se somete a una probeta a distintos tipos de esfuerzos, que pueden ser: flexión, flexión rotativa, torsión y tracción-compresión.

El trabajo realizado consistió en diseñar y construir una máquina de ensayo de fatiga por flexión rotativa en voladizo. Con ésta se realizaron pruebas permitiendo encontrar conclusiones sobre el rendimiento de la máquina.

Para el análisis de datos que se registran, se utilizan las curvas de Wöhler o comúnmente llamadas "curvas S – N". Estas curvas representan la relación entre la amplitud del esfuerzo y el número de ciclos para su rotura.

A partir de pruebas experimentales, se validó el funcionamiento de la máquina y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Palabras clave: *Flexión. Ensayo. Flexión rotativa.*

1. INTRODUCCIÓN

La falla por fatiga, a diferencia de las estáticas, no presentan evidencia antes de suceder, sino que la fractura se produce repentinamente. El diseño de piezas que resistan a las tensiones dinámicas presenta cierta complejidad, lo que genera especial interés en el estudio del fenómeno. Una visión muy conservadora consiste en incrementar el coeficiente de seguridad que se emplean normalmente y evitar todo tipo de cálculo de la falla, pero esto no brinda ninguna brinda ninguna seguridad sobre cómo se va a comportar la pieza ante las tensiones dinámicas. [1]

La máquina diseñada cumple con los requisitos suficientes y necesarios para un estudio certero del comportamiento de un material frente a la fatiga por flexión rotativa. Tomando datos de ciclos y carga mediante dispositivos electrónicos, pudiendo leerlos de forma digital y diseñar con estos las curvas S-N.

Las probetas utilizadas en las pruebas presentaron las mismas dimensiones y características de pulido. Éstas son sometidas a cargas alternas en el tiempo, contando la cantidad de ciclos hasta su fractura, variando entre pruebas la carga aplicada. [7]

Los ensayos se realizan siguiendo los lineamientos de las normas ASTM E466-96 y E739-91.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fatiga

La fatiga es una falla que puede suceder bajo condiciones la acción de esfuerzos muy inferiores al límite de resistencia del material. Es consecuencia de esfuerzos alternados que producen grietas, en general en la superficie debido a la concentración de tensiones. [6,7]

La ruptura del material ocurre debido a la fluctuación del estado de tensiones; se generan micro fisuras que avanzan infinitesimalmente en su interior, hasta que se forman grietas, las cuales continúan creciendo hasta alcanzar un tamaño crítico, suficiente para la ruptura final, en general de manera brusca.[1,8]

Una falla por fatiga sucede dentro de una amplia gama de ciclos de carga, desde 10 ciclos hasta más de 10^7 ciclos. Es evidente que la cantidad de ciclos que el material soporta antes de su falla, depende de la carga dinámica a la cual esté sometida, ya que con una carga mayor, se obtiene una vida útil mucho menor.[2]

Figura 1. Rotura por fatiga

2.2 Curvas de Wöhler o curvas S-N

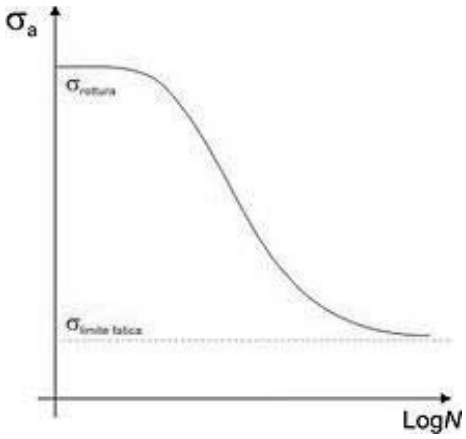


Figura 2. Curva S-N

Estas curvas se obtienen sometiendo a la probeta a grandes cargas y se cuenta la cantidad de ciclos a la cual se produjo la ruptura. Así se realizan numerosas pruebas disminuyendo las cargas entre ellas.

Los resultados se representan en un diagrama de tensión, en función del logaritmo del número de ciclos hasta la rotura.

En la Figura 2 se observa que a cierta tensión, el número de ciclos tiende al infinito (para las pruebas, 10^6 es suficiente). Éste valor de tensión se lo llama límite de fatiga, es la tensión a la cual el material no falla en un numero de ciclos representativo para la vida del mismo.[2]

Los valores obtenidos de la curva S-N se emplean para calcular el esfuerzo total de una pieza a que estará sometida una pieza que soporta ciclos de esfuerzo. Sea S_n como el límite de fatiga real y a S'_n el límite de fatiga teórico de la probeta de ensayo, ambas están relacionadas por una constante de proporcionalidad k que depende de varios factores, tales como,el acabado superficial, el tamaño de la pieza, la temperatura y la sensibilidad a la entalla. [3,8]

$$S_n = k \cdot S_n^{'}$$

2.3 Factores que intervienen [3,9,10]

Hay varios factores que pueden intervenir en el material, que hacen variar los resultados obtenidos.

2.3.1 Diseño

El diseño es fundamental en la rotura por fatiga, cualquier imperfección superficial o discontinuidad geométrica actúa como concentradores de tensiones

La rotura por fatiga en los materiales se puede reducir si se evitan estas imperfecciones, realizando modificaciones en los diseños. Ej: cambiar los cantos vivos por superficies redondeadas.

2.3.2 Tratamientos superficiales

En el mecanizado se pueden producir rayas o pequeños valles, produciendo una disminución en la vida útil del material, ya que son pequeñas grietas donde es más fácil que éstas avancen produciendo la fractura.

Estas imperfecciones se pueden solucionar puliendo la probeta, aumentando así la vida útil de la misma.

Otra forma de aumentar el rendimiento, es mediante granallado. Este proceso consiste en proyectar, a altas velocidades, partículas pequeñas y duras, deformando la superficie a tratar y asi generando esfuerzos residuales de compresión.

2.3.3 Endurecimiento superficial

Es una técnica mediante la cual se aumenta la dureza superficial de los aceros aleados. Estos se llevan a cabo por carburación o nitruración, en donde se expone el material a una atmosfera rica en carbono o nitrógeno. Estos elementos, mediante difusión atómica, forman una pequeña capa aumentando con ésta la vida útil del material

2.3.4 Corrosión en la fatiga

La fatiga por corrosión ocurre cuando, además de las tensiones fluctuantes, se ataca químicamente al material. Esto ocurre cuando el medio es altamente corrosivo, generando picaduras que funcionan como concentradoras de tensiones, claramente disminuye la vida útil del material.

3. LA MAQUINA

Figura 3. Maquina ensamblada

3.1 Funcionamiento

La máquina construida permite obtener los parámetros fundamentales para determinar la resistencia a la fatiga.

Una barra de prueba se sostiene en un extremo mediante un mandril fijo, anclado a un eje que conecta al motor, el otro extremo de la barra se agarra con otro mandril; pudiendo desplazarlo libremente sobre el eje vertical.

Mediante una guía roscada se eleva el mandril móvil, flexionando la probeta a compresión en la parte superior, y tracción en la inferior.

Al girar la probeta flexionada, las capas se someten a compresión y tracción alternativamente, produciendo la fatiga al material. [4]

Tras cierto número de ciclos de carga la probeta puede, o no, romperse. En caso de romperse el motor se para y mediante un controlador electrónico se obtienen las revoluciones realizadas y la carga sometida.

Se necesitan varios ensayos para obtener curvas S-N confiables que permitan determinar la vida útil de los materiales. [2]

Los ensayos de fatiga son pruebas destructivas recomendadas parte del conjunto de ensayos básicos para la elección de un material.

3.2 Construcción

3.2.1 Bancada

Se diseñó una bancada lo suficientemente robusta para soportar los esfuerzos ocasionados en los ensayos; los perfiles cajón empleados fueron de diferentes dimensiones (6 Perfiles 60x40 mm; 4 Perfiles 50x30 mm; 2 Perfiles 70x30 mm)

Los soportes, para los porta rodamientos y las bases de las guías, se construyeron con planchuelas de 148x60x3 mm suplementadas para lograr que el eje y la probeta estén sobre el mismo nivel y evitar aportarle esfuerzos no deseados.

Con perfiles T se construyeron dos guías con corredera, que soportan el motor, y le permiten desplazarse verticalmente para tensar la correa. Para el anclaje del motor con el soporte, se utilizan pernos con cuatro bujes de goma, que absorben las vibraciones.

Figura 4. Bancada

3.2.2 Guías y soporte de mandril móvil

Para el soporte móvil se utilizó un cilindro macizo de acero trefilado SAE1045, de diámetro 75mm y 50 de espesor, donde fue mecanizado un agujero de diámetro40mm para introducirle un bolillero SKF 6205 que sostiene un eje con el mandril y la probeta.

Este soporte está unido, mediante dos bujes, a dos correderas que se trasladan verticalmente sobre dos guías. Sobre este soporte se efectúa la carga que flexiona la probeta, diseñado especialmente para permitirle al mandril, un movimiento de rotación solidario a la probeta.

La carga se efectúa mediante una varilla roscada, solidaria a una rosca ubicada en una planchuela sobre la parte superior de las guías, la cual está conectada mediante una celda de carga a las correderas. Al girar la varilla se ejerce una fuerza que eleva el mandril y flexiona la probeta.

Con la celda de carga podemos medir la tensión aplicada a la probeta.

Figura 5. Guías y soporte de mandril móvil

3.2.3 Motor y sistema de transmisión

Se emplea un motor eléctrico monofásico a carbones, de ½ HP con un máximo de 13000 RPM. Mediante un sistema de poleas, se logra transmitir el movimiento de giro al eje y reducir las RPM a un máximo de 3000, que son las necesarias para un correcto ensayo.

Las poleas, tipo V, están unidas mediante una correa de goma. La reducción, a la salida del eje del motor, se logra con una polea de 50 mm de diámetro y en el eje principal una polea de 220 mm.

3.2.4 Eje principal y porta bolillero

La función del eje principal es transmitir la rotación del motor a la probeta. Partiendo de un eje macizo de 40mm de diámetro y 340 mm de largo; el mismo fue mecanizado para lograr las dimensiones requeridas, en un extremo se acopla la polea y en el otro extremo, un mandril fijo.

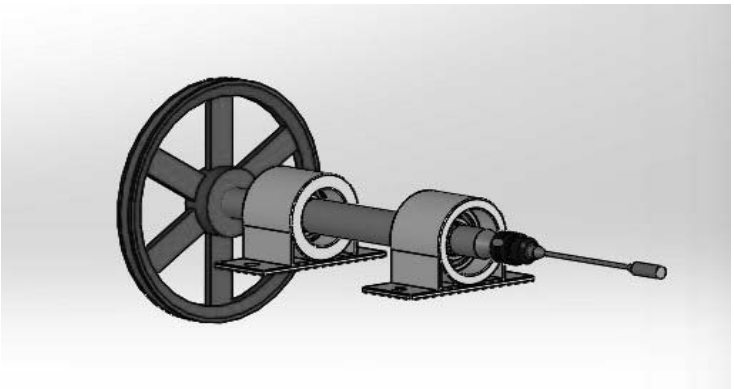


Figura 6.Eje principal, porta bolilleros y polea.

El eje esta sostenido por dos rodamientos (SKF 6206) contenidos en porta rodamientos abullonados a la bancada, acompañando el giro del eje.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

Para verificar el correcto funcionamiento de la maquina fabricada, se procedió a ensayar probetas y graficar una curva S-N con los datos obtenidos, y compararla con los gráficos teóricos.

Con las pruebas realizadas en la maquina se pudo graficar una curva S-N, que, comparada con curvas teóricas, se observa una similitud notable. Así se estableció que la maquina está correctamente fabricada y calibrada para obtener curvas concluyentes.

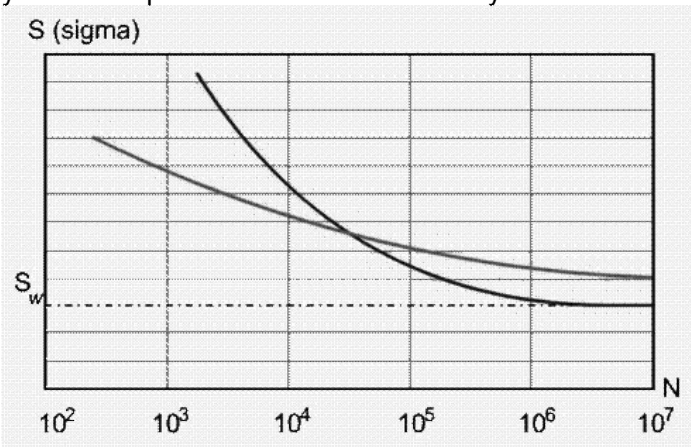


Figura 7. Comparación curva teórica-obtenida

En el gráfico, la curva azul representa una curva teórica y la curva roja es la realizada con los datos obtenidos en la máquina fabricada.

5. CONCLUSION

En este trabajo se procedió al diseño y construcción de una máquina para ensayos de fatiga por flexión rotativa.

El objetivo de este proyecto fue fabricar la máquina, analizar y comparar los datos obtenidos por los ensayos de distintos materiales o materiales con distintos tratamientos térmicos. Éstos objetivos se concluyeron satisfactoriamente.

La construcción de esta máquina contribuirá a la capacitación de alumnos y a establecer la posibilidad de realizar ensayos de fatiga de calidad profesional para ser utilizados en futuros proyectos de investigación dentro de nuestra institución, además se podrá estudiar el fenómeno de fatiga en orden a adquirir herramientas conceptuales para enfrentar situaciones típicas de la industria local y regional.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Ing. Eldo José Lucioni (UTN-FRVM), Ing. Eduardo Cerrutti (UTN-FRVM), Ing. Pedro Giraudo (UTN-FRVM), Rubén Gastaldi y Claudio Cavalchini por el apoyo prestado para la elaboración del trabajo.

REFERENCIAS

[1] González, M. *Fatiga de Materiales.* Sitio Web (2016): www.fisica.laguia2000.com

[2] Medina Bejarano, E. *Ensayo de fatiga.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Sitio Web (2016): www.udistrital.edu.co

[3] *Fatiga en materiales.* Sitio Web (2016): www.en.wikipedia.org

[4] *Fatigue Testing Machine*. Sitio Web (2016): www.gunt.de

[5] González Arias, A. y Palazón, A.C.A. *Ensayos Industriales*. 6ta Edición. Litenia. Buenos Aires, 1967.

[6] Apraiz Barreiro, J. *Tratamiento Térmicos de los Aceros.* 4ta Ed. Dossat. Madrid, 1961.

[7] ASM Handbook. *Fatigue and Fracture*. Vol. 19. 1996.

[8] Weibull, W. *Fatigue testing and analysis of results.* Pergamon. 1968.

[9] Fuchs, H.O.; Stephens, R.I. *Metal Fatigue in Engineering*. Wiley. 1980.

[10] Socie, D.F.; Mitchell, M.R.; Caulfield, E.M. *Fundamentals Of Modern Fatigue Analysis*. University of Illinois. 1977.

EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES DE DILATACIÓN UNIDIMENSIONAL Y ESFUERZOS TÉRMICOS

Juan Angel Barella
Tutor: Dr. Ing. Eldo José Lucioni

Departamento de Ingeniería Mecánica – Laboratorio de Metalurgia y Materiales
Facultad Regional Villa María – Universidad Tecnológica Nacional
Avda. Universidad 450 – (5900) Villa María (Córdoba)

Resumen

La dilatometría es una técnica que estudia los cambios dimensionales provocados por la dilatación/contracción de un material en función de la temperatura a la que se encuentra expuesto.

Mediante incrementos controlados de temperatura se cuantifica si el material manifiesta variaciones en sus dimensiones y a qué temperatura se presentan dichas dilataciones o contracciones.

A su vez, la dilatación térmica lleva asociado un fenómeno de gran interés para la ingeniería de estructuras denominado Esfuerzo Térmico.

Siendo el objetivo de este trabajo la construcción de un instrumento que pueda determinar de manera separada y simultánea la dilatación y esfuerzos térmicos permitirá el estudio del comportamiento de los materiales a nivel de su red cristalina y el análisis y selección de materiales para una aplicación deseada; adicionalmente, servirá para la capacitación de los estudiantes.

Palabras clave: *Dilatómetro. Dilatación. Esfuerzo térmico.*

1. Introducción

La dilatometría es una técnica termo-analítica, utilizada para medir la expansión o contracción de diversos materiales en diferentes fases (sólido, polvo, líquidos, etc.) mediante el uso de programas de calentamiento controlado [1].
La importancia del comportamiento de la dilatación/contracción permite analizar de manera profunda procesos de sinterizado, efectos causados por aditivos y materias primas, densificación, reacciones cinéticas, cambios de fase y shock térmico.[2]

Figura 1 - Dilatómetro comercial [2]

2. Marco teórico

Se denomina dilatación térmica al aumento de longitud, volumen o alguna otra dimensión métrica que sufre un cuerpo físico debido al aumento de temperatura que se provoca en él por cualquier medio. El dilatómetro que se menciona en este trabajo mide exclusivamente dilatación lineal.

La dilatación lineal es aquella en la cual predomina la variación en una única dimensión, o sea, en el ancho, largo o altura del cuerpo. El coeficiente de dilatación lineal, α, para una dimensión lineal cualquiera, se puede medir experimentalmente comparando el valor de dicha magnitud antes y después del calentamiento [3]:

$$\alpha = \frac{1}{l}\left(\frac{dl}{dT}\right) = \left(\frac{d\ln l}{dT}\right) = \frac{1}{l}\left(\frac{\Delta l}{\Delta T}\right) \qquad (1)$$

Así, la dilatación lineal debida a la temperatura puede obtenerse mediante la expresión:

$$\Delta l = \alpha\, l_0 \Delta T \qquad (2)$$

En cuanto a los esfuerzos térmicos consideramos a la probeta un sólido homogéneo e isótropo en forma de barra a la cual se le varía su temperatura de manera uniforme. En el caso de dilatación o contracción libres, la barra estará libre de esfuerzos. Sin embargo, si el movimiento axial de la barra se restringe mediante apoyos fijos en los extremos, se introducen esfuerzos térmicos. La magnitud del esfuerzo σ resultante de un cambio de temperatura de T_0 a T_f es [4, 5, 6]:

$$\sigma = \frac{F}{S} = \alpha\, E \Delta T \qquad (3)$$

Donde S es la superficie transversal a la dirección de la fuerza F y E el módulo de elasticidad del material.
Si la barra se enfría ($T_f < T_0$), se impondrá un esfuerzo de tracción. Así mismo, el esfuerzo es el mismo que el que se requeriría para comprimir (o alargar) elásticamente la barra de nuevo a su longitud original l_0 después que se ha dilatado (o contraído) libremente con un cambio de temperatura T_0 - T_f.

3. Desarrollo

La metodología de trabajo se divide en tres etapas: revisión de bibliografía, diseño y construcción del prototipo.

3.1 Revisión bibliográfica

Durante la revisión bibliográfica se hizo consideración en los antecedentes históricos de la dilatometría y sus avances. También se evaluaron catálogos de fabricantes y trabajos universitarios relacionados.

3.2 Diseño del prototipo

Figura 2 - Render del dilatómetro

En la etapa de diseño, se evaluaron dos posibles modelos a fabricar, ambos integrando iguales características técnicas y capacidades, variando únicamente el método constructivo. Finalmente se optó por ensamblar el segundo modelo cuyo diseño se basa en cuatro subconjuntos:

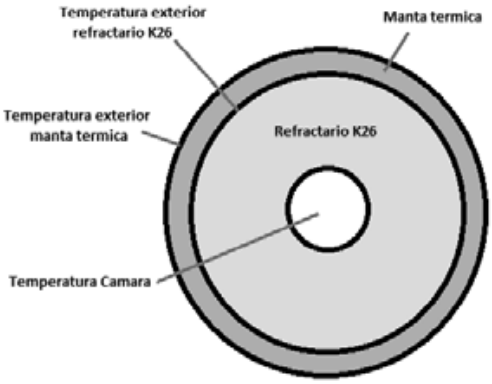
- Base, la cual actúa como soporte del resto de los componentes y alojamiento de la electrónica de control.
- Cámara de calentamiento.
- Soportes de rodamiento lineal, sensor LVDT/celda de carga
- Electrónica de control

3.2.1 Base

La base del dilatómetro está fabricada a partir de chapa plegada de acero al carbono de 1/4" (6,35mm). Sobre esta base se montaron los pies regulables y la tapa inferior. También se realizaron las perforaciones para los soportes de rodamiento y sensor, así como el montaje de los paneles (conexión e interfaz de usuario).

3.2.2 Cámara de calentamiento

La cámara de calentamiento es el componente principal del dilatómetro, en ella se aloja la termocupla, y las resistencias eléctricas. Su estructura es en capas. Desde el interior hacia el exterior: la primera capa está formada por un cilindro hueco de material refractario Alumino Silicato (formado a partir de ladrillos K26), la segunda capa es un recubrimiento de manta térmica de 3,5mm de espesor. Todo esto se encuentra alojado en un tubo de acero SAE 1010 laminado en frío de 3" (76,2mm) y 1,6mm de espesor, protegido con pintura de alta temperatura (hasta 1200°C).
Para dimensionar la cámara de calentamiento y determinar la potencia requerida para calentarla se procedió a calcular la resistencia térmica conductiva de una capa cilíndrica, teniendo en cuenta la sección de refractario K26 y de manta térmica [7]: donde K es el coeficiente de conductividad térmica.



$$\frac{q}{H} = \frac{\Delta T}{\frac{ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2\pi k}} \qquad (4)$$

Figura 3– Disposición interna de refractario y aislante

En este dilatómetro se optará por una cámara de calentamiento eléctrica resistiva en lugar de una inductiva para no limitar la capacidad del dilatómetro únicamente a metales ferrosos.

3.2.3 Soportes de rodamiento lineal, sensor LVDT/celda de carga.

Consiste en dos soportes separados. En el primero se aloja el rodamiento lineal que permite el desplazamiento del empujador que se encuentra fijado en un extremo de la probeta. En el otro soporte, se puede fijar de manera intercambiable el sensor que servirá para ensayos de dilatación y el sensor para ensayos de esfuerzos térmicos.

3.2.4 Electrónica de control

La electrónica del dilatómetro se basa en una placa Arduino Due la cual permite utilizar resolución de 12 bits. Tanto el seteo del dilatómetro como la lectura de los sensores se produce mediante PC/Android por comunicación serial, vía USB.

A futuro está proyectada la utilización de electrónica que permita mayor precisión en los ensayos. Esto será combinado con el software Matlab permitiendo graficar en tiempo real, cruzar datos de dilatación/esfuerzos térmicos y eliminar la necesidad de desarrollar un software dedicado para el instrumento.

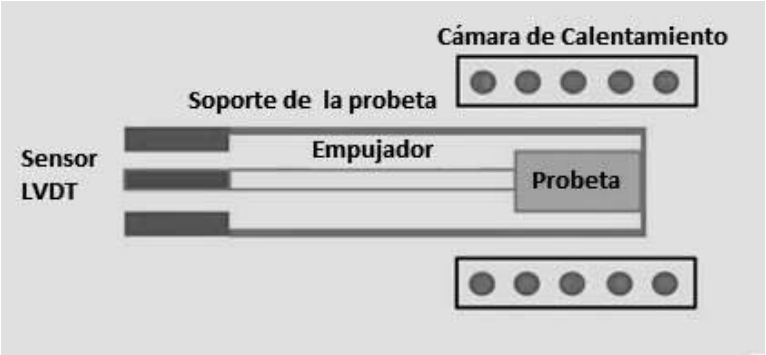


Figura 4 - Esquemático del sistema de carga y empujador [3]

4. Probeta.

Debido a que el coeficiente de dilatación es una constante intrínseca del material, no se encuentra la necesidad de acotarse a normas formales para la selección del tamaño de probeta. En este caso la misma es una varilla cilíndrica de largo *L=200mm* y diámetro D=10mm. Se introduce por el extremo izquierdo de la cámara de calentamiento, donde es fijado mediante tornillos. El extremo derecho de la probeta se acopla a un empujador que acompaña la probeta al dilatarse.

Figura 5 - Detalle extremo fijo

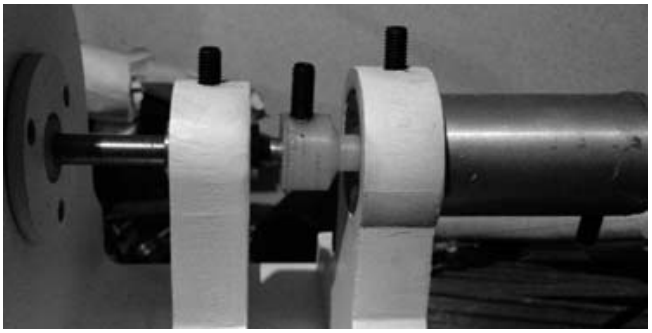


Figura 6 - Detalle empujador y rodamiento lineal (izquierda) y sensor LVDT (derecha)

5. Sensores

Como el dilatómetro fue diseñado para realizar ensayos de dilatación y, a la vez, determinar los esfuerzos térmicos asociados, se diseñaron dos sensores independientes e intercambiables. De manera provisoria, el sensor para los ensayos de dilatación es un sensor resistivo el cual será reemplazado por un sensor LVDT (transformador diferencial de variación lineal). De esta manera, se eliminan los inconvenientes generados por sensor de contacto.

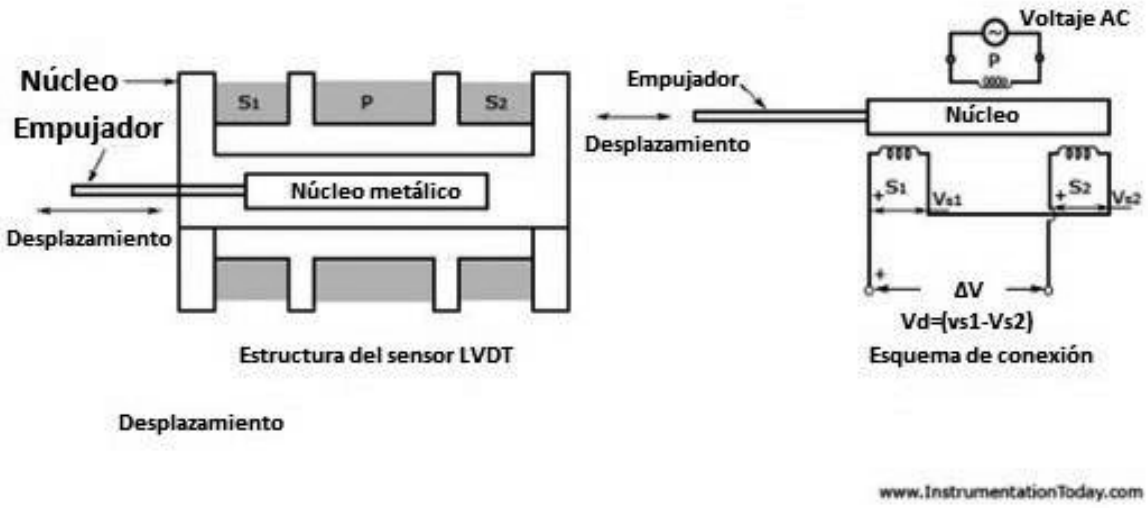


Figura 7 - Diagrama de conexión y funcionamiento de un sensor LVDT [8]

Para el ensayo de esfuerzos térmicos se utiliza una celda de carga comercial con un alojamiento apropiado para ser fijado al correspondiente soporte.

6. Verificación experimental

Para efectuar la calibración del instrumento se realizaron pruebas de dilatación en un rango ΔT de $100°C$ (T_0=25°C; T_0=125°C) sobre tres probetas de distinto material (AISI 1045, SAE 304, Al 1060)

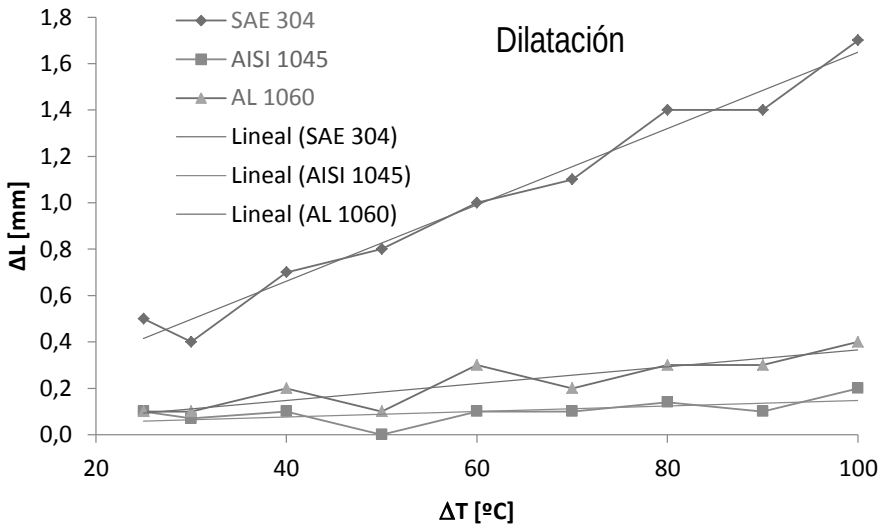


Figura 8- Resultado de ensayos de dilatación

Los resultados obtenidos a partir de los tres ensayos poseen un error de ±2% con respecto a los valores previamente calculados.

7. Conclusión

Se cumplió con la totalidad de los objetivos planteados, llevando a cabo de manera exitosa el diseño y construcción del equipo. Con esto se espera contribuir al laboratorio de metalurgia ampliando la gama de ensayos de caracterización de materiales.
Por otro lado, se ha obtenido una valiosa experiencia básica que servirá para el desarrollo de instrumentos similares de mayor precisión y complejidad.
Los ensayos de dilatación pueden ser llevados a cabo con éxito hasta una temperatura de 700 °C con una resolución de hasta +/- 0,007mm.
Los ensayos de esfuerzos térmicos se encuentran suspendidos hasta lograr una correcta calibración del sensor.

Agradecimiento

Al Ing. Pedro Giraudo por el apoyo prestado para la elaboración del trabajo.

Referencias

[1] Sanchez Conde, C. *Aplicaciones de la dilatometría en Cerámica.* Bol. Soc. Esp. Cerám., Vol. 7 – Nº 3. Mayo-Junio 1968.

[2] Netzsch. *Dilatometry. Method, Instruments, Applications – From -180°C to 2800°C*. Sitio Web (2016): www.netzsch.com.

[3] *Dilatación térmica.* Sitio Web (2016): www.es.wikipedia.org.

[4] Departamento de Física Aplicada II. *Temperatura y dilatación térmica.* Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica (EUAT). Universidad de Sevilla. 2007.

[5] Serway, R.A. y Jewett, J.W. *Física para Ciencias e Ingeniería.*Volumen 1. Séptima edición. Cengage Learning. México, 2008.

[6] Departamento de Física Aplicada I. *Propiedades térmicas.* Universidad del País Vasco. Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao. Sitio Web (2016): www.ehu.eus.

[7] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Guía técnica para el diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos.*Madrid, 2007.

[8] Sitio Web (2016): www.instrumentationtoday.com

ROBOT MÓVIL EN TIEMPO MÍNIMO: DESAFÍO DE LA NASA

Alumnos: Luciano Pons[1], Ignacio Moyano[1]

Tutor: Dr. Andrés García[1]

[1]*Grupo de Electricidad y Mecánica de Automatización (GEMA), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, 11 de Abril 461, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina*

lucianopons1@gmail.com, moyo_87@hotmail.com

RESUMEN

En este trabajo se presentan conclusiones sobre un robot uniciclo de construcción muy liviana que posee dos motores CC de 12V. Dicho robot tiene como tarea específica buscar una trayectoria que una dos puntos dados en tiempo mínimo. Este tipo de desafíos es muy importante en el ambiente de robótica móvil. En particular, en el caso del presente artículo se ha adaptado un desafío propuesto por la NASA (unir tres puntos en tiempo mínimo) en donde se propone unir dos puntos (inicio y final) en el menor tiempo posible: tiempo mínimo.

De este modo, se construye una electrónica con microprocesador MSP430G2553 y tecnología SMD 0805 que resultan en pesos y volúmenes muy ligeros, implementando en dicho procesador un algoritmo de tiempo mínimo en punto flotante. Se presentan resultados simulados de Matlab® (www.mathworks.com), así como sus contrastes con mediciones reales y conclusiones.

Palabras clave: Robot móvil, Tiempo-mínimo, Sistemas de Control, Desafios de la NASA

1. Introducción

Los conceptos de sistemas de control clásico a nivel de carrera de grado universitario, como lo son los conceptos de estabilidad y controlabilidad, pueden ser extendidos de modo natural y de forma simple al control de un pequeño robot móvil.

En particular y dentro del grupo GEMA en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Facultad Regional Bahía Blanca, se desarrollan actividades de investigación y estudio de robots móviles.

Como es bien sabido, el incentivo de alumnos a tareas de investigación relacionadas con materias y conceptos vistos a lo largo de la carrera es de vital importancia para el posterior desarrollo de recursos humanos en investigación. En este contexto, el presente artículo propone desarrollar la construcción y experimentación usando un robot tipo uniciclo (dos ruedas con motor y una rueda de giro libre), con dos motores CC de 12V para estudiar el desafío propuesto por la NASA para estudiantes de carrera de grado universitario en *http://robotics.nasa.gov/students/challenge.php*: *line running challlenge*.

De este modo, combinando y extendiendo conceptos vistos en la asignatura Control Automático de 4to año de Ingeniería Eléctrica, se propone implementar en un microprocesador de bajo costo de Texas Instruments (MSP430G2553) un algoritmo obtenido de la literatura (García, 2012).

Se trata de construir un pequeño robot móvil con dos ruedas tractoras (accionadas por sendos motores) y una rueda de apoyo (castor) que puede unir dos puntos preestablecidos en una base de madera en el menor tiempo posible (tiempo-mínimo). Es sabido que el problema de tiempo mínimo, a diferencia de los problemas clásicos de control óptimo, resulta en un análisis diferente por tratarse de minimización de tiempos.

En éste sentido, sólo existen dos técnicas generales para el estudio y desarrollo de algoritmos de control óptimo: principio de Pontryagin y ecuación de Hamilton-Jacobi-Bellman. El caso propuesto en García.2012, desarrolla a partir del principio de Pontryagin, un nuevo método que sólo requiere

iteraciones de funciones algebraicas a diferencia del caso de Pontryagin que necesita de la resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias.

Como conclusión de estas experiencias, se obtiene un rico conocimiento y bases de experimentación sobre robots móviles, algoritmos de tiempo mínimo, a la vez que se introduce al alumno en problemas de mayor complejidad que los vistos en Control Automático para ofrecer la posibilidad de estudios de posgrado posteriores.

Cabe destacar que la plataforma construida permitirá a la vez la aplicación y experimentación de otros algoritmos, conservando la simplicidad y bajo costo del modelo.

2. Modelo matemático del robot

Utilizando el modelo clásico de robots uniciclos (ver por ejemplo García-2009 o Sarkar-1994), es posible escribir las ecuaciones cinemáticas que describen el movimiento del robot como se presenta en la Ecuación (1) (ver Figura 1):

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \cos(\theta(t))\cdot u_1(t) \\ \dot{y}(t) &= sen(\theta(t))\cdot u_1(t) \\ \dot{\theta}(t) &= u_2(t) \end{aligned} \tag{1}$$

donde $u_1(t)$ y $u_2(t)$ las velocidades lineales y rotacionales respectivamente.

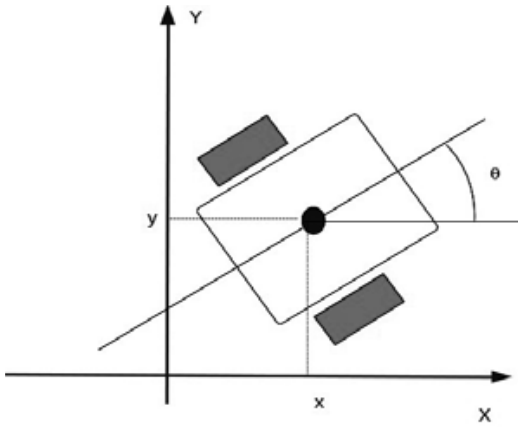


Fig. 1: Robot uniciclo en el plano.

Es posible discretizar este modelo para poder ser luego programado en C++ en el microprocesador MSP430G2553 del robot:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= x(k) + \frac{\sin(\theta(k)+u\cdot\Delta_t) - \sin(\theta(k))}{u} \\ y(k+1) &= y(k) + \frac{-\cos(\theta(k)+u\cdot\Delta_t) + \cos(\theta(k))}{u} \\ \theta(k+1) &= \theta(k) + u(k)\cdot\Delta_t \end{aligned} \tag{2}$$

donde $[x(k+1), y(k+1), \theta(k+1)]$ indican los valores de las variables de estado en los instantes $t+\Delta_t$. Además se ha considerado el caso de Dubins: Sólo trayectorias hacia adelante de máxima velocidad lineal y por ello: $u(t)=[1, u(k)]', u(k)=\pm 1$ (ver Dubins-1957).

3. Algoritmo de tiempo mínimo: simulaciones

Utilizando Matlab®, es posible escribir una función para simular de manera sistemática con diferentes condiciones iniciales a partir del modelo en la Ecuación (2) y considerando que se estudiará el caso simplificado del desafío de la NASA que une dos puntos: *X(0)* y el origen de coordenadas sin tener en cuenta la orientación final (es de hacer notar que si se requiere llegar a otro punto que no sea el origen, puede realizarse un corrimiento del eje de coordenadas).

El algoritmo implementado (Figura 2) asegura que el robot une los puntos inicial (*X(0)*) y el origen en el menor tiempo posible y para ello se realiza una toma de decisiones en tiempo real, en la cuál se selecciona entre: seguir derecho, doblar a izquierda o derecha simplemente analizando la distancia desde el punto actual del robot (en cada instante) hasta el origen (ver García-2012):

```
function Dubins(Xo)
X_k=Xo;
condicion=1;
m_previous=10e8;
Delta_t=1e-3;
epsilon=1e-3;
Y=str2num('');
while condicion >0
   u=1; %Se analiza girando hacia un lado
   Z=[X_k;u;Delta_t];
   X_k_1=feval(@Dinamica_Dubins,Z);
   m1=norm(X_k_1(1:2,1),2); %Solo norma de
(x,y)

   u=-1; %Se analiza girando hacia el otro
   Z=[X_k;u;Delta_t];
   X_k_1=feval(@Dinamica_Dubins,Z);
   m2=norm(X_k_1(1:2,1),2);
   u=0;   %Linea recta
   Z=[X_k;u;Delta_t];
   X_k_1=feval(@Dinamica_Dubins,Z);
   m3=norm(X_k_1(1:2,1),2);
   if (m1<m2 && m1 <m3)
     u=1;
     m=m1;
   end
   if(m1>m2 && m1 <m3)
     u=-1;
     m=m2;
   end
   if(m1>m2 && m1 >m3)
     if(m2<m3)
      u=-1;
      m=m2;
     else
      u=0;
      m=m3;
     end
   end
   if(m>m_previous)
     condicion=-1;
   end
   if(m<epsilon)
     condicion=-1;
   end
   Y=cat(2,Y,X_k);
   Z=[X_k;u;Delta_t];
   X_k_1=feval(@Dinamica_Dubins,Z);
   X_k=X_k_1;
   m_previous=m;
end
plot(Y(1,:),Y(2,:),'ro')
```

Fig.2: Código de Matlab® que implementa el algoritmo de tiempo mínimo

donde el script "*Dinamica_Dubins*" calcula el modelo discreto de la Sección 2. Simulando para dos condiciones iniciales diferentes:

- X(0)=[1,1.5,270°]'
- X(0)=[1,1.5,256.5°]'

Se obtienen las Figuras 4 y 5 respectivamente.

4. Mediciones reales

Utilizando el algoritmo descripto en la Sección 3 programado en C++ en el microprocesador del robot: MSP430G2553 (Figura 3) se obtuvieron diversas trayectorias de ensayo.

Para dos condiciones iniciales y utlizando un alimentación de 12V CC para los motores con un $\Delta_t = 0.04$ se obtuvieron las trayectorias indicadas en las Figuras 4 y 5, en donde también se hace referencia al contraste entre las simulaciones de Matlab® y las mediciones con el robot real.

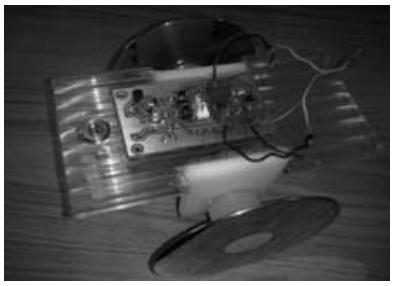


Fig.3: Estructura del robot con microprocesador MSP430G2553

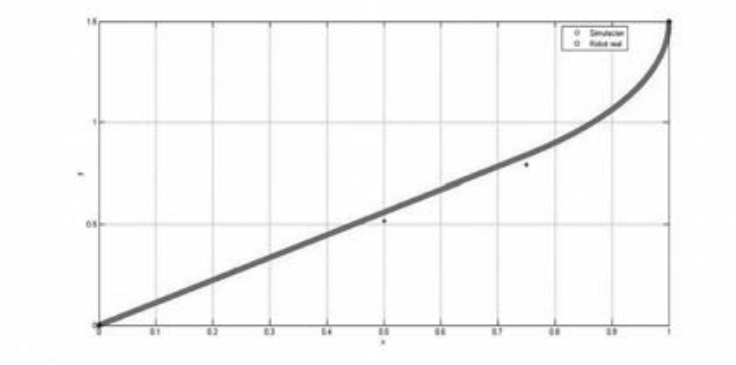


Fig.4: Trayectorias reales vs simuladas para $\theta(0)=270°$

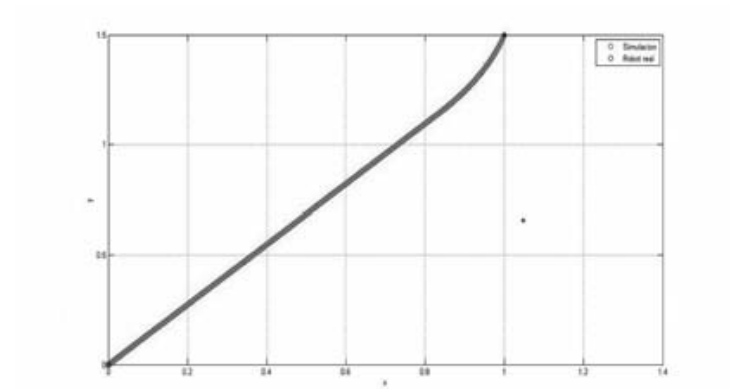


Fig.5: Trayectorias reales vs simuladas para $\theta(0)=256.5°$

Es posible observar que sólo en los casos en que la orientación inicial es mayor a 256.5° las trayectorias real y simuladas son aproximadas, mientras que una leve modificación posterior (256.5°) hace que las trayectorias reales sean notablemente diferentes a las simuladas.

Esto puede explicarse considerando que el robot construído en el presente artículo es muy liviano: alrededor de 250 gramos utilizando policarbonato para el chasis con un muy bajo rozamiento en

las ruedas (discos muy lisos y de espesor 3mm). Se puede concluir que el modelo cinemático se ve afectado por efectos dinámicos no tenidos en cuenta en el modelo presentado en la Sección 2.

Por otro lado, en experimentos anteriores modificando el peso del robot (500 gramos) y cambiando las ruedas por otras con superficie de goma más ancha: 10mm de espesor (Figura 6), las trayectorias se aproximan en un 90% en valor RMS (medio) de todos los puntos medidos y simulados.

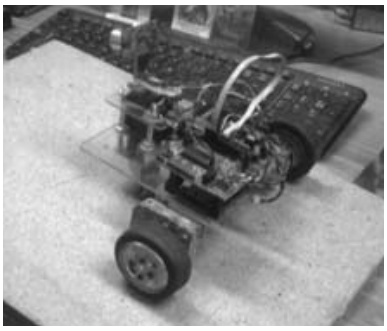


Fig.6: Versión anterior del robot con ruedas más anchas y mayor peso.

5. Conclusiones

En este trabajo se presentó el modelo matemático, desarrollo y construcción de un robot uniciclo con dos motores CC de 12V utilizando un microprocesador de Texas Instruments: MSP430G2553 y policarbonato para el chasis. Fue posible comprobar que existe una constante $\Delta_t = 0.04$ que al ser utilizada en el modelo programado en el MSP430G2553, permite una muy buena aproximación de las trayectorias reales (robot real) con las simuladas en Matlab® realizando una integración numérica con el motor numérico de Matlab®.

Es posible realizar una observación interesante respecto del peso del robot, que por tratarse de una búsqueda de tiempo mínimo, se construyó muy liviano resultando ser afectado por efectos dinámicos no modelados en el modelo cinemático presentado. En la comparación con la versión previa del robot en donde el peso era mayor y el rozamiento muy superior, las diferencias entre simulación y mediciones reales no fueron tan notorias.

Como trabajo futuro, se propone continuar las simulaciones y mediciones para determinar las modificaciones y mejoras al modelo cinemático planteado así como también investigar con mediciones reales el comportamiento ISP documentado en García-2012 en donde se debe proveer un cambio infinito de doblados a derecha e izquierda en un intervalo finito de tiempo, así como extender el algoritmo para poder finalmente unir cuatro puntos (desafío original de la NASA).

Referencias

A. García and O. Agamennoni. Minimum-Time Control of Mobile Robots: Universal Modeling and Algorithms. LAP LAMBERT Academic Publishing. March, 2012. ISBN-10: 3848412462. ISBN-13: 978-3848412464.

A. García, J. L. Figueroa and O. E. Agamennoni. Closed-form trajectories of the unciycle, 2009. ArXiv e-prints: 0906.1588.

d'Andréa-Novel, B. and Campion, G. and Bastin, G. Control of Nonholonomic Wheeled Mobile Robots by State Feedback Linearization, Int. J. Rob. Res. 13 (1995), 543-559

Dubins, L.E. On Curves of Minimal Length with a Constraint on Average Curvature, and with Prescribed Initial and Terminal Positions and Tangents. American Journal of Mathematics **79** (3) (July 1957), 497–516.

Nilanjan Sarkar, Kiaoping Yun, and Vijay Kumar, Control of mechanical systems with rolling constraints: Application to dynamic control of mobile robots, International Journal of Robotic Research 13 (1994), 55–69.

http://robotics.nasa.gov/students/challenge.php. Sitio web oficial de NASA.

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE PROPÓLEOS Y DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS POR HPLC

Autor: Ing. Angélica, Germanetti.

Tutor: Dra. María Cristina Ciappini.

CIDTA -Facultad Regional Rosario, UTN. Zeballos 1341. Rosario

E-mail de contacto: agermanetti@frro.utn.edu.ar

Resumen

Los compuestos fenólicos presentes en los propóleos son responsables de su actividad antimicrobiana y antioxidante. El objetivo de este trabajo fue determinar dichos compuestos activos por HPLC y establecer las características fisicoquímicas de propóleos producidos en la provincia de Santa Fe, Argentina. Las determinaciones fisicoquímicas se realizaron de acuerdo a IRAM-INTA 15935, sobre 15 muestras provenientes de las distintas subregiones fitogeográficas de la provincia. Con respecto a las características sensoriales, la mayoría de los propóleos, se presentaron como trozos irregulares, marrón oscuro o verdosos, con penetrante olor resinoso y muy aromático. En lo que refiere a los estudios de caracterización fisicoquímica, todas las muestras se encontraron dentro de especificaciones en lo relativo a la pérdida por calentamiento, al contenido de impurezas mecánicas y a los compuestos fenólicos. En cambio, las especificaciones para el contenido de resinas solubles en etanol, sustancias solubles en hexano y flavonoides no fueron satisfechas en todos los casos. Los propóleos evaluados poseen un claro predominio de flavonoides como crisina, galangina y quercetina, los cuales se distribuyen de forma desigual entre los distintos propóleos. No se detectaron flavonoides monohidroxilados en el anillo B, sólo trazas de kaempferol en algunos extractos. Estos resultados contribuyen a la caracterización de los propóleos para su comercialización y aplicaciones industriales.

Palabras claves: propóleos, compuestos fenólicos, flavonoides.

Introducción

Los propóleos, mezcla compleja de resinas, ceras, aceites esenciales, polen y microelementos, presentan propiedades bacteriostáticas, antifúngicas, anestésicas, hepatoprotectoras y cicatrizantes (Salamanca Grosso et al.; 2002). Han sido ampliamente utilizados desde tiempos remotos por sus propiedades farmacéuticas y se ha incrementado el interés comercial por este producto natural en los últimos años, como un constituyente en cosmetología (Bankovay Marcucci, 2000). Su composición varía ampliamente y depende directamente de la flora local e indirectamente del momento de la recolección (Bankova y Marcucci, 2000).

Presenta consistencia variable, dependiendo del origen y de la temperatura. Su color es variable, de amarillo claro a marrón oscuro, con una gama de tonos castaños intermedios (Salamanca Grosso et al., 2002). Su olor, también variable, recuerda su origen vegetal.

La forma habitual de utilización es el empleo de la fracción soluble en etanol, denominada habitualmente bálsamo. Asimismo, la extracción con otros solventes ha permitido identificar más de 200 constituyentes (Marcucci, 1995).

La actividad antibacteriana, ha sido ampliamente correlacionada con el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides (Chaillou et al., 2002). Esta composición fenólica está caracterizada por la

presencia de ácidos fenólicos (benzoicos y cinámicos) y flavonoides, que están presentes en los propóleos principalmente como formas libres como agliconas. Más precisamente, la actividad antimicrobiana estaría directamente relacionada con el contenido de sustancias como el ácido benzoico, pinocembrina y galangina. Sus propiedades fungicidas, en cambio, parecen ser directamente proporcionales al contenido de ácido cafeico, pinocembrina y pinobaskina (Pamies Travesset et al., 1996).

La determinación de los compuestos fenólicos podría ser también de utilidad en los estudios tendientes a establecer el origen geográfico y botánico delos propóleos (Andrade et al., 1997), tomando como antecedente que se ha encontrado una alta correlación entre el patrón de ácidos fenólicos determinados por HPLC y el origen botánico de las mieles (Vivar Quintana et al., 1999).

La técnica más apropiada para el análisis de la composición fenólica en propóleos es la cromatografía líquida (Tomás Barberán et al., 1993a; Vivar Quintana et al., 1999), aunque también se han utilizado la electroforesis capilar (Ferrers et al., 1994), la cromatografía en capa delgada (Amiot et al, 1989; Sabatier et al., 1992) y la cromatografía de gases (Markham et al., 1996; Pereira et al., 2000). El procedimiento de extracción de los compuestos fenólicos para su análisis, depende del tipo de alimento a ser estudiado y de las propiedades fisicoquímicas de los compuestos fenólicos de interés para el análisis (polaridad, acidez, presencia de grupos oxhidrilo en el anillo aromático, etc.). Los solventes generalmente utilizados son acetato de etilo, dietil éter, metanol o soluciones acuosas de metanol. La mayoría de los compuestos fenólicos libres pueden extraerse con alcohol metílico o etílico o soluciones alcohol-agua (Lee, 1997).

Por el momento, el conocimiento de los componentes activos del propóleos aún no es completo (Bankova, V. y Marcucci, 2000). Como consecuencia, algunos autores recomiendan su uso como alimento, pero consideran que el desarrollo de propóleos para fines médicos puede no ser adecuado (Matsuda, 1994). Las sustancias identificadas en los propóleos son en general constituyentes típicos de alimentos y/o aditivos alimentarios, reconocidos como sustancias GRAS (Burdock, 1998).

La normalización de los propóleos aun no ha sido realizada en forma completa y sistemática. Para contribuir a la normalización de propóleos, a fin de tipificarlos de acuerdo a su origen y potenciar su uso con fines comerciales, el objetivo de este trabajo fue aportar información acerca de las características físico químicas de los propóleos producidos en la provincia de Santa Fe, Argentina, y analizar la presencia de compuestos fenólicos extraídos por HPLC.

Metodología

Para la realización del muestreo y teniendo en consideración las características agroclimáticas, latitud y flora de importanciaapícola, se dividió el territorio de la provincia en tres zonas de producción de miel, Norte, Centro y Sur. La zona Norte, de mayor diversidad ambiental del territorio, presenta un clima subtropical, con temperaturas promedio anuales de 21°C. El clima subtropical facilita cultivos, como el algodón y la caña de azúcar; se conserva la flora autóctona, representada por quebrachos y algarrobos. La zona Sur en cambio, presenta mayor homogeneidad ambiental y tiene clima templado; desde el punto de vista de la flora representa una zona de transición, con características pampeanas; en la zona Centro, cuyo clima es templado, las hierbas que lo cubrían, fueron reemplazadas por cultivos y montes de árboles exógenos, como paraíso, álamo, eucalipto, entre otros.

Para la primera aproximación, se recolectaron 15 muestras útiles, que provenían de las distintas zonas de producción.

Sobre los propóleos en bruto se realizaron los siguientes estudios de caracterización fisicoquímica: pérdida por calentamiento, sustancias extraíbles en n-hexano, impurezas mecánicas, resinas solubles en etanol, flavonoides, índice de oxidación, espectroscopia de

absorción de radiación ultravioleta y características sensoriales por los métodos establecidos en IRAM – INTA 15935: 2004.

Para la identificación y cuantificación de principios activos por HPLC, se analizaron seis muestras de diferentes orígenes geográficos: I y II de la zona sur, la III y IV de la zona centro y V y VI de la zona norte. Sobre estas muestras, se hizo una extracción en alcohol metílico (EPE). Los extractos se prepararon moliendo los propóleos enfriados a -18 ºC durante 24 horas, en un molino IKA con refrigeración. El descerado posterior se llevó a cabo según lo propuesto en la Norma IRAM 15935. La extracción en alcohol etílico se efectuó en Soxhlet con una relación sólido/líquido (1:19) (Krell, 1996) durante 6 horas.

Las determinaciones se hicieron con un cromatógrafo Shimadzu LC 10-AS, equipado con un detector UV - visible SPD-10A y columna de fase reversa C18 (Supelco, Inc. Supelco Park, Bellafonte, USA), tamaño de partícula 5 μm, 25 x 0.46 cm ID y precolumna (4 mm) del mismo material. Se trabajó en forma isocrática, a 50 ºC, empleando como eluyente agua: metanol: ácido acético (60:75:5), 0,7 ml/min. La señal de salida del detector UV, que opera a λ= 275 nm, se integró en forma automática, con calibración de estándares externos (Lee, 1997). Para la identificación y cuantificación de los picos en los cromatogramas, se utilizaron las siguientes sustancias de referencia: ácidos hidroxicinámicos (ácido cafeico, ácido o-cumárico, ácido p-cumárico), benzoico (ácido siríngico) y cinámicos (cumárico); flavonas (apigenina, acacetina, crisina), flavonoles (quercetina, kaempferol, galangina); suministrados por SIGMA Chemical Company (St. Louis, M.O.). Los demás reactivos eran calidad HPLC, provistos por Merck, Darmstad, Alemania.

Los resultaron se analizaron estadísticamente mediante Excel 2007.

Resultados

Se incluyen en la Tabla 1 los resultados de los análisis fisicoquímicos obtenidos así como también las especificaciones establecidas por IRAM.

Todas las muestras se encontraban dentro de especificaciones en lo relativo a las impurezas mecánicas y a la pérdida por calentamiento.Las muestras provenientes de la zona Norte de la provincia, difieren de las otras, presentando un promedio más elevado para este parámetro.

El contenido de sustancias extraíbles en n-hexano es superior al requisito fijado por IRAM en el 20 % de las muestras de la zona Sur. En todos los casos, estos propóleos correspondieron a los denominados propóleos de rejilla. Son muestras maleables y de punto de fusión inferior al que presentan los propóleos obtenidos por raspado.

El 40 % de las muestras de la zona Sur y el 20 % de las correspondientes a la zona Centro, no alcanzan el contenido mínimo de resinas solubles en etanol. Se observa una gran dispersión para las muestras provenientes de la zona Sur.

Todas las muestras satisfacen el valor especificado para el índice de oxidación, el cual constituye un test analítico para verificar la propiedad antioxidante del propóleos y por lo tanto su calidad (Maidana, 2002).Los espectrogramas de absorción de radiación ultravioleta mostraron picos de absorbancia a 240 nm, 270 nm y 340 nm.

Para todas las muestras provenientes de las zonas Centro y Sur, el contenido de flavonoides estuvo fuera de especificaciones, siendo inferior en todos los casos al valor mínimo admisible. Para los propóleos de la zona Norte, donde las características fitogeográficas difieren de las anteriores, solo el 20% se encontró por debajo del valor especificado. Los contenidos totales de flavonoides de la zona Norte se aproximaron a los informados por Woisky y Salatino (1998), quienes trabajando con las mismas técnicas analíticas sobre propóleos provenientes de seis regiones de Brasil, encontraron que el contenido de flavonoides fluctuaba entre 0,77 y 2,69 g/100

g. Bedascarrasbure et al. (2003) informaron que el contenido de flavonoides totales para la estepa pampena es de 7,87 ± 0,39 g/100 g y de 3,61 ± 0,40 g/100 gpara muestras provenientes del parque chaqueño.

Tabla 1 – Características fisicoquímicas de propóleos de la provincia de Santa Fe, agrupados por zonas de producción

		Pérdida por calenta-miento	Sustancias extraíbles en n-hexano	Impurezas mecánicas	Resinas solubles en etanol	Comp. Fenólicos	Flavonoides	Índice de oxidación
Unidades		g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	s
Especificaciones	Mínimo	-	-	-	35,0	5,0	1,0	-
	Máximo	10,0	35,0	25,0	-	-	-	22
Zona Sur	Mínimo	1,4	14,3	18,0	26,6**	11,3	0,1**	14
	Máximo	1,6	46,2**	22,4	75,8	22,8	0,2**	19
	Mediana	1,5	32,3*	20,2	68,7*	19,0	0,15**	16
Zona Centro	Mínimo	1,5	22,1	18,5	29,0**	11,4	0,5**	12
	Máximo	1,7	28,4	21,4	55,.3	21,3	0,9**	14
	Mediana	1,6	25,1	20,0	49,7	18,3	0,7**	13
Zona Norte	Mínimo	1,7	17,6	18,5	38,8	11,3	0,1**	2
	Máximo	6,2	30,6	21,8	55,0	38,0	1,8	16
	Mediana	3,9*	22,1	20,2	48,9	20,6	1,4*	8*

El supraíndice (*) indica diferencias significativas (p=0,05).
El doble supraíndice (**) indica valores que están fuera de especificación.

Se aprecia que para los propóleos provenientes de la zona Norte el Índice de oxidación es menor que los de las muestras provenientes de las zonas Centro y Sur, en correspondencia con un mayor contenido de flavonoides.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las concentraciones porcentuales de compuestos fenólicos extraídosen etanolsobre seis de la muestras de propóleos.

El método de HPLC puesto a punto consigue una separación satisfactoria de los compuestos fenólicos correspondientes a los patrones estándares disponibles. Los principales compuestos detectados fueron crisina, galangina y quercetina. Nuevamente los propóleos provenientes de la zona Norte parecen difierir en el contenido de estos compuestos respecto a los provenientes de zona Centro y Sur, aunque el bajo número de muestras analizadas no permite un análisis estadístico.

Los resultados coinciden con lo informado por Bankova et al. (1982), sobre propóleos proveniente del sur de Bulgaria. En cambio, difieren con respecto a lo informado por Maidana, que detecta por cromatografía bidimensional en papel, ácido cafeico y ferúlico en el 75 % de las muestras de propóleos de la estepa pampeana; apigenina en el 6,25 % y galangina o quercetina en el 12,5 % de las mismas.

Tabla 2 - Concentraciones porcentuales de compuestos fenólicos en EPE

	I	II	III	IV	V	VI
Acido cafeico	0,17	0,05	0,03	0,01	nd	0,04
Acido siringico	0,13	0,33	0,37	0,37	0,84	0,4
Acido cumarico	0,34	0,30	0,34	0,31	0,34	0,38
Quercetina	4,50	5,83	3,68	8,38	3,48	2,60
Kaempferol	0,01	0,02	0,21	0,03	0,02	0,02
Apigenina	0,57	1,75	0,04	0,35	0,15	0,02
Acacetina	0,09	0,06	0,05	0,03	0,06	0,03
Galangina	6,55	5,33	7,47	9,67	1,26	2,60
Crisina	8,60	7,01	8,98	9,20	12,62	14,88

nd: no detectado

Con respecto a las características sensoriales, la mayoría de los propóleos (64 %), se presentan como trozos irregulares, de color marrón oscuro o verdoso, con penetrante olor resinoso y muy aromático. Menos del 15 % de las muestras se presentaron como masas uniformes con brillo, propias de propóleos de rejilla. El 59 % de las muestras presentó un sabor picante o picante dulzón.

Conclusión

Se obtuvieron resultados fisicoquímicos y sensoriales tendientes a conocer las características de los propóleos producidos en la Provincia de Santa Fe. Se encontraron diferencias en su composición entre los propóleos de las zonas Centro y Sur, con respecto a los recogidos en la zona Norte de la provincia.

Referencias

Amiot, M.J.; Aubert, S.; Gonnet, M. y Tacchini, M. 1989. Les composes phénoliques des miels: Etude preliminiare sur identification et la quantification par familes, Apidologie, 20, 115-125.

Andrade, P., Ferreres, F., Amaral, M.T., 1997. Analysis of honey phenolic acids by HPLC, its application to honey botanical caracterization. Liquid Chromatography and Related Technologies. 20: 2281-2288.

Bankova, V., Marcucci, M.C., 2000. Standarization of propolis: present status and perspectives, Bee World 81 (4): 182-188.

Burdock, G., 1998. Review of the biological properties and toxixity of bee propolis, Food and Chemical Toxicology 36, 347-363.

Chaillou, L.; Herrera, H.; Maidana, J., 2000. Actividad antibacteriana en propóleos, Congreso Internacional de Propóleos, Buenos Aires.

Ferrers, F.; Blázquez, M. A.; Gil, M. I. y Tomás Barberán, F. A.; 1994 Separation of honey flavonoids by micellar electrokinetic capillary chomatography, Chromatography Journal, 669, 268-274.

Krell, R. 1996. Value Added Products from Beekeeping. FAO Agricultural Services Bulletin Nº 124, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Roma, Italy.

Lee, H. 1997. HPLC Analysis of Phenolic Compounds, Chap. 19. In: Lloyd Snyder, J. Kirkland and J. Glajck ed, Practical HPLC Method Development, 20 Ed., John Wiley & Sons, New York, USA.

Marcucci, M. C. 1995. Propolis: chemical composition, biological poperties and therapeutic activity. Apidologie 26, 83-89.

Markham, K. R., Mitchell, K. A., Wilkins, A. L., Daldy, J. and Yinrong Lu, 1996. HPLC and GC-MS Identification of the Major Organic Constituents in New Zeland Propolis, Phytochemistry, 42 (1), 205-211.

Matsuda, T., 1994. Propolis - health care food. Foods & Food Ingredients Journal of Japan, 160: 64-73.

Pamies Travesset, J.M., 1996. Medicina Natural, Editorial LIBSA, Madrid, España.

Pereira, A.; Norsell, M.; Cardoso, J. N.; Aquino Neto, F.; 2000. Rapid screening of polar compounds in Brazilian Propolis by high resolution gas chromatography - mass spectometry, Journal agriculture food chemestry 40, 5226-5230.

Sabatier, S.; Amiot, M.J.; Aubert, S.; Tacchini, M. 1992. Identification of flavonoids in sunflower honey, Food Science Journal, 57, 151-157.

Salamanca Grosso, G., Martínez, C., Parra, E., Martínez, T, Rubiano, L. Ramírez, C. 2002. El sistema de control y puntos críticos en la extracción y beneficio de propóleos, Programa de Biología Química, Universidad de Tolima, Santa Fe de Bogotá, Colombia.

Tomás Barberán, F. A.; Ferreres, F.; Blázquez, M. A.; García Viguera, C. y Tomás Lorente, F.; 1993. HPLC of honey flavonoids, Chromatography Journal, 634, 41-46.

Vivar Quintana, A. M.; Baldi Coronel, B. M.; Sanchez Sanchez, J.J. y Santos Buelga, C.; 1999. Composición fenólica de mieles monoflorales de distinto origen, Alimentaria, 93-99.

DESCRIPCIÓN SENSORIAL CUANTITATIVA DE MIELES FLORALES

Brenda Maurici, Lucrecia Pozzo, Giulia Recanati

CIDTA (Zeballos 1341, Rosario), Facultad Regional Rosario, UTN

E-mail de contacto:*bren_181@hotmail.com*

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección de la Dra. María Cristina Ciappini, en el marco del proyecto ALUTIRO0002122TC: "Caracterización palinológica, sensorial y fisicoquímica de mieles producidas en la provincia fitogeográfica pampeana"

R E S U M E N

En este trabajo se describen las características sensoriales de mieles de diferentes orígenes florales. La descripción sensorial cuantitativa fue realizada por un panel, previamente seleccionado y entrenado de acuerdo al procedimiento establecido en IRAM 20005, constituido por cinco hombres y siete mujeres de edades comprendidas entre 20 y 30 años, pertenecientes a la comunidad académica de la UTN FRRo. Una vez garantizado el desempeño de los miembros del panel, se realizó el análisis descriptivo de mieles monoflorales de trébol, eucalipto y citrus, en condiciones controladas de laboratorio. Los atributos analizados fueron intensidad del olor y del color, fluidez, dulzor, granulosidad, persistencia, cantidad y tamaño de cristales. Las mieles de eucalipto presentaron olores y sabores más intensos; también se distinguieron por el color más oscuro, con tintes verdosos. Las mieles de citrus fueron las únicas que mostraron una nota ácida y resultaron muy persistentes. Por su parte, las mieles de tréboles presentaron mayor tamaño de cristales y granulosidad. Los perfiles obtenidos contribuyeron a caracterizar cada miel en relación a su origen floral, constituyendo una herramienta de diferenciación, que aumenta el valor agregado a estas mieles a la hora de comercializarlas.

Palabras Claves: Análisis descriptivo; Perfil sensorial; Mieles de tréboles, eucalipto, citrus.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La miel es apreciada por los consumidores por su variedad de sabores, aromas, colores y texturas, los que se modifican de acuerdo a las plantas visitadas por las abejas para obtener el néctar y por las condiciones climáticas y ambientales en las que se produce (González Lorente et al., 2008). Estas características impactan en las estrategias para la comercialización de la miel, en su precio y brindan información acerca de su calidad y genuinidad (Ciappini et al., 2013).

Para determinar estas características, se recurre al análisis sensorial, disciplina científica empleada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de los alimentos u otras sustancias, tal como se perciben a través de los sentidos de la vista, el olfato, el tacto, el gusto y el oído. Los análisis sensoriales son realizados por un panel de evaluadores seleccionados y entrenados, ya que no existe un instrumento capaz de medir ese tipo de sensaciones (Lawless y Heymann, 2010).

El análisis cuantitativo descriptivo (QDA) es método ampliamente utilizado en el análisis sensorial por ser el más completo a la hora de obtener el perfil sensorial de un alimento. Los perfiles sensoriales evidencian su utilidad a la hora de realizar un control de calidad, desarrollar nuevos productos, establecer correlaciones sensorio-instrumentales, medir cambios en la intensidad de un atributo en función del tiempo o bien identificar cuáles son los atributos claves a incluir en un ensayo con consumidores (Lawless y Heymann, 2010).

El método se basa en la evaluación de las características visuales, olfativas, gustativas, táctiles y trigeminales de un producto, realizada por evaluadores sensoriales entrenados para identificar los

estímulos sensoriales sobre la base de estándares previamente memorizados y la cuantificación en una escala.

La apicultura ocupa un lugar destacado en la producción agropecuaria de la Argentina. La miel producida en nuestro país es considerada una de las de mejor calidad en el mundo. Actualmente la Argentina es el segundo exportador del producto, detrás de China que es el mayor productor y exportador del producto en el mundo (SENASA, 2014) Por este motivo se torna interesante incorporar en las etiquetas la descripción sensorial ya que aumenta el valor agregado del producto.

Se considerarán mieles monoflorales o uniflorales aquellas en cuya composición se encuentre, como mínimo, un cuarenta y cinco por ciento (45%) de polen de la misma familia, género o especie floral, y posea características organolépticas, físico-químicas y microscópicas propias, excepto las mieles que se mencionan en la Tabla 1 (Res. SAGyP N° 1051/94)

Tabla 1. Mieles analizadas

	MIEL DE CITRUS (*Citrus* sp)	Es aquella en cuya composición se encuentra un mínimo de diez a veinte por ciento (10 a 20%) de granos de polen de citrus, permitiéndose hasta un veinte por ciento (20%)de humedad
	MIEL DE TRÉBOL (*Trifolium* sp)	Es aquella en cuya composición se encuentran presentes pólenes de melilotus, alfalfa (medicago sativa) y lotus, en su conjunto alcanzando un valor mínimo de cuarenta y cinco por ciento (45%).
	MIEL DE EUCALIPTO (*Eucalyptus* sp)	Es aquella en cuya composición se encuentra un mínimo de setenta por ciento (70%) de granos de polen de dicha especie.

En este trabajo se estudió el perfil sensorial de mieles de tres orígenes florales: eucalipto, tréboles y citrus, como herramienta para su caracterización y control de calidad y genuinidad.

2. MATERIALES Y METODOS

Muestras:

Se analizaron 30 mieles cuyo origen floral fue determinado por análisis microscópico mediante el método de (Louveaux, 1978), resultando 14 mieles de tréboles, 6 mieles de citrus y 10 mieles de eucalipto.

Reactivos

Agua potable, en cantidad necesaria. Pan o galletas de arroz, en cantidad necesaria, como limpiadores de paladar.

Instrumental

Se utilizaron copas de vidrio transparente incoloro, libres de estrías y burbujas (diámetro de la boca 50 mm, capacidad 150 ml), una por cada muestra y por cada evaluador; vasos descartables para agua, jarras para agua, agitadores para café, servilletas de papel, cucharas para postre de

acero inoxidable, papel de aluminio para cubrir las copas, bandejas, platos para postre descartables.

Procedimiento

Condiciones del ensayo: Las pruebas se llevaron a cabo de acuerdo con las directrices generales de las pruebas sensoriales (ISO 6658, 2005) y el diseño, en cabinas individuales libres de olores y ruidos extraños (ISO 8589, 2007).
Antes de comenzar con el análisis descriptivo, con el fin de expresar armónicamente los resultados, se realizó la compilación de un glosario de términos, que posibilitaron utilizar un lenguaje común en la descripción en lo que respecta a color, sabor, olor y texturas. Para esto se efectuaron varias sesiones con los evaluadores, lo cual permitió acotar de 62 a 16 los términos asociados a los atributos de las mieles. Se llevaron a cabo sesiones de entrenamiento con escalas representativas de esos 16 términos seleccionados.

Las muestras se prepararon colocando entre 30 y 40 g de miel en las copas de vidrio, manteniendo la relación de muestra / volumen del recipiente cercana a 1/4 o 1/5 (Piana et al., 2004). Las copas estaban perfectamente limpias, libre de olores y sabores y eran cubiertas con papel de aluminio. Cada integrante del panel debió oler, cuantificar los atributos que caracterizan el aspecto tales como color y fluidez, grado de cristalización, tamaño y solubilidad de los cristales; llevar una porción a la boca para percibir gustos, sabores, aromas, textura bucal y sensaciones trigeminales; finalmente, después de tragar la miel, los evaluadores cuantificaron la persistencia y los gustos residuales. Las muestras se almacenaron a temperatura ambiente (22 ± 2 ° C) al menos 4 h antes de la prueba.

Determinación

Los evaluadores indicaron las características del atributo evaluado en una planilla, sobre una línea de 15 cm de largo dividida en una escala de cero a 7 para cada atributo, cada evaluador debió dejar asentado en algún lugar sobre ella la intensidad percibida.

Evaluación del olor: El evaluador debió extender la miel sobre las paredes del recipiente con una espátula o bien girar el recipiente. Luego, debió indicar la intensidad del olor, la familia o subfamilia a la que pertenece y las notas distinguidas. Se esperó entre 5 y 20 segundos para repetir el proceso.

Evaluación de la apariencia: Los evaluadores debieron levantar una pequeña porción de la muestra con la espátula, evaluar la velocidad de caída y el “dibujo” que hace la miel al caer. Luego, esparciendo la muestra contra la pared del recipiente y observando la muestra al caer desde la espátula debieron observar la presencia de cristales y cuantificar su tamaño.

Gustos básicos y aroma: En este caso el evaluador debió tomar una porción de la miel contenida en la copa con espátula desechable, dejar que se disolviera durante unos segundos manteniendo la boca cerrada, expirando aire través de la nariz, para que los aromas estimulen los receptores olfativos.

Sensación táctil oral: Los evaluadores diferenciaron entre sensaciones físicas, viscosidad, granulosidad, tamaño y cantidad de cristales y sensaciones trigeminales, por ejemplo, astringente, picante, refrescante. Luego, neutralizaron la boca con agua y pan o galletas de arroz.

Cada muestra se evaluó por duplicado en tres sesiones, en iguales condiciones operativas para asegurar la reproducibilidad de los resultados; en las cuales se presentó una muestra de cada tipo de miel, siguiendo un diseño experimental de bloques incompletos al azar. La intensidad de cada atributo se determinó midiendo la distancia al origen de la línea correspondiente. El análisis fue complementado con descriptores cualitativos para el olor y sabor y la mención de otras sensaciones que estaban presentes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 1, 2 y 3 muestran las características cuantificables de cada miel.

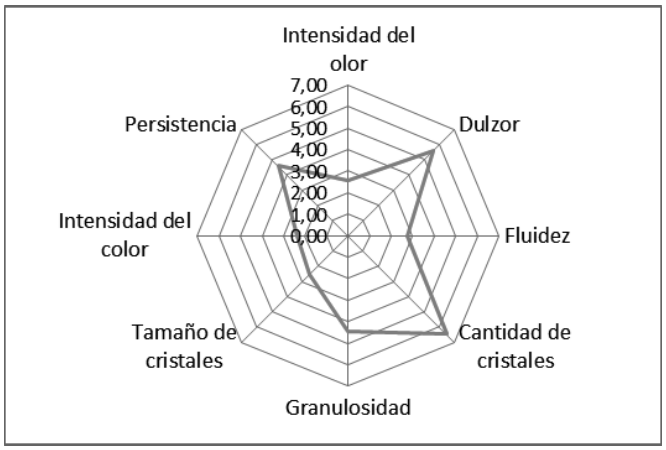


Figura 1. Valores promedio de los atributos sensoriales de mieles de tréboles.

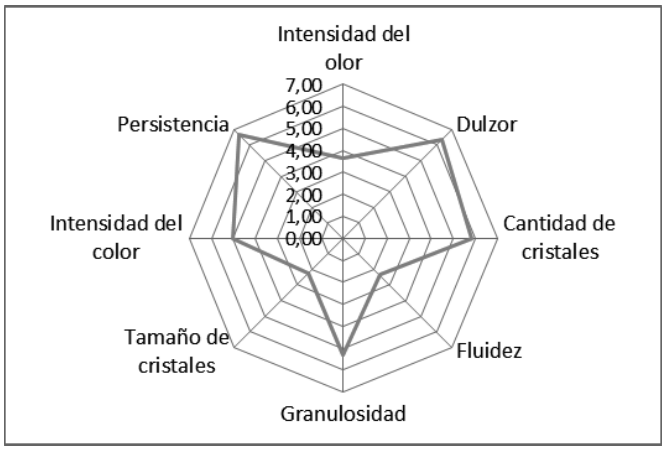


Figura 2. Valores promedio de los atributos sensoriales de mieles de eucalipto.

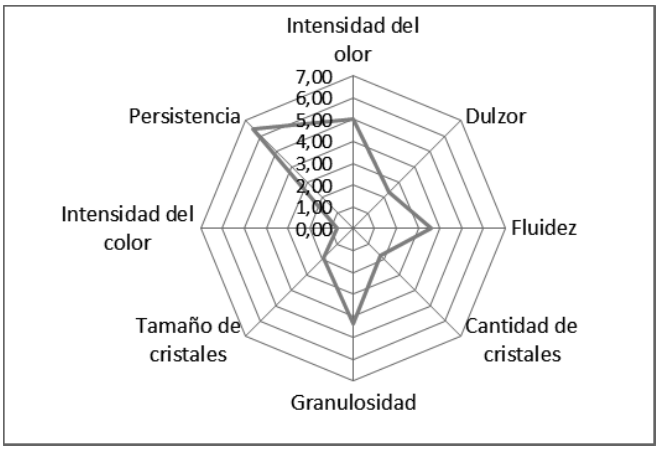


Figura 3. Valores promedio de los atributos sensoriales de mieles de citrus.

Analizando los valores promedio para cada atributo, que pueden observarse en los gráficos radiales que muestran las figuras 1, 2 y 3 se puede decir que los valores obtenidos para las mieles de citrus resultaron coincidir en su totalidad con los expuestos por otros autores (Piana et al, 2004)

otorgando el perfil característico de este origen floral; mientras que los valores promedio de las mieles de tréboles solo difirieron en la intensidad del olor y en el tamaño de los cristales en comparación con los rangos normalizados para las mismas, arrojando ambos promedios inferiores (Rodriguez et al, 2015; Gonzalez Lorente et al., 2008). En cuanto a las muestras de eucalipto, los valores que evidenciaron diferencia con los normalizados fueron la cantidad de cristales que resultó ser menor y la granulosidad que evidenció un promedio mayor (Rodriguez et al, 2015; Gonzalez Lorente et al., 2008).

En la Tabla 2 se muestran las características sensoriales obtenidas para las mieles de tréboles, eucalipto y citrus como resultado del análisis descriptivo.

Tabla 2. Características sensoriales de las mieles analizadas.

	MIEL DE TRÉBOL	MIEL DE EUCALIPTO	MIEL DE CITRUS
Examen visual			
Estado físico	Cristalizan en forma homogénea, formando cristales pequeños, que apenas se perciben en la boca y se disuelven con facilidad.	Cristalizan en forma homogénea, formando cristales pequeños, que resultan casi imperceptibles en la boca y se disuelven con facilidad.	Cristalizan espontáneamente, algunos meses después de su recolección.
Color	Mieles claras, sin notas verdes, rojizas u otras.	Intensidad del color medio, suelen presentar notas verdosas.	Casi incolora en estado líquido, se torna blanca o beige claro al cristalizar.
Examen olfativo			
Intensidad del olor	Entre débil y muy débil, poco persistente.	Moderada, de persistencia moderada.	Mediana intensidad.
Descripción del color	Frutales, florales.	Vegetales. Aromáticos.	Fragante, floral que se torna más frutal con el tiempo.
Examen Gustativo			
Gustos	Dulzor moderado. Ácido, salado y amargo: ausencia.	Dulzor entre moderado y alto. Ácido, salado y amargo: ausencia.	Medianamente dulce. Acidez: ligera.
Aroma	Frutales. Cálidos.	Vegetales. Aromáticos (Animal)	Floral. Frutal.
Persistencia	Moderada, sin gusto residual.	Moderada, sin gusto residual.	Intensa.

Las mieles de eucalipto presentaron olores y sabores más intensos; también se distinguieron por el color. Las mieles de citrus fueron las únicas que mostraron una nota ácida y resultaron muy persistentes. Por su parte, las mieles de tréboles presentaron mayor tamaño de cristales y granulosidad.

4. CONCLUSIÓN

Tras la realización del análisis descriptivo cuantitativo de mieles de trébol, eucalipto y citrus siguiendo la metodología QDA se pudo establecer el perfil sensorial de cada una y cuantificar sus atributos sensoriales, estableciendo una correspondencia con el perfil característico del origen floral al que pertenecen. Se pudieron diferenciar mieles de tres orígenes florales diferentes.

Al comparar los perfiles sensoriales obtenidos con los hallados por otros autores, se observa que los resultados son análogos, con lo que reafirmamos la conclusión realizada.
Quedaron establecidas las bases para efectuar la caracterización de estas mieles monoflorales siendo de especial utilidad a la hora de aumentar su valor agregado y mejorar su posicionamiento en los mercados internacionales.

5. BIBLIOGRAFÍA

Ciappini, M.C., Di Vito, M.VB. Gatti, M.B. y Calviño, A, 2013. Development of a Quantitative Descriptive Sensory Honey Analysis: Application to Eucalyptus and Clover Honeys. Advance Journal of Food Science and Technology 5(7): 829-838.

González Lorente, M.; De Lorenzo Carretero, C.; Perez Martin, R.A, 2008. Sensory attributes and antioxidant capacity of Spanish Honeys. Journal of Sensory Studies, 23, 293-302.

ISO 6658, 2005. Sensory Analysis: Methodology. Londres, Reino Unido.

ISO 8589, 2007. Sensory Analysis: General guidance for the design of test rooms. Londres, Reino Unido.

Lawless, H. and Heymann,201 0. H. Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices. 2ª Edición. New York: Springer.

Louveaux, J., Maurizio, A. and Vorwohl. G, 1978. Methods of melissopalynology, Bee Worl, 59, 139-157.

Piana, M. L. and Persano Oddo, L., 2004. Sensory analysis applied to honey: state of the art, Apidologie 35 (2004) S26–S37

Resolución Nº 1.051. 1994. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca: Tipificación por Origen Botánico.

Rodriguez, I., Salud, S., Galán, H., Piva, G. and Ubera, J. L. 2015. Sensory analysis integrated by palynological and physicochemical determinations plays a key role in differentiating unifloral honeys of similar botanical origins (Myrtaceae honeys from southern Spain): International Journal of Food Science and Technology, 50(7), 1545-1551.

SENASA. 2014. Desarrollo del sector apícola: Miel argentina de alta calidad endulza al mundo.

MORTEROS ELABORADOS CON AGUA TRATADA

Angeles Boaglio [(1)], Gustavo Menéndez [(2)]
(1) Estudiante de Licenciatura en Organización Industrial. (2) Docente Investigador.
Facultad Regional Chubut - Universidad Tecnológica Nacional
Av. del Trabajo 1536, Puerto Madryn, Chubut, Argentina

Resumen

Los cambios sociales originados como consecuencia del aumento de la población, las innumerables revoluciones tecnológicas, la evolución en la industrialización y la urbanización del mundo entero, han generado una serie de actividades que van en detrimento de la conservación del planeta. En el ámbito de la construcción, el desafío es lograr que las necesidades presentes puedan sustentarse económica, ambiental y socialmente en el tiempo. En nuestro país, los morteros y hormigones continúan siendo dos de los materiales más utilizados en la construcción de distintos tipos de estructuras y edificios. Aunque las características finales de ambos materiales están muy influenciadas por el tipo y clase del cemento empleado, no es posible obtener morteros y hormigones sin la incorporación de agua en la mezcla, debido a que junto con el cemento, son los responsables de generar los productos de hidratación.

En este trabajo se estudia la incorporación de agua tratada, subproducto proveniente del circuito cloacal de la ciudad de Puerto Madryn, como reemplazo del agua de mezcla en la elaboración de morteros. El programa de ensayos incluye el estudio del tiempo de fraguado (IRAM 1619), la resistencia a la compresión (IRAM 1622) y el grado de hidratación (α), a las edades de 2, 7 y 28 días.

Los resultados obtenidos indican que el uso de agua tratada como agua de mezclado permite obtener morteros con tiempo de fraguado, resistencia a compresión y grado de hidratación similar al elaborado con agua potable, a la vez que contribuye con la disminución en el uso de recursos naturales.

Introducción

Desde tiempos inmemoriales el hombre ha buscado satisfacer sus necesidades con los recursos que le brinda la naturaleza en su lugar de emplazamiento. Es así que en el ámbito de la construcción, hacia el año 2560 a.C. la civilización egipcia comenzaba a utilizar un mortero de yeso calcinado, arena y agua en sus pirámides de Giza. A mediados del siglo XIX el cemento se transformó en un material de uso frecuente en la construcción y luego durante el siglo XX, el hormigón a base de cemento, fue el material elegido para llevar a cabo gran parte de las obras arquitectónicas [1].

A principio del siglo XX, hace un poco más de 100 años, la población mundial era de 1500 millones de habitantes, mientras que al final de siglo se alcanzó los 6000 millones de habitantes. Los cambios sociales originados como consecuencia de este aumento además de las innumerables revoluciones tecnológicas, la evolución en la industrialización y la urbanización del mundo entero, generaron una serie de actividades que van en detrimento de la conservación del planeta.

Por otra parre, a pesar del avance creciente en el desarrollo de nuevos materiales y metodologías de construcción, los morteros y hormigones continúan siendo dos de los materiales más ampliamente utilizados, destinados a la construcción de la infraestructura necesaria. La industria

del hormigón en el mundo, utiliza anualmente cerca de 1.600 millones de toneladas de cemento, 10.000 millones de toneladas de agregados y 1.000 millones de toneladas de agua. Es decir, se utilizan alrededor de 12.600 millones de recursos naturales como materia prima, además de la energía para la producción del hormigón. Si se tiene en cuenta que está previsto hacia el año 2050 un incremento de la población cercano al 50%, el desafío será lograr que las necesidades de infraestructura (autopistas, viaductos, viviendas, canales, obras hidráulicas, elementos electromecánicos, etc) puedan ser satisfechas sin comprometer las necesidades de las generaciones posteriores [2].

En este sentido, se realizan esfuerzos para reducir el consumo de energía, proteger los recursos minerales naturales y disminuir las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero. Desde hace algunos años se ha incrementado el uso de adiciones minerales como reemplazo parcial del clinker, por constituirse en una alternativa para mitigar el impacto medioambiental que produce la fabricación de cemento [1]. Es conocido además que las características finales de los morteros y hormigones están muy influenciadas por el tipo y clase de este material componente, no obstante, aunque parezca obvio decirlo, no es posible obtener morteros y hormigones sin la incorporación de agua en la mezcla. Esto debido a que junto con el cemento, son los responsables de generar los productos de hidratación. Para ello, es más que frecuente el uso de agua potable como agua de mezclado en la elaboración de morteros y hormigones dado que por el sólo hecho de ser potable, el agua puede utilizarse sin otro requerimiento adicional como material componente de la mezcla. En contrapartida, si el agua no es potable se requiere demostrar su aptitud para el uso a través de su análisis [3].

En nuestra región patagónica, más precisamente en la ciudad de Puerto Madryn el consumo de agua potable, desde un punto de vista ecológico y su alto costo de disponibilidad, debiera ser cada vez más cuidado y destinado sólo a cubrir necesidades esenciales. Por esta razón, el empleo de agua potable en las distintas etapas del proceso productivo de morteros y hormigones, contrasta con la idea de un manejo cada vez más eficiente de los recursos naturales y por lo tanto invita a explorar alternativas para su reemplazo.

Por lo expuesto, a través de este trabajo se ha estudiado la incorporación de agua tratada como agua de mezcla, subproducto proveniente del circuito cloacal de la ciudad de Puerto Madryn, en la elaboración de morteros y su efecto sobre el comportamiento resistente.

Materiales y metodología de ensayos

En este trabajo se utilizó cemento portland normal (IRAM 1503) sin adiciones para todos los morteros. Como agregado fino se utilizó arena natural silícea de acuerdo a la norma IRAM 1633. Se realizaron dos series de morteros, por una parte la serie P (patrón) fue elaborada utilizando agua potable como agua de amasado, mientras que la serie R se elaboró reemplazando el agua potable por agua tratada. El curado para cada serie se realizó utilizando el agua de amasado correspondiente.

El análisis químico del agua tratada se realizó de acuerdo a la norma IRAM 1601. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para la muestra de agua tratada y se incluyen además los valores límites establecidos por la norma.

Con estos materiales se elaboraron prismas de morteros con relación agua - cemento de 0.5 y una fluidez comprendida entre 60 y 65 %.

El programa de ensayos incluyó el estudio del tiempo de fraguado (IRAM 1619), la resistencia a la compresión (IRAM 1622) y el grado de hidratación (α) determinado a partir del método de agua combinada [4], a las edades de 2, 7 y 28 días.

Tabla 1: Resultado del análisis químico del agua tratada.

Requisito	Mínimo	Máximo	Valor obtenido muestra
Residuo Sólido (mg/l)	-	5000	1722
Materia orgánica (mg O2/l)	-	3	7
PH	4	-	7.2
Sulfato, expresado como SO4 2-(mg/l)	-	2000	153.5
Cloruro expresado como Cl - (mg/l)	-	500	198.9
Hierro, expresado como Fe 3+ (mg/l)	-	1	0.31

Resultados y discusión

Tiempo de fraguado

En la figura 1 se muestra el desarrollo del fraguado de ambas series de morteros (P, R). En la misma puede observarse que no se producen modificaciones sustanciales entre los tiempos de fraguado del mortero patrón y el mortero elaborado con agua tratada, siendo de 182 y 186 minutos el tiempo inicial de fraguado, respectivamente. El final de fraguado en el mortero P se alcanza a los 378 minutos mientras que en el mortero R se alcanza a los 367 minutos.

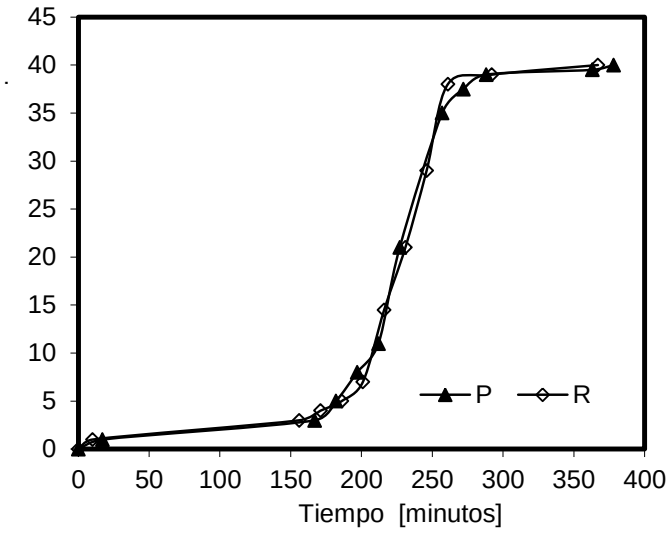


Fig.1: Tiempo de fraguado de los morteros.

Resistencia a compresión

La figura 2 muestra la resistencia a compresión de los morteros elaborados con y sin agua tratada. Se puede observar que en las distintas edades de ensayo los valores de ambas series presentan valores similares, mostrándose la máxima pérdida de resistencia a la edad de 28 días, donde la resistencia del mortero R alcanza un valor del 95 % de la resistencia del mortero patrón.

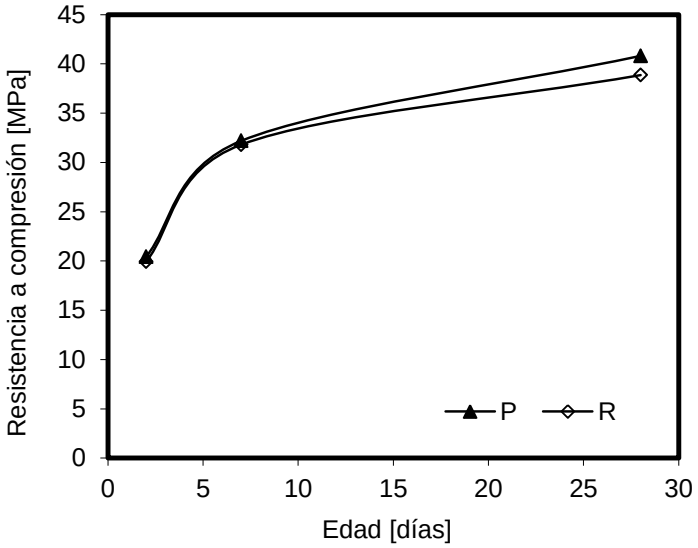


Fig. 2: Resistencia a compresión de los morteros a 2, 7 y28 días.

Grado de hidratación

La tabla 2 muestra el grado de hidratación alcanzado por ambas series de morteros. Es posible observar que el grado de hidratación alcanzado por el mortero R es superior que el correspondiente al mortero P en las diferentes edades estudiadas.

Tabla 2: Grado de Hidratación (α) de ambas series a la edad de 2, 7 y 28 días.

Muestra	Edad		
	2d	7d	28d
P	51	64	75
R	52	67	77

Análisis conjunto de los parámetros

Puede observarse en la tabla 1 que desde el punto de vista químico, el agua tratada utilizada en este estudio cumple con los límites impuestos por los requisitos químicos excepto con lo determinado para el contenido de materia orgánica.

Es conocido que la materia orgánica puede disolverse durante el mezclado (debido al PH alcalino que adquiere el agua al mezclarse con el cemento), retardando el fraguado y el desarrollo de la resistencia al interferir en la hidratación del cemento. Adicionalmente, la presencia de materia orgánica puede incorporar cantidades elevadas de aire en la matriz produciendo la reducción de la resistencia [5].

Por ello, para los casos donde el agua a emplear supera el contenido máximo de materia orgánica establecido por la Norma IRAM 1601, la propia norma prevé la realización de ensayos físicos y

mecánicos que permiten, en base a los resultados obtenidos, habilitar el uso de las mismas comparando el tiempo de fraguado y la resistencia a compresión de los morteros elaborados con el agua tratada respecto de los elaborados con agua potable.

Respecto al tiempo de fraguado, los resultados obtenidos (figura 1) en ambas series de morteros muestran que el tiempo inicial y final de fraguado no es afectado y, se encuentra dentro de los limites establecidos por la norma IRAM 1601, a pesar de la presencia de una mayor cantidad de materia orgánica en el agua tratada. Adicionalmente, ambos morteros presentan un tiempo de fraguado inicial superior a los 45 minutos y un tiempo de fraguado final menor a las 12 horas.

Por otra parte, en referencia al desarrollo de la resistencia, la Norma IRAM 1601 establece que al efectuar el ensayo de compresión no debe producirse una reducción mayor al 10 % en los valores medidos a los 7 días, obtenidos sobre probetas preparadas con el agua en estudio, respecto de los obtenidos con las probetas incorporando el agua patrón. A 7 días, la resistencia a compresión fue de 20.42 y 19.92 MPa para el mortero P y R, respectivamente. En base a ello, la reducción de resistencia respecto al mortero patrón resultó sólo del 2.4 %.

Finalmente, a pesar que el agua tratada posee una cantidad de materia orgánica superior al máximo establecido, los resultados obtenidos permiten inferir que el mayor grado de hidratación alcanzado en el mortero R en todas las edades estudiadas, compensaría el efecto negativo que produce una mayor presencia de materia orgánica, sobre el tiempo de fraguado y la resistencia a compresión.

Conclusiones

En función de los resultados obtenidos puede concluirse que el uso del agua tratada utilizada en este trabajo puede reemplazar el agua potable como agua de mezcla en morteros, sin afectar el tiempo de fraguado inicial y final, y la resistencia a compresión de los mismos. Futuros trabajos deberán abordar el comportamiento durable de estos morteros elaborados con agua tratada.

Por otra parte, el reemplazo de agua potable por agua tratada, contribuye con un uso más eficiente de los recursos naturales sin comprometer las propiedades del material final.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo y colaboración otorgado por el Laboratorio de Materiales perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires y a la Facultad Regional Chubut perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional.

Referencias

[1] Menéndez, G. “Aplicación del Diseño de Experimentos en la Formulación de Cementos Compuestos”, Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería – UNCPBA (2006).

[2] Mehta, P. K., “Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development”, Concrete International, Vol. 4, Nº 7, Julio 2002, pp. 23-28.

[3] Norma IRAM 1601 “Agua para Morteros y Hormigones de Cemento”.

[4] Bonavetti, V. “Cementos con Filler Calcáreo”, Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería – UNCPBA (1998).

[5] Rahhal, V. “Ese Material llamado Hormigón” Capitulo 4 “Aguas”. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Buenos Aires (2012).

INFLUENCIA DE LA REACCIÓN DE MAILLARD A PH ÁCIDO SOBRE LAS ESPUMAS OBTENIDAS A PARTIR DE BETA-LACTOGLOBULINA GLICOSILADA CON LACTOSA

Analía Osores, Marco Chevalley
Tutora: Dra. Griselda Ballerini
Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDTA). UTN. FRRo

Resumen

Mediante la reacción de Maillard es posible conjugar beta-lactoglobulina (b-LG), principal proteína del suero de leche, con carbohidratos reductores para formar compuestos glicosilados de b-LG. El objetivo del presente trabajo fue analizar la estabilidad de las espumas obtenidas a partir de beta-lactoglobulina glicosilada con lactosa a pH 5, 6 y 7. Para la reacción de Maillard se usó una mezcla de b-LG-lactosa (relación molar 1/100), mantenida a 50 ºC, con humedad relativa de 65% durante 80 h. Se obtuvo un valor promedio de 28% de grupos aminos libres. La cromatografía de exclusión molecular mostró deformación del pico de b-LG hacia compuestos de mayor peso molecular, en comparación con la muestra control. Las muestras glicosiladas a los pH establecidos en el protocolo de trabajo, tuvieron mejor Índice de Estabilidad de Espumas respecto de la muestra control a su mismo pH. La espuma más estable resultó la obtenida a pH 6.

Introducción

Las proteínas contribuyen a las propiedades funcionales a través de su habilidad para construir o estabilizar espumas en alimentos (Foegeding et al., 2002; Damodaran 2005). Las espumas son dispersiones de un gas en un líquido, resultando una fase continua y una fase dispersa en forma de burbujas. La estabilidad de una espuma está condicionada por la tensión superficial y la viscosidad de la fase continua, las propiedades de la película interfacial, la distribución del tamaño de burbuja, la temperatura y la naturaleza de la fase gaseosa. El proceso de desestabilización de una espuma implica la tendencia de la fase gaseosa discontinua a formar una fase continua por aproximación y fusión de las burbujas. A este proceso se opone la presencia de una película proteica superficial que, como barrera mecánica, es tanto más efectiva cuanto mayor sea su viscoelasticidad y rigidez (Wagner, 2000). Los mecanismos implicados en el proceso de desestabilización en una espuma son: drenaje del líquido; flotación de las burbujas, por diferencia de densidades, causando la acumulación de las burbujas en la parte superior; maduración de Ostwald: proceso en el que las burbujas grandes crecen a expensas de las pequeñas por difusión de gas a través de las lamelas, debido a la diferencia de presión que existe entre ellas; colapso de la espuma por ruptura de las lamelas. La b-LG es la más abundante de las proteínas del suero de la leche, aproximadamente 50%. Numerosos trabajos han examinado la relación entre las propiedades funcionales de la b-LG y la reacción de Maillard (Chevalier et al., 2001b; Herceg et al., 2007; Jiménez-Castaño et al., 2007; Moro et al., 2011; Medrano et al., 2012). Esta reacción, también conocida como glicosilación o pardeamiento no enzimático, se produce con frecuencia durante el procesamiento industrial y hogareño de los alimentos para la mejora del color, aroma y sabor. Consiste en una condensación del grupo carboxilo del azúcar reductor con el grupo ε-amino de los residuos lisina de las proteínas a través de la formación de iminas (base de Schiff) y el posterior reordenamiento de Amadori. Bien controlada la reacción de Maillard puede ser un buen método para el procesamiento de la proteína en la industria alimentaria (Chevalier et al, 2001b; Belitz, et al., 2009). El objetivo de este trabajo fue investigar la influencia de la reacción de Maillard sobre las propiedades funcionales superficiales de espumado de la b-LG, glicosilada con lactosa (b-LG-LAC) a pH 5, 6 y 7, dado que en este intervalo de pH se encuentran la mayor parte de los alimentos procesados. El progreso de la reacción de Maillard fue seguido a través de medidas de absorbancia y la estimación de grupos aminos libres a través de medidas colorimétricas. Se aplicó cromatografía de exclusión molecular (SEC-HPLC) para estimar la extensión de la agregación proteica. Se midió tiempo y conductividad para la determinación de la estabilidad y capacidad de las espumas.

Materiales y Métodos

Materiales

La b-LG y la Lactosa fueron suministradas por Sigma Chemicals Co. (St. Louis, MO, USA). El resto de los materiales fueron de calidad analítica.

Métodos

Se mezclaron en relación molar 1/100, b-LG y lactosa (LAC). La mezcla fue disuelta en buffer fosfato 50 mM, pH 6,8 (concentración de b-LG 2,5% P/V), (Moro, et al, 2011) y posteriormente liofilizada. La muestra resultante se llevó a estufa a 50 ºC, humedad relativa de 65 % (solución saturada de IK) durante 80 h. (Medrano et al, 2012).Se siguió el pardeamiento por medida de absorbancia (Cheetangdee et al., 2014). Para este propósito se preparó una solución acuosa (1mg/mL) de la muestra en incubación y se leyó absorbancia a 420 nm (espectrofotómetro Jasco V-550. Japón). Transcurrido el tiempo de incubación, el polvo se disolvió, se eliminó el exceso de LAC mediante diálisis y se liofilizó. Como muestra control se usó b-LG a igual concentración que la de la proteína glicosilada y se le efectuó el mismo tratamiento pero sin el agregado del disacárido. Las muestras liofilizadas fueron redisueltas en buffer fosfato 50 mM a los pH de trabajo manteniendo la concentración inicial de b-LG. La cantidad de grupos amino libres se determinó por el método colorimétrico basado en la reacción de O-ftaldialdehído (OPA). El ensayo consistió en mezclar 3 mL de reactivo OPA con 50 µL de solución de proteína (10 mg/mL), incubar 30 min a temperatura ambiente y luego leer absorbancia a 340 nm. Además, se realizó una curva de calibración empleando L-Leucina como estándar (Wooster, et al., 2007). Mediante un equipo Shimadzu LC-20, Japón, equipado con detector UV-visible y software Clarity (Data Apex) se realizó cromatografía de exclusión molecular (SEC-HPLC) para determinar la distribución hidrodinámica de tamaños. Se utilizó una columna Bio Sep SEC-3000, Phenomenex con rango de separación para péptidos y proteínas de 5 a 700 kDa, fase móvil buffer fosfato 100 mM, pH 6,8 con agregado de 100 mM de ClNa, detector UV (λ igual a 280 nm), caudal 0,8 mL/min, 25 ºC y volumen de inyección de 20 µL. Las espumas se obtuvieron mediante el método de burbujeo. Las distintas muestras de b-LG (control y tratada) fueron diluidas al 0,2 % (P/V) en buffer fosfato 20 mM, pH 6,8. Diez mililitros de cada muestra fueron colocados en un “Espumómetro” consistente en un tubo cilíndrico transparente de acrílico (3,5 cm de diámetro interior por 20 cm de altura), equipado con un par de electrodos y un disco poroso localizados en la base. Para la obtención de espuma, se inyectó nitrógeno a través del disco poroso a una velocidad de flujo constante de 5 mL/s. Se detuvo el burbujeo cuando la espuma alcanzó un volumen fijado de 115 mL. Durante el test, se registraron la conductividad y el volumen de espuma mediante un conductímetro y una cámara digital respectivamente. Estos datos se utilizaron para calcular, la densidad máxima de espuma (DE_{max}) (1), definida como relación entre el máximo volumen de líquido incorporado a la espuma (V_{LFmax}) (2) y el volumen de espuma al final del período de burbujeo (VF_{max}); y el tiempo de vida medio de espuma, definiéndose este último, como el tiempo que tarda la espuma en alcanzar la mitad de su volumen final. La DE_{max} se calcula de la siguiente manera:

$$DEmax = \frac{V_{LFmax}}{V_{Fmax}} \qquad (1)$$

Donde $V_{Fmax} = V_f - (V_{init} - V_{LFmax})$

V_f = volumen final

V_{init} = volumen inicial

$$V_{LF} = V_{init}\left[1 - \frac{C_t}{C_{init}}\right] \qquad V_{LF} = V_{init}\left[1 - \frac{C_t}{C_{init}}\right] \qquad (2)$$

Donde C_t = conductividad en el tiempo t; C_{init} = conductividad inicial.
La espuma más estable fue aquella que tuvo mayor tiempo de vida medio de colapso. (Ballerini, 2011).

Resultados y discusión

El progreso de la reacción de Maillard se siguió a través del desarrollo del color marrón y la disminución de los grupos amino libres, durante el tiempo en el cual las muestras de b-LG-LAC y b-LG control (b-LGc) se mantuvieron a 50 ºC y humedad relativa del 65%. Se observó que la b-LGc no desarrolló color marrón durante todo el tiempo de la experiencia, mientras que la muestra de b-LG-LAC fue incrementando la tonalidad característica de la reacción de Maillard primero en forma lenta hasta alrededor de las 20 h de tratamiento incrementándose luego con mayor celeridad. Estos resultados están de acuerdo con las investigaciones de Cheetangdee et al., 2014, quienes trabajaron con b-LG glicosilada con cuatro azúcares reductores. Por otra parte, la cantidad promedio de grupos aminos libre, permaneció sin variación en las muestra control, mientras que en la muestra glicosilada se produjo un abrupto descenso de los mismos durante las 10 primeras horas de tratamiento, obteniéndose un promedio de 28 % de grupos aminos libres remanente. Esto mostró que la lactosa, disacárido de bajo peso molecular, se conjuga rápida y efectivamente a la b-LG. Los datos obtenidos por SE-HPLC mostraron una modificación del pico correspondiente a la b-LG en comparación con el de la b-LGc. La actividad espumante, medida a través de la densidad de espuma máxima (DEmáx) mostró pequeñas diferencias. Estudios realizados por Perez et al., 2012 informan que un tratamiento limitado con azucares reductores generalmente mejora las propiedades interfaciales de proteínas globulares debido principalmente a un aumento en las zonas hidrofóbicas expuestas (Kilara y Panyam, 2003). Las proteínas, debido a su naturaleza anfifílica, se distinguen por sus buenas propiedades interfaciales y de formación de espuma. Por lo tanto, la formación de espuma está influenciada por la adsorción de proteínas en la interfase aire-agua y su capacidad para reducir la tensión interfacial (Moro et al 2011). De acuerdo a lo observado en la Fig. 2, la espuma más estable es la b-LG-LAC a pH 6, en comparación con las obtenidas a los diferentes pH establecidos en el protocolo de trabajo. De hecho, para la formación de espuma, las proteínas deben ser adsorbidas en la interfase con el fin de formar una película protectora alrededor de las burbujas de gas. Además, la estabilización de la espuma contra el drenaje de líquido (drenaje gravitacional y la regeneración marginal), desproporción (difusión de gas de burbujas de menor a burbujas de mayor tamaño), y coalescencia (ruptura de la burbuja) requiere un adecuado control de las propiedades interfaciales y de volumen (Bos y van Vliet , 2001; Dickinson , 2003; Foegeding et al , 2006; Rodríguez Patiño et al., 2008; Wierenga y Gruppen , 2010; Murray , 2007, 2011 , Moro et al , 2011, 2013). En la estabilidad espumante, medida a través del tiempo que tarda en colapsar el 50 % del volumen inicial de la espuma y el tiempo en el que la conductividad de la espuma es menor a 10 µs, se observó que las muestras glicosiladas a pH 5, 6 y 7 mejoraron la estabilidad con respecto a la b-LGc. La proteína glicosilada presenta una estructura más abierta que la b-LGc, y produce pequeños cambios conformacionales y un aumento en el peso molécular de la proteína. Cabe destacar, que en el cromatograma de la muestra control se observa una deformación a los 13,5 min de tiempo de elución lo que correspondería al pequeño porcentaje de dímero de la b-LG que además es idéntico al que aparece en los cromatogramas de la b-LG sin tratar (dato no mostrado). Esto último reafirmaría que no se afecta la estructura de la b-LG cuando ésta se somete al tratamiento térmico sin el carbohidrato. En el cromatograma de la Fig. 1 se observa una marcada disminución de la altura de pico correspondiente a la b-LG, además aumenta considerablemente las estructuras con 13,5 min de tiempo de elución, es decir aumenta el porcentaje de moléculas diméricas, así como se observa la aparición de otra región, que se incrementa paulatinamente a partir de los 8,7 min de tiempo de elución, la que no estaba en la muestra control. Esto indicaría que se han formado trímeros y oligómeros de bajo peso molecular. Estos resultados pondrían en evidencia que la conjugación de la b-LG con lactosa ha permitido la formación de uniones inter e intramoleculares. Si bien, la disminución de grupos aminos libres es elevada (Cheetangdee et al., 2014), los pesos moleculares de los productos obtenidos en esta glicosilación no serían tan elevados como para producir fuerte impedimento estérico y/o disminución acentuada del desplazamiento de la proteína glicosilada hacia la interface cuando se esté evaluando sus propiedades superficiales de espumado (Moro, et al., 2013). Tanto para las espumas obtenidas usando como sustrato proteico b-LG-LAC como para sus homólogas, usando b-LGc, preparadas a pH 5, 6 y 7, no se observan diferencias estadísticamente significativas ($p>0,05$) en los valores de absorbancia a 420 nm y en los cromatogramas obtenidos (dato no mostrado). Aunque en este

trabajo se ha obtenido un mejoramiento de la estabilidad de las espumas a pH 6, el mismo no es mayor al 30% con relación a la estabilidad evaluada a los otros pH estudiados. Cabe considerar además dos situaciones contrapuestas que coexisten: para el rango de pH comprendido entre 5 y 7 hay escasa exposición de los grupos hidrofóbicos de la b-LG lo que resulta desfavorable para la estabilidad de las espumas y la glicosilación no condujo a la formación de compuestos de muy elevado peso molecular lo que es favorable (Ballerini, 2011). La capacidad espumante, expresada como densidad relativa, no presenta variación estadísticamente significativa ya que hay superposición de los intervalos de confianza alrededor de la media de cada dato, según lo observado en la Fig.3.

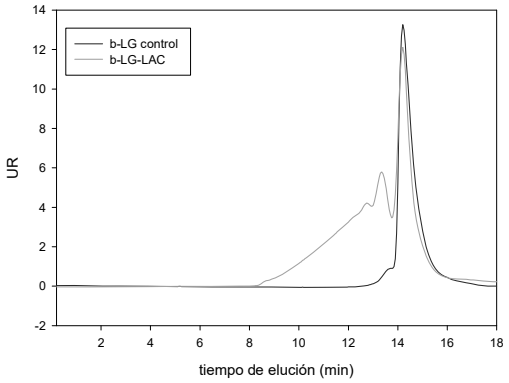


Fig 1. Tiempo de elución.

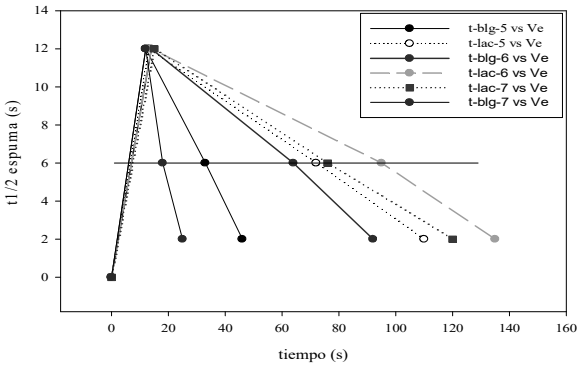


Fig. 2 Tiempo de vida media de espuma

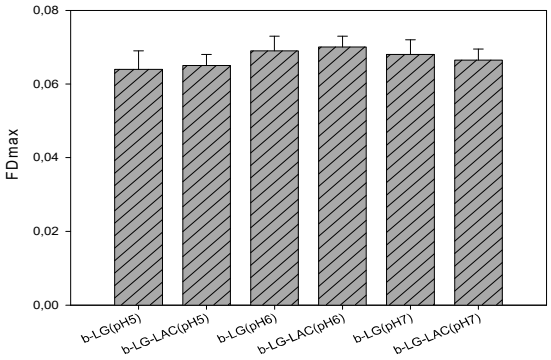


Fig 3. Densidad relativa de espuma

Conclusiones

La lactosa y la b-LG forman conjugados b-LG-LAC rápidamente con un remanente de grupos amino libre del 28%. La SE-HPLC mostró deformación del pico de b-LG glicosilada hacia compuestos de mayor peso molecular, respecto del pico de la b-LGc, predominando dímeros, trímeros y oligómeros de bajo peso molecular. A pH 6 se obtuvo la mayor estabilidad de las espumas, siendo más marcada para el caso de la b-LG-LAC que para la obtenida con la b-LGc.

Referencias

Ballerini, G. Tesis Doctoral en Ciencias Químicas (2011). Facultad de Ciencias Bioq. y Farm. UNR.
Bombara, N., Añón, M.C., Pilosof, A.M.R., 1997. Functional properties of protease modified wheat flours. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie 30, 441–447.
Bos, M.A., van Vliet, T., (2001). Interfacial rheological properties of adsorbed protein layers and surfactants: a review. Advances in Colloid and Interface Science 91 (3), 437–471.

Carrera Sánchez, C., Rodríguez Patino, J.M., (2005). Interfacial, foaming and emulsifying characteristics of sodium caseinate as influenced by protein concentration in solution. Food Hydrocolloids 19 (3), 407–416.
Croguennec, T., Renault, A., Bouhallab, S., & Pezennec, S. (2006). Interfacial properties and foaming properties of sulfhydryl-modified bovine b-lactoglobulin. Journal of Colloid and Interface Science, 302(1), 32-39.
Damodaran, S. (2005). Protein stabilization of emulsions and foams. J. Food Sci. 70: 54–66.
Foegeding, E.A., Luck, P.J., Davis, J.P., 2006. Factors determining the physical properties of protein foams. Food Hydrocolloids 20 (2–3), 284–292.
Kilara, A., Panyam, D., 2003. Peptides from milk proteins and their applications. Critical Review of Food Science and Nutrition 43 (6), 607–633.
Moro Andrea, Germán D. Báez, Pablo A. Busti, Griselda A. Ballerini, Néstor J. Delorenzi. (2011). Effects of heat-treatment-lactoglobulin and its aggregates on foaming properties. Food Hydrocolloids. 25. 1009-1015.
Moro Andrea, Germán D. Báez, Griselda A. Ballerini, Pablo A. Busti, Néstor J. Delorenzi. (2013). Emulsifying and foaming properties of β-lactoglobulin modified by heat treatment. Food Research International 51, 1–7.
Murray, B.S., 2007. Stabilization of bubbles and foams. Current Opinion in Colloid and Interface Science 12 (4–5), 232–241.
Murray, B.S., 2011. Rheological properties of protein films. Current Opinion in Colloid and Interface Science 16 (1), 27–35.
Perez, A.A., Carrara, C.R., Carrera Sánchez, C., Santiago, L.G., Rodríguez Patino, J.M., 2010a. Interfacial and foaming characteristics of milk whey protein and polysaccharide mixed systems. AIChE Journal 56 (4), 1107–1117.
Wagner, J.R., Propiedades superficiales, en *Caracterización funcional y estructural de proteínas*, A.M. Pilosof y G.B. Bartholomai, Editores. (2000), Editorial Universitaria de Buenos Aires (Eudeba) 41-74.

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL ALUMINIO COMO SUSTITUTO DEL ACERO PARA SU EMPLEO EN EQUIPOS DE TRANSPORTE DE CARGA TIPO BITREN.

Agustín Costamagna, Tutor: Ing. Carlos Tais

Departamento de Ingeniería Mecánica, UTN Facultad Regional Villa María.
Avda. Universidad 450 (5900) Villa María, Córdoba.
agucost_93@hotmail.com

Resumen

El Bitren es una formación de un camión con al menos dos remolques que se articulan entre sí mediante un sistema de enganche. Cada remolque posee 3 ejes, lo que le permite transportar el 80 por ciento más de carga que un camión convencional y lograr una menor presión sobre la ruta que el transporte convencional.
En estos días está cada vez más difundido el empleo del aluminio de alta resistencia y de ultra alta resistencia, para vehículos viales. Este material posee una gran resistencia, lo que permite utilizar menos material para una misma resistencia y lograr así reducir la tara de dichos vehículos. Cuenta además de otras características importantes como soldabilidad, conformabilidad, buena resiliencia a bajas temperaturas, aptitud para el corte por láser, etc.
Otro material que se utiliza actualmente es el aluminio en combinación con acero para la fabricación de semirremolques, tanto en el bastidor como en la superestructura, logrando un menor peso específico respecto de los construidos en acero tradicional y de esta forma mejorando la eficiencia del transporte al transportar más mercancía por viaje.
Las aleaciones de aluminio empleadas en vehículos comerciales tienen valores de las relaciones resistencia/peso y rigidez/peso comparables a la de los más avanzados aceros de alta resistencia o del titanio. Estas propiedades, entre otras muchas, se tienen en cuenta a la hora del diseño. No hay ahorro real de peso si se limita a copiar diseños de acero.
Los diseños optimizados en aluminio se basan en secciones específicas, transiciones suaves y uniones inteligentes que permiten ahorros de peso entre el 40% y el 60% frente a materiales alternativos
El objetivo del presente trabajo es comparar la eficiencia de la estructura resistente de un equipo bitren construida con aluminio con la de los equipos tradicionales construidos en acero común y acero de alta resistencia.
Para esto se propone resolver un modelo estático elastoplástico que representa la estructura del bitren y en el cual se analiza su comportamiento respecto de tensiones y deformaciones frente al estado de cargas impuesto de acuerdo a la normativa actual.
La simulación es realizada utilizando software de cálculo comercial, el cual cuenta con las herramientas adecuadas para especificar las características de los materiales utilizados en el diseño de la estructura, los modelos de comportamiento propuestos y las restricciones geométricas y las cargas externas que actúan sobre el semirremolque.
Los resultados demuestran las ventajas de la utilización del aluminio en este tipo de equipos comerciales aún frente a la alternativa del acero de alta resistencia.

Palabras Claves: Aluminio, bitren, Método de Elementos Finitos.

1. Introducción

El bitren es una formación de un camión tractor con al menos dos remolques que se articulan entre sí mediante un sistema de enganche tipo B, conocido también como “quinta rueda”, el cual permite transportar una mayor carga y al tener mayor número de ejes permite transportar el 80 por ciento más de carga que un camión convencional al lograr una menor presión en la ruta que el transporte convencional. Esto significa un ahorro de un 40 por ciento de combustible aproximadamente.
Su configuración está conformada por una unidad tractora y dos equipos arrastrados biarticulados entre sí por un plato-acople tipo B (plato de arrastre o quinta rueda). Tiene un largo total permitido de 30,25 mts y una capacidad de carga de 50 a 55 toneladas dependiendo del carrozado y del tractor utilizado.
El modelo analizado corresponde a un semirremolque bitren cuya estructura está representada en la Figura 1. Los datos constructivos de la misma fueron brindados por una reconocida empresa local dedicada al rubro.

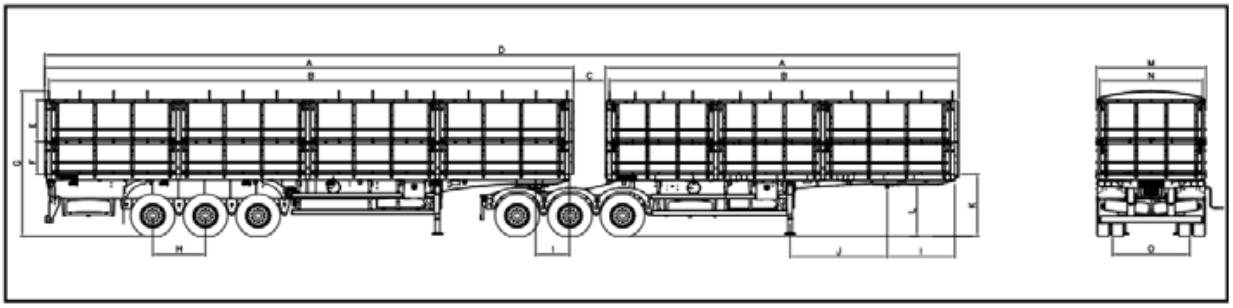


Fig. 1: Modelo de semirremolque bitren.

Tabla 1. Dimensiones

COTA	CARACTERÍSTICAS	SR DELANTERO	SR TRASERO	UNIDAD
A	Compartimiento Externo	9.400	11.100	mm
B	Compartimiento Interno	9.300	11.000	mm
C	Distancia entre los SR	750		mm
D	Compartimento del Conjunto	21.250		mm
E	Altura Lateral Superior	1.000		mm
F	Altura Lateral Inferior	800		mm
G	Altura Total Conjunto Cargado	3.500		mm
H	Distancia entre ejes Tándem	1.250		mm
I	Distancia al Soporte Trasero		70	
J	Distancia del Apoyo al Soporte			mm
K	Altura de la Plataforma			mm
L	Altura del Acoplamiento			mm
M	Largo Externo	2.600		mm
N	Largo Interno			mm
O	Distancia del eje	1250		mm

El chasis es quien soporta el propio peso de la estructura, el peso de la carga a transportar y las sobrecargas dinámicas producidas por las irregularidades del camino. En este estudio se desprecian las cargas producidas por la aceleración y frenado.
Usualmente se utiliza para la construcción de las vigas chapas de acero común F36 [IRAM IAS, 1998]. En [Marino et al, 2011] se estudia el empleo de acero de alta resistencia, prioritariamente el acero DOMEX 700 MC que alcanza una resistencia máxima a la tracción de 9.700 Kg/cm^2 y un límite elástico mínimo de 6628 Kg/cm^2 [DOMEX] con lo que se logra disminuir el peso de la tara y por lo tanto transportar una carga mayor.
Las ventajas económicas del aluminio para vehículos comerciales son indiscutibles: el reducido peso, eficiencias de combustible considerablemente más altas, el fácil mantenimiento y reparación, la durabilidad y la excelente resistencia a la corrosión.
Los diseños de semirremolques optimizados para aluminio suelen pesar entre el 20% y el 30 % menos que las estructuras de acero con una resistencia, robustez y durabilidad equivalentes. Teniendo en cuenta las cargas de alta densidad que normalmente transportan, esta enorme reducción del peso en vacío no sólo aumenta la carga útil en aproximadamente 1 tonelada por contenedor de remolque, sino que también mejora la eficiencia del combustible en estado vacío. [ALCOA 2015].
En el presente trabajo se analiza la factibilidad del uso de la aleación de aluminio para la fabricación de las vigas y demás elementos constituyentes de la estructura del semirremolque.

2. Modelo de estudio

El modelo desarrollado para la estructura de la plataforma se muestra en la Figura 2. Lo conforma un marco que se une a las vigas longitudinales mediante puentes transversales que ayudan a distribuir mejor la carga. Las vigas son de perfil doble T conformadas por un patín superior, el alma y un patín inferior con espesores de chapa de 25 mm para los patines y de 12.5 mm el alma, logrando así un adecuado momento de inercia.
La altura del alma de las vigas varía teniendo en cuenta que se debe permitir un montaje apropiado sobre el tracto camión, por lo que en la zona del acople la viga es más baja que en el resto de la longitud del equipo.
Las dos vigas longitudinales que soportaran las cargas serán de Aleación de Aluminio 5456 de temple H34
Las propiedades físicas y mecánicas de este material se especifican en la Tabla 2. [CIRSOC 701 - 2013]

Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas del aluminio

Densidad	2660 kg/m3
Coeficiente medio de expansión térmica (20-100 ºC)	23,9 x 10-6 1/ºC
Módulo de elasticidad	71 GPa
Coeficiente de Poisson	0,33
Tensión de fluencia	170 MPa

Los tipos de carga que se evaluarán en la estructura serán: a) Carga Muerta o Estática: corresponde al peso propio de la estructura más los componentes. b) Carga Dinámica o viva: está dada por la carga a transportar, la cual varía desde cero al estar descargado, hasta el peso total al cuando está completamente cargado. Se considerara además una sobrecarga del 10 % suele producirse por desconocimiento de la capacidad máxima o negligencia del operario y c) Carga de Impacto: depende de los movimientos a los que está sometido el conjunto debido a las irregularidades del terreno, la cual puede producir fisuras tanto en las vigas maestras, como en los demás elementos. El efecto de la carga de impacto sobre la estructura se corresponde con un incremento del 30% de la carga viva máxima. [AASHTO].
La carga muerta, la dinámica y la de impacto que actúan en el conjunto están implementadas como una presión con distribución uniforme aplicada sobre las vigas y travesaños de la estructura a lo

largo de las mismas. Se asume un valor máximo de 35000 Kg, además del peso propio, como carga máxima.
Los vínculos incorporados al modelo corresponden a los apoyos del semirremolque en el plato de giro en el apoyo biarticulado y a los elementos de sujeción de la suspensión neumática. Se simplificaron las reacciones consecutivas por una en el apoyo de la suspensión seguido del apoyo del pulmón. Estas condiciones de borde impuestas consideran que el semirremolque transmite toda la carga a la calzada a través de sus ejes y perno de arrastre que lo vincula a la unidad. Lo expuesto anteriormente se puede observar en la Figura 2.

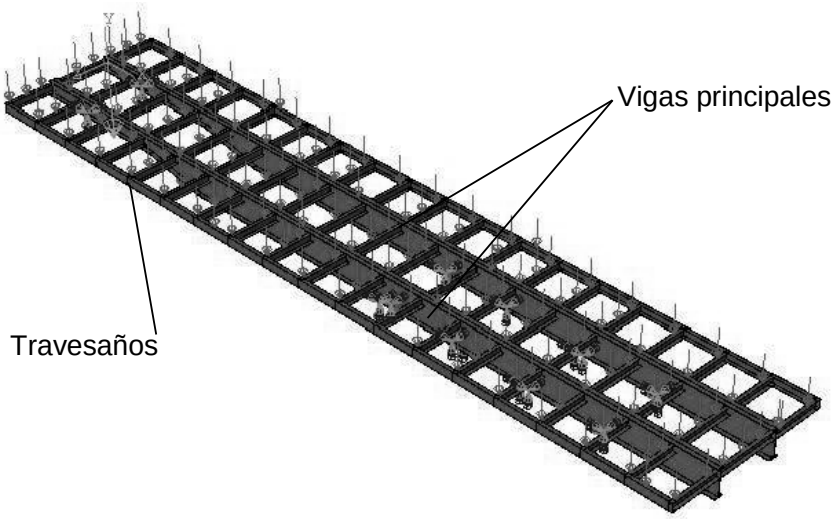


Fig. 2: Estructura del bitren con cargas y vínculos impuestos.

3. Modelo matemático y de simulación

Para evaluar la factibilidad del uso del aluminio en la fabricación de las estructuras tipo bitren se resuelve un modelo elastoestático de tensiones y deformaciones en régimen elástico.
El modelo matemático empleado resuelve la ecuación de equilibrio expresada en función de los desplazamientos u_i y X_i las componentes del vector desplazamiento y de cargas exteriores respectivamente. (1) [Berrocal, 1998]

$$\frac{E}{2(1+\mu)}\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2}+\frac{E}{2(1+\mu)(1-2\mu)}\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2}+X_i=0 \qquad (1)$$

donde E y μ son el módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson del material respectivamente. Con las componentes del vector desplazamiento conocido se procede a determinar las componentes de deformación y tensión mediante: [Berrocal, 1998]:

$$\varepsilon_{ij}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) \quad , \quad \sigma_{ij}=\frac{\mu E}{(1+\mu)(1-2\mu)}\varepsilon_{ii}+\frac{E}{(1+\mu)}\varepsilon_{ij} \qquad (2)$$

Considerando al aluminio como material dúctil [Boresi, 1993], el criterio adoptado para evaluar la falla del material es la teoría de la máxima energía de distorsión (criterio de Huber Hencki y Von Mises) que establece que se produce la falla en el material si se satisface, [Berrocal, 1998]:

$$\sigma_{eq}=\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2]}\geq\sigma_{fl} \qquad (3)$$

donde σ_{fl} es la tensión de fluencia del material, σ_{eq} la tensión equivalente y σ_1 , σ_2 , σ_3 las tres tensiones principales [Berrocal, 1998].

Esta secuencia de cálculo se implementa utilizando el software ABAQUS 6.5 [ABAQUS Inc.] basado en el método de los elementos finitos. Este método consiste en la discretización espacial del dominio en un número finito de elementos simples (rectángulos) interconectados entre sí mediante nodos. Esta técnica permite resolver el sistema lineal de ecuaciones diferenciales (EDP) parciales dado por (1) considerando las ecuaciones que corresponden a las condiciones de contorno como un sistema algebraico dado por:

$$K_{ij}u_i = P_j \tag{5}$$

donde K_{ij} es la matríz de rigidez del conjunto y P_j el vector de cargas nodales y u_i el vector de desplazamientos nodales.
La discretización del modelo se realiza utilizando 27131 nodos que conectan 42184 elementos finitos tipo placa con 6 grados de libertad por nodo, de espesor uniforme, basados en la teoría clásica de placas delgadas [Zienckiewikz, 2005], con los que se obtiene una adecuada representación del dominio a analizar con un tamaño uniforme e incrementándose la densidad de la malla en la región donde se encuentran aplicados los vínculos. Esto permite el cálculo en forma eficiente y con la precisión necesaria.

4. Análisis de resultados

Como puede observarse en la Fig. 3, 4 y 5 la viga principal soporta la carga y se obtiene un coeficiente de seguridad N = 1,3. Su deformación máxima es de 6 mm, la cual es aceptable al adoptar la deformación máxima admisible 1-1000 (1mm por metro).
En el caso de los travesaños, la tensión máxima es de 625 Kg/cm^2 logrando un coeficiente de seguridad N= 2,7.

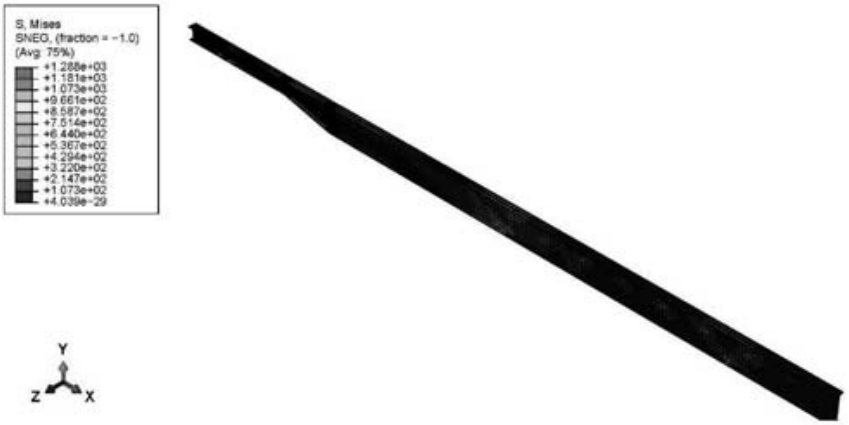


Fig 3. Detalle de los valores de esfuerzo en las vigas principales (Valores en Kg/cm^2).

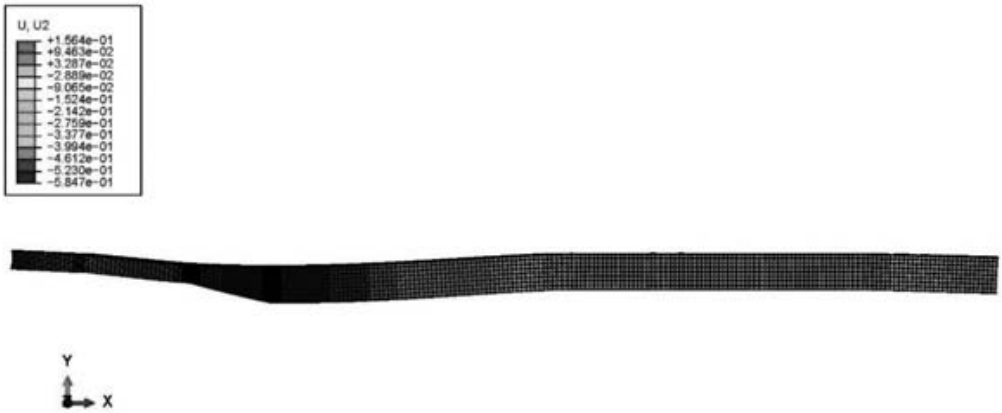


Fig 4. Valores de las deformaciones verticales en la viga principal (Valores en cm).

Fig 5. Detalle de los esfuerzos en el travesaño más solicitado (Valores en Kg/cm^2).

5. Conclusiones

Con esta estructura se obtiene un peso total de 821 Kg, lo que permite aumentar la carga transportada respecto de uno similar construido en acero comercial y disminuir el consumo de combustible y el desgaste de los neumáticos al ser más liviano al estar descargado. Deben destacarse también las ventajas respecto de una mayor vida útil y la resistencia a la corrosión en condiciones normales de uso y en ambientes altamente corrosivos, tal como se mencionó en la introducción. En cuanto a las desventajas deben señalarse el aumento del volumen de material a trabajar y el proceso de soldadura de las vigas aunque este último aspecto debería ir solucionándose progresivamente en la medida que se incorpora a las líneas de producción la tecnología necesaria para este proceso, factor que depende exclusivamente del aumento de la demanda de este tipo de equipos.

6. Referencias.

AASHTO. American Association of State and Highway Transportation Officials.

Abaqus/CAE 6.9-1. Dassault Systemes, 2009.

ALCOA 2015, www.alcoa.com/emp/endural

Boresi A.P., Schmidt R.J., y M. S.O. Advanced Mechanics of Materials. John Wiley and Sons, 5 edición, 1993.

CIRSOC 701-2013 – Reglamento Argentino de Estructuras de Aluminio (2010).

DOMEX. Catálogo DOMEX 700MC. Informe Técnico, Society American Engineering, 2000.

IRAM. Norma IRAM-IAS, 3 edición, 1998.

Ortíz Berrocal, L. Elasticidad 3 Ed. Mc Graw Hill. España (1998).

Marino, M., Costamagna, M., Tais, C., Estudio de aceros de alta resistencia para su empleo en semirremolques, Mecánica Computacional Vol XXX, pp. 91-97 (2011).

Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., The Finite Element Method, 6th Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, USA (2005).

CARACTERIZACIÓN DE ELECTROLIZADORES.

Viviana A. Venturino, María Verónica Lare, Facundo Gras
Facultad Regional Concordia – Universidad Tecnológica Nacional (UTN – FRCon)
e-mail: hidrogeno@frcon.utn.edu.ar

Resumen

El objetivo de este trabajo es la identificación y caracterización de equipos generadores de hidrógeno (electrolizadores) de potencia industrial, vía electrólisis de agua, de tecnología adecuada para el funcionamiento a potencia variable y/o intermitente. Conforme al estudio de la factibilidad técnica de la producción de hidrógeno electrolítico, por medio de excedentes hídricos estacionales no comercializados o despachados a la red y solar fotovoltaica como energía primaria, en pos de solucionar los problemas que acarrea la demanda energética en horas pico existentes en nuestra región. Para ello, se requerirá de una tecnología precisa de electrolizadores que puedan operar a tanto a potencia variable como intermitente y así obtener una calidad del producto con determinada pureza, apto para la reconversión en energía eléctrica, vía celdas de combustible (Fuel Cells), la cual será inyectada a la red de distribución atendiendo a las exigencias del sistema, suavizando la curva de carga. Para lo cual, se requerirá de una "Smart Grid" (SG) para el correcto gerenciamiento del sistema eléctrico. Actualmente, la industria de la fabricación de electrolizadores ha conseguido una fuerte evolución, que podría facilitar el uso de las renovables directamente acopladas al electrolizador, como sería el caso aplicable a nuestra región.

Palabras Claves: electrolizadores, potencia variable, potencia intermitente.

Introducción

Desde hace algunos años nuestro país viene sufriendo problemas en el abastecimiento de energía eléctrica, ocasionadas por el desfasaje entre Generación vs. Demanda. Estas crisis dentro del sector eléctrico han llevado a una fuerte consideración sobre el estudio de otras fuentes de generación, lo cual consiste en la implementación de fuentes renovables, es decir, uso de fuentes renovables dentro de la matriz energética nacional. Esto último, por las características particulares de estas fuentes, técnicamente hablando, intermitencia y/o fluctuaciones e impredecibilidad causado por el recurso primario del cual dependen para la generación de energía eléctrica, como es el viento y el sol. Esto hace de que la implementación de la energía solar y eólica, no sea de aplicación directa de la tecnología, para ello se requiere de una adecuación y/o modificación de la red actual de transporte de la energía, tanto en lo físico-técnico, como seria los aspectos de ingeniería propiamente dicho, sino también, desde un aspecto operativo sobre el despacho, lo que involucra trabajar sobre un nuevo sistema de medición, esto sería a tiempo real, provocando nuevos conceptos que abarcan desde la operación y despacho hasta el mercado energético. Es decir, la implementación de un gerenciamiento inteligente de la red eléctrica (Smart Grid) es una requisitoria para la incorporación de las fuentes renovables en la matriz energética nacional. Desde un aspecto técnico desde las operaciones del despacho, contar con una reserva (Backup) es de fundamental importancia para lograr la estabilidad y seguridad del sistema eléctrico. Para ello la posibilidad de generar hidrógeno electrolítico, con excedentes hídricos no despachados y energía solar fotovoltaica, acumularlo para luego ser reconvertidos y despachados a la red en la las horas picos, por medio de celdas de combustible hidrógeno (Fuel Cells); daría como resultado, satisfacer a la demanda y lograr estabilidad en sistema que ocasionarían los niveles de penetración de los distintos grupos generadores de origen renovables [1], que recientemente han adquirido una definida participación dentro del mercado eléctrico de nuestro país.

Objetivos

Identificar, por medio de la clasificación y caracterización de generadores de hidrógeno, los generadores más apropiados para la utilización con fuentes de energía de origen renovables, es decir, potencia variable y/o intermitente. Los niveles de potencia a considerar son industrial, por encima de los 100 kW nominales.

Proceso de electrólisis.

Nomenclatura

ΔG =	$237\,kJ/mol$		Entalpía libre de reacción .
F =	$96494\,As/mol$		Constante de Faraday .
Ä =	$0{,}01036\,mgr/As$		Equivalente electroquímico del Hidrógeno.
ρ_H =	$0{,}08988\,kg/m3$		Densidad de Hidrógeno.
L_{HV} =	$10{,}8\,MJ/m3$	$(3{,}086\,kWh/m3)$	Poder Calorífico Inferior del Hidrógeno.
U_{th}	Volt		Diferencia de potencial standard de electrodo
m_{H2}	mgr		Masa de la producción generada por electrólisis
I_{op}	A		Corriente de operación.
t sec			Tiempo
V_{H2C}	ml		Volumen de Hidrógeno generado por celda.
V_{th}	m^3/h		Volumen calculado.
η_{el}			Eficiencia del electrolizador.
P_e	kW		Potencia de alimentación del electrolizador.
C			Número de celdas del equipo seleccionado.

Cálculo teórico de la tensión en la celda que es es el mínimo voltaje requerido para iniciar el proceso de electrólisis, viene definido por la ecuación (1)

$$U_{th} = \Delta G / F = 1{,}228\,V \qquad (1)$$

Cálculo del volumen teórico, ecuación (4), Ley de Faraday:

$$m_{H2} = Ä * I_{op} * t \qquad (2)$$

$$V_{H2C} = m_{H2} / \rho_H \qquad (3)$$

$$V_{th} = V_{H2C} * c \qquad (4)$$

Para ejemplificar la metodología de cálculo, inicialmente se consideró un período de tiempo de 120 seg en ecuación (2) y luego se lo extendió a una hora, para calcular los volúmenes específicos, ecuación (3), correspondientes a las distintas variaciones de corriente.

Eficiencia del Electrolizador

En la ecuacion (5) se considera el Poder Calorífico Inferior del Hidrógeno (LHV) [2] , por ser la mínima cantidad de energía utilizada en el proceso de electrólisis para producir gas H_2.

$$\eta_{el} = V_{th} * L_{HV} / Pe \qquad (5)$$

La cinética de las reacciones

Los fenómenos cinéticos de las reacciones electroquímicas, tienen lugar en la superficie de los electrodos, donde se producen puntos de “triple contacto“, por concurrir allí tres diferentes estados de agregación (sólido-líquido-gaseoso).Las distintas reacciones que ocurren sobre estas superficies, son de naturaleza diversa, y todas contribuyen a la generación de pérdidas irreversibles, llamadas de polarización, sobrevoltaje o sobretensión. Entre las distintas fuentes de estas pérdidas, pueden citarse:

1. La influencia de la temperatura sobre los procesos de catálisis, llamados “de activación catalítica“, donde un incremento en este parámetro activa otras reacciones, generando subproductos. Con un aumento de temperatura favorecemos a los procesos catalíticos reduciendo, de esta menera, los sobrevoltajes pero con la consecuencia de acelerar la degradación de los materiales. Mediante la Ecuación de Entalpía Libre resulta posible calcular la dependecia con la temperatura, que en el caso de electrólisis de agua es de $-0{,}85\, mV/ºK$.

2. La concentración de sobretensión, causada por procesos de difusión, por gradiente de presión, y por porosidad de los materiales (de acuerdo con la Teoría de Difusión de los Gases), y que produce cambios en los valores admisibles de permeabilidad de la membrana.

3. La reación de sobretensión, que aparece inicialmente cuando se producen reacciones químicas simultáneas, cambiando las características de la interfase electródica, con el correspondiente cambio en las condiciones de operación.

4. La resistencia eléctrica, presente también aquí por las existencia de materiales de carácter resistivos en la celda electrolítica.
   Los factores mencionados anteriormente contribuyen a las pérdidas por sobrevoltaje, lo que manifiesta que la característica lineal existente entre la corriente y la tensión aplicada difiere en la realidad, convirtiéndose en una nueva característica no lineal de acuerdo a la Fig 1.

La relación que vincula a la corriente actuante con las pérdidas, es la Ecuación de Tafel (6). De la misma se pueden obtener los valores de la variaciones de potencial expresando las pérdidas [2] y en donde *a y b* son constante que dependen de los materiales.

$$n_D = a + b * \log(i) \qquad (6)$$

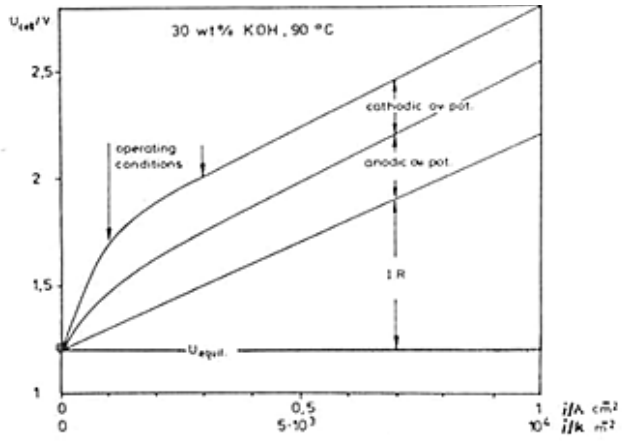


Fig.1 Correlación entre el voltaje de celda y densidad de corriente para electrolizadores. La resistencia interna es aproximadamente de $1\,\Omega cm^2$

Metodología

Se realizó una búsqueda explorativa sobre la oferta de los distintos fabricantes proveedores de electrolizadores a potencia variable y nivel industrial [3] [4].

El estudio se enfoca sobre dos tecnologías de electrolizadores, alcalinos de baja presión (Fig.2) y PEM (Proton Exchange Mambrane) (Fig. 3), este último posee electrolito sólido, en vez de líquido como es el alcalino, lo que facilita y reduce los costos de instalación.
Estas dos tecnologías están actualmente, y en continuo desarrollo, siendo implementados en sistemas de generación de hidrógeno con fuentes primarias intermitentes y/o variables, directamente acopladas a las mismas. Lo cual es posible mediante, la combinación de los nuevos diseños del generador en si sumado a las nuevas estrategias de operación de los mismos, “Power

to Gas"[5], nuevo concepto que involucra diseño y gerenciamiento[6], dando como resultado estabilidad de la red de energía con altos niveles de penetración de fuentes renovables, aprovechamiento de la red de gas natural y generación de hidrógeno a gran escala y más competitivo como combustible, al poder operar unidades de generación por encima de los 500 kW de potencia, la cual es variable, sin comprometer la vida útil del equipo y generando un producto de alta pureza, útil para la reconversión en energía eléctrica.

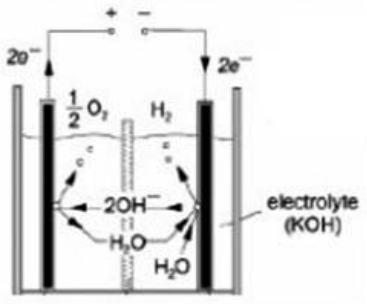


Fig. 2 - Electrolisis alcalina

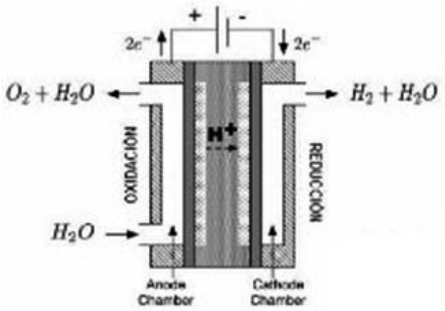


Fig.3- PEM - Proton Exchange Membrane

Dentro del rango de operación, electrolizadores alcalinos atmosféricos (hasta 60 bar), que es del orden y común a todos los fabricantes, va del 16% al 100% de su potencia nominal la operación a potencia variable o intermitente es posible[7],siempre y cuando se controlen los parámetros determinantes del proceso (electrólisis) presión y temperatura; por debajo de ese 16%, el nivel de oxígeno en el lado de hidrógeno aumenta considerablemente, lo cual también es peligroso por la formación de mezclas peligrosas, que hace que la pureza de hidrógeno generado disminuya convirtiendo en no apto para la reconversión por medio de celdas de combustibles.
Asociado a los fenómenos de transferencia de masa, es la presión diferencial, generada sobre ambos lados de la membrana (de intercambio iónico polimérica, comercialmente Zirfon@) que producen una fatiga sobre la misma y un rápido deterioro de ésta. Actualmente [8] se están desarrollando membranas con nuevos materiales y estructuras (porosidad y rugosidad) que las hacen más resistentes y altamente permeables a los iones ^-OH (disminución pérdidas resistivas), por consiguiente, se trata de lograr mayor estabilidad, tanto a los esfuerzos mecánicos como a la agresión química, ya que el medio es de KOH, normalmente trabajando al 25 a 40%w.

En términos de eficiencia del electrolizador, donde están presentes o contempladas todas las pérdidas que se producen en la maquina; están regidas por la ecuación Tafel. Donde se ve claramente que las pérdidas llamadas óhmicas se pueden reducir utilizando una configuración del Stack, o tipo de generador, bipolar (Fig. 5) y "Zero-Gap" [9] (Fig.6) en donde se dispone de platos, de un lado catado y del otro ánodo, en medio el separador o membrana, en disposición tipo filtro prensa [10]. Esto hace que la distancia interelectródica sea la mínima y así disminuyen las pérdidas óhmicas, cosa que no ocurre en un stack monopolar (Fig.4), utilizados en operación continua.

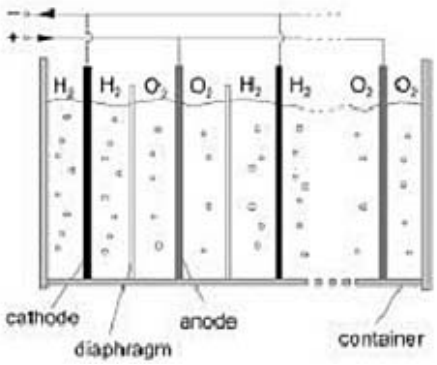


Fig. 4- Monopolar

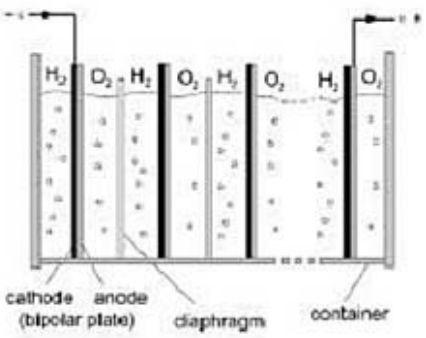


Fig. 5- Bipolar

Principio de diseño de electrolizador alcalino

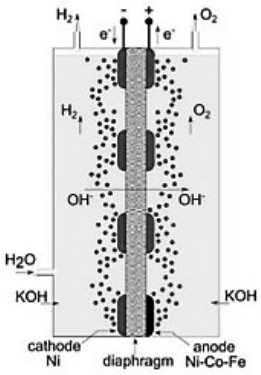


Fig. 6 - Geometría Zero - Gap

Los sobrepotenciales, asociados con la disminución de la superficie de los electrodos, causado por el acumulamiento de "burbujas", producen una fuerte caída de la eficiencia, dando como resultado más requerimiento de energía para inicia el proceso. Este fenómeno, muy estudiado, se ve mitigado con tratamientos superficiales de los electrodos y nuevos materiales empleados en las aleaciones, más económicos y no del grupo de Pt, los cuales son muy costosos. Industrialmente el Raney Ni es el material preferido por los fabricantes, a los cuales recientemente se les ha hecho tratamiento superficial por plasma[11], por ejemplo, con especies (Wolframio, tierras raras, Ir) que aumentan la actividad catalítica, capaces de iniciar el proceso con menor energía. Conjuntamente, la utilización de un sistema de recirculación de electrolito, favorecería el desprendimiento de las capas de burbujas que disminuyen la superficie electródica, a la vez de mantener la homogeneidad del fluido, favoreciendo la transferencia de masa, pero este sistema aumenta los costos de implementación, en la mayoría de los equipos la recirculación se realiza por convección natural, es más económico.

La operación intermitente, para estos electrolizadores con materiales de electrodos que superan los 400 micro Amper/cm^2, corrientes de colector elevadas, materiales poliméricos de alta resistencia en el armado del Stack (arquitectura), Zero-Gap, membranas de alta performance y todo en cuanto a diseño electromecánico se refiere, en pos de aumentar la eficiencia refiere[12], aún hoy día esta tecnología ofrece algunos inconvenientes, sobre todo en "stand by" y numero de ciclos "on/off ", estipulado por cada fabricante. Bajo el ciclo "stand by" aparecen perdidas relacionadas con la temperatura ya que la maquina se debe mantener con cierta temperatura y presión. Por efecto de la frecuencia eléctrica, en los ciclos de "on/off", se produce una degradación del electrodo positivo de Ni, con la consecuente destrucción de la superficie activa del mismo. En el ciclo de carga (turned On), se presenta la formación de NiOOH para luego reducirse $Ni(OH)_2$ en el ciclo "turned Off", la velocidad de repetición conlleva a la destrucción del electrodo. Algunos fabricantes proponen aditivos como el molibdeno para conservar el voltaje de electrodo y prevenir la degradación.
Como consecuencia, la operación continua es la mejor opción, por ende el concepto de Power to Gas, asegura de alguna manera esta continuidad en la operación del electrolizador. Algunos fabricantes proveen módulos de electrolizadores, por niveles de energía, los cuales se pueden ir incorporándose de acuerdo a la generación renovable a tiempo real.

Los electrolizadores tipo PEM operando a potencia variable, entre el 10 y el 100%, se puede decir que no presentan problemas en cuanto potencia variable y/o intermitente, ya que esto poseen electrolito sólido, por ende todos los fenómenos asociados con la transferencia de masa desaparecen, el inconveniente en este punto son los ciclos "on/off", que reducen rápidamente el ciclo de vida que de por si es más corto que en el caso de los alcalinos atmosféricos [13]. Otro inconveniente es el costo de fabricación, por poseer materiales del grupo Pt, razón por la cual, no se fabrican a nivel industrial, aproximadamente hasta 50 kW, aunque actualmente Siemens propone equipos PEM de más potencia en el corto plazo.

Conclusiones

De lo visto anteriormente, donde se ha logrado un acople directo entre electrolizador y fuentes primarias renovables, conforme a los nuevos diseños de Stack, nuevos materiales y novedosas estrategias de operación del electrolizador, se puede ver que los equipos utilizados a nivel industrial o de gran porte son los "electrolizadores alcalinos atmosféricos", con determinados conceptos de diseño (Zero-Gap, tratamiento superficial de electrodos con materiales catalizadores, 400 micro A/cm2 o más de densidad de corriente por superficie de electrodos, mayores corrientes de colector y asociados a éstos, equipos periféricos de control potencia, temperatura, presión, porcentaje de KOH, velocidad de fluido de electrolito, etc., es decir un adecuado sistema de control, lo suficientemente robusto, para mantener estable la "cinética de reacción" seguida de una respuesta dinámica, en función de la velocidad de variación de la potencia de entrada, otorgado por la fuente primaria renovable.
Si bien los equipos PEM son más versátiles, es decir menos equipos periféricos, a nivel industrial, todavía está en desarrollo y son más costosos que los alcalinos y poseen ciclos de vida más cortos. Pero en aplicaciones, de menor potencia o estacionarias, se podrían considerar, de hecho son utilizadas casi exclusivamente para esta aplicaciones.

Bibliografía

[1] Barton, John, and Rupert Gammon. "The Production of Hydrogen Fuel from Renewable Sources and Its Role in Grid Operations." Journal of Power Sources 195, no. 24 (December 15, 2010):
[2] Carl-Jochen Winter and Jochin Nitsch; Hydrogen as an Energy Carrier, Technologies, System, Economy; Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 1988, ISBN 0-387-18896-7.
[3] www.enertrag.com
[4] http://www.hydrogenics.com/technology-resources/hydrogen-technology/electrolysis
[5] Götz, Manuel, Jonathan Lefebvre, Friedemann Mörs, Amy McDaniel Koch, Frank Graf, Siegfried Bajohr, Rainer Reimert, and Thomas Kolb. "Renewable Power-to-Gas: A Technological and Economic Review." Renewable Energy 85 (January 2016): 1371–90.
[6] Gahleitner, Gerda. "Hydrogen from Renewable Electricity: An International Review of Power-to-Gas Pilot Plants for Stationary Applications." International Journal of Hydrogen Energy 38, no. 5 (February 2013): 2039–61.
[7] Ursúa, Alfredo, Luis Marroyo, Eugenio Gubía, Luis M. Gandía, Pedro M. Diéguez, and Pablo Sanchis. "Influence of the Power Supply on the Energy Efficiency of an Alkaline Water Electrolyser." International Journal of Hydrogen Energy 34, no. 8 (May 2009): 3221–33.
[8] Otero, Jesus, Javier Sese, Igor Michaus, Maria Santa Maria, Eugenio Guelbenzu, Silvia Irusta, Isabel Carrilero, and Manuel Arruebo. "Sulphonated Polyether Ether Ketone Diaphragms Used in Commercial Scale Alkaline Water Electrolysis." Journal of Power Sources 247 (February 2014): 967–74.
[9] Pletcher, Derek, and Xiaohong Li. "Prospects for Alkaline Zero Gap Water Electrolysers for Hydrogen Production." International Journal of Hydrogen Energy 36, no. 23 (November 2011)
[10] Seetharaman, Swaminathan, Subash Chandrabose Raghu, and Kambiz Ansari Mahabadi. "Enhancement of Current Density Using Effective Membranes Electrode Assemblies for Water Electrolyser System." *Journal of Energy Chemistry* 25, no. 1 (January 2016): 77–84.
[11] Chade, Daniel, Leonard Berlouis, David Infield, Andrew Cruden, Peter Tommy Nielsen, and Troels Mathiesen. "Evaluation of Raney Nickel Electrodes Prepared by Atmospheric Plasma Spraying for Alkaline Water Electrolysers." International Journal of Hydrogen Energy 38, no. 34 (November 2013): 14380–90.
[12] Kuleshov, V.N., N.V. Kuleshov, S.A. Grigoriev, E.Y. Udris, P. Millet, and A.S. Grigoriev. "Development and Characterization of New Nickel Coatings for Application in Alkaline Water Electrolysis." International Journal of Hydrogen Energy 41, no. 1 (January 2016): 36–45.
[13] Smolinka, Tom, Emile Tabu Ojong, and Jürgen Garche. "Hydrogen Production from Renewable Energies—Electrolyzer Technologies." In Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing, 103–28. Elsevier, 2015.

MONITOREO DE RADIACION NO IONIZANTE EN LA CIUDAD DE SANTA FE

Walter Gimenez y Germán González
Departamento Ingeniería Eléctrica – UTN Fac. Reg. Santa Fe
Email: wgimenez@frsf.utn.edu.ar

Resumen – El trabajo muestra a partir de un análisis de frecuencia en el intervalo de 75 a 3000 MHz cuáles son las frecuencias más intensas en la ciudad de Santa Fe, luego se comparan los valores medidos con la normativa y se analiza la contribución de cada uno de los servicios más habituales (FM, TV, telefonía, etc.) a la contaminación por campos electromagnéticos en la vida cotidiana. Se intenta demostrar que no siempre lo que uno cree saber es así, a partir de una medición representativa de las muchas realizadas.

1. Introducción

Cuando las personas utilizan la palabra "radiación", sea producida por transformadores, antenas, hornos a microondas o una fuga en una instalación nuclear; cometen una generalización involuntaria. La creencia de que toda radiación es mala puede tener su origen en la radiación causada por las bombas atómicas de la Segunda Guerra Mundial pero siempre hubo, hay y habrá radiación, por ejemplo la solar. Entonces, ¿cómo puede ser que la misma radiación pueda causar la muerte a contribuir a la vida?

La respuesta está en la generalización del uso de la palabra radiación: no es igual la radiación de una antena de frecuencia modulada que la causada por una reacción nuclear. En el común de la población, la palabra "radiación" está asociada con una percepción de riesgo o algo dañino inherente a su utilización. Por el contrario, hablar de ondas o campos electromagnéticos (CEM), es similar a lo anterior pero despojado del peso de "peligrosidad" de la palabra radiación.

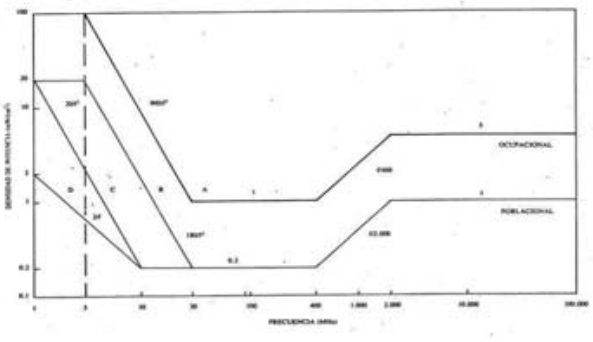
Los CEM siempre tienen una energía propia y es la cantidad de ésta energía junto con el tiempo de exposición lo que provoca que puedan ser peligrosos o no. A partir de una determinada cantidad, los CEM pueden "alterar" o "ionizar" la materia (romper la atracción del núcleo con un electrón de la órbita externa), en éste caso sí se está frente a la "clásica radiación" conocida normalmente.

Por el contrario, si los CEM no tienen la cantidad de energía necesaria, el proceso se puede reducir simplemente a una transferencia de energía entre un emisor y un receptor (proceso de calentamiento de un horno a micro ondas) que en la mayoría de los casos es imperceptible por el ser humano.

Como todas las personas, estamos inmersas en un "ambiente electromagnético" es necesario cuantificar y valorar respecto de la normativa cuáles son los niveles a los que se está sometido en la vida moderna. Para esto se presenta un análisis de los campos electromagnéticos de alta frecuencia que hay en la ciudad de Santa Fe en condiciones reales.

2. Normativa

El 16 de junio de 1995 fue promulgada la Resolución Nº 202/95 por la cual el Ministerio de Salud y Acción Social (MsyAS, 95) adopta los criterios y valores máximos fijados en el libro "*Prospección de Radiación Electromagnética Ambiental No Ionizante*" cuyo volumen 1: "*Manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 kHz y 300 GHz*" y volumen 2: "*Radiación de radiofrecuencias: Consideraciones biofísicas, biomédicas y criterios para el establecimiento de estándares de exposición*"; cuyo resumen se muestra seguidamente.



Rango de Frecuencias [MHz]	Campo Eléctrico No perturbado RMS [V/m]	Campo Magnético No perturbado RMS [A/m]	Densidad Potencia onda plana[mW/cm^2]
0,3 – 3	275	0,73	20
3 – 30	$[3764(180/f^2)]^{1/2}$	$[0,03(180/f^2)]^{1/2}$	$180/f^2$
30 – 400	27,5	0,073	0,2
400 – 2000	$1,375 \cdot f^{1/2}$	$0,0037\ f^{1/2}$	f /2000
2000 - 300000	61,35	0,16	1

Fig.1: Valores límites promedios permitidos para exposición poblacional.

En la figura anterior se observa que, para una frecuencia de 400 MHz el límite poblacional (se entiende por éste al lugar donde las personas pueden estar expuestas sin mayores cuidados y sin haber recibido información específica un tiempo ilimitado) permitido es de 0,2 mW/cm^2. Mientras que para la frecuencia de 10000 MHz el valor límite poblacional es de 1 mW/cm^2.

3. Mediciones

Los registros continuos que se presentan dependen tanto del lugar escogido como del horario, ya que no es lo mismo medir al mediodía cuando la población está trabajando que a las tres de la madrugada, por ejemplo. Para estudiar esta variación en función del horario se presenta la primera de las figuras siguientes donde resalta que en el horario entre las 16 y las 18 se incrementan levemente los valores y el perfil general se mantiene el resto de los días de la semana, figura de la derecha. Para ambas figuras, se registran valores puntuales que se destacan de la tendencia general cuyo origen es diverso y sumamente difícil de justificar.

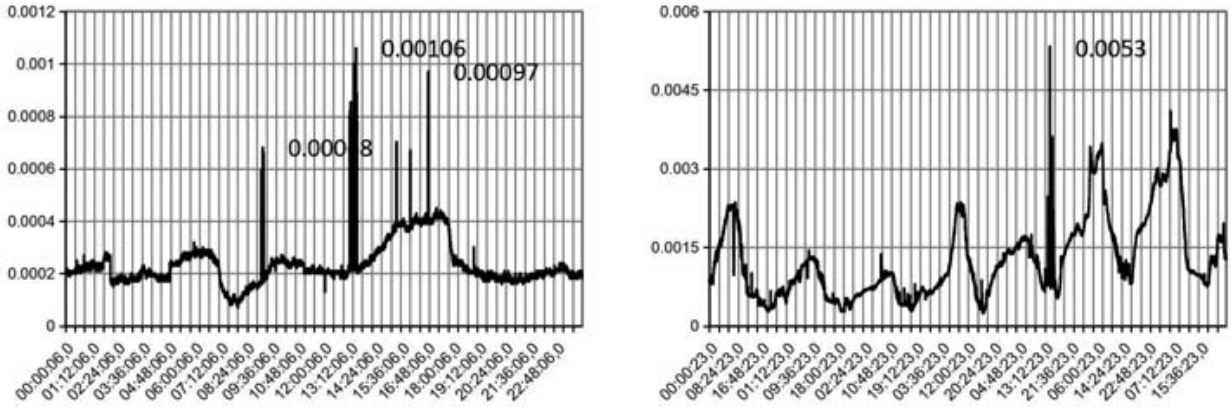


Fig.2: Evolución diaria y semanal de la densidad de potencia.

Identificado el perfil horario de la densidad de potencia en un punto, la pregunta obvia es ¿Qué es lo que se está midiendo? ¿Quién produce esté CEM? ¿Cuántas fuentes de CEM hay? ¿Cuál es la contribución de cada una de las fuentes?

Las mediciones realizadas han abarcado a toda la ciudad de Santa Fe y se eligió como representativa la realizada en el piso 10 del edificio de la Municipalidad en el microcentro de la ciudad por ser la única realizada en altura.

Fig.3: Punto de medición.

El resultado de la medición de la figura 3 puede verse en la figura 4 siendo el eje de abscisa el rango de frecuencia del instrumento de medición que es desde 75 MHz hasta 3000 MHz mientras que el eje de ordenadas es la densidad de potencia en nW/m^2.

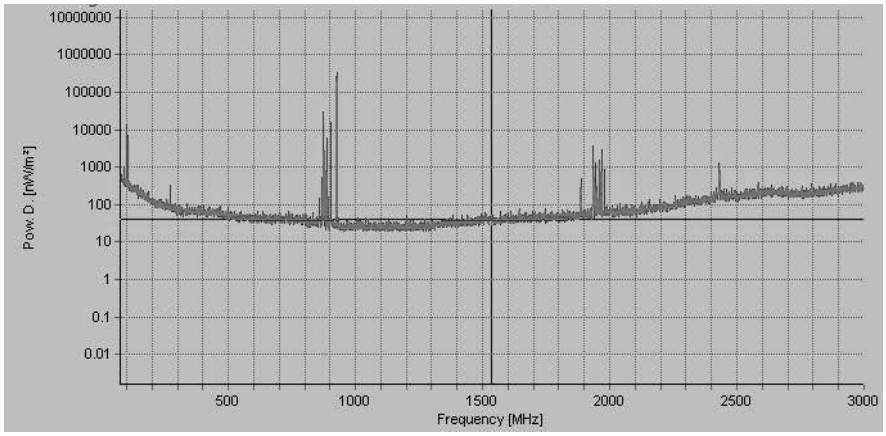


Fig.4: Evolución de la densidad de potencia en función de la frecuencia.

Analizando la figura 4, se intuye como una línea de base que permanece casi constante independiente de la frecuencia destacándose cuatro zonas donde ésta se separa de la tendencia general. Entonces, ¿cuáles son las fuentes de CEM que producen estas frecuencias? La primera de ellas, tal vez, sea fácil de identificar (bien a la izquierda de la figura 4), la región de 100 MHz es la que usan las radios FM para transmitir y es posible "ver" cuál de ellas tiene mejor señal, un ejemplo de ello es la figura siguiente para las doce intensidades mayores para las cuales se ve el número de orden, la frecuencia y la intensidad de la señal.

Index	Frequency	Level
1	102.39 MHz	2.325 µW/m²
2	94.95 MHz	574.0 nW/m²
3	104.90 MHz	479.2 nW/m²
4	105.90 MHz	451.7 nW/m²
5	91.10 MHz	410.6 nW/m²
6	93.05 MHz	397.8 nW/m²
7	89.19 MHz	388.2 nW/m²
8	100.04 MHz	359.1 nW/m²
9	106.97 MHz	302.8 nW/m²
10	98.33 MHz	291.2 nW/m²

Fig.5: Detalle de las señales más intensas en la región de las FM.

Los dos "picos" siguientes son las frecuencias que usan los teléfonos celulares alrededor de 850 y 1900 MHz; más precisamente para la primera región, se puede hacer aún un mejor análisis, el de la figura 6, en donde se aprecian las regiones asignadas a cada compañía de telefonía celular en la banda de 850 MHz para emisión y recepción de señal.

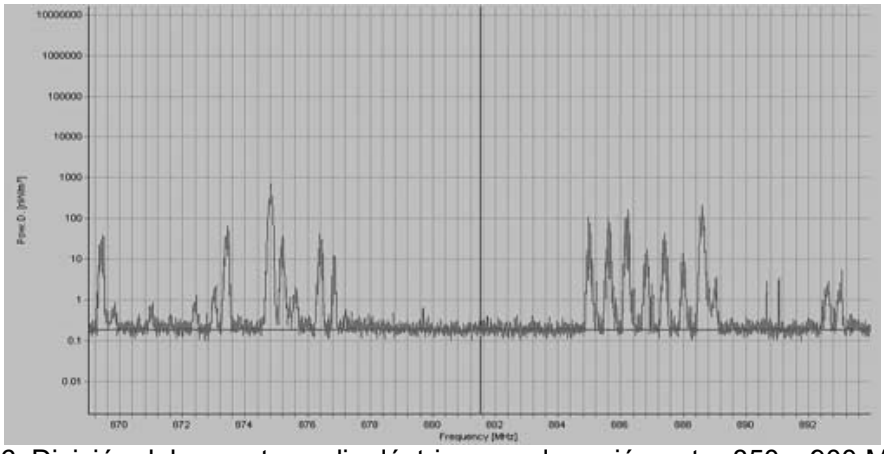


Fig.6: División del espectro radioeléctrico para la región entre 850 y 900 MHZ.

Index	Frequency	Level
1	874.83 MHz	731.4 nW/m²
2	874.81 MHz	612.3 nW/m²
3	874.87 MHz	358.2 nW/m²
4	874.78 MHz	303.8 nW/m²
5	874.76 MHz	286.0 nW/m²
6	888.61 MHz	211.6 nW/m²
7	874.73 MHz	210.1 nW/m²
8	886.24 MHz	161.4 nW/m²
9	874.89 MHz	131.2 nW/m²
10	886.18 MHz	124.5 nW/m²

Fig.7: Detalle de las diez señales más intensas en la región entre 850 y 900 MHZ.

Para identificar el cuarto pico de la figura 4 debemos recurrir a tablas y figuras que representan la división del espectro radioeléctrico como el de la figura 8, en donde para cada frecuencia hay una utilización específica y única del espectro.

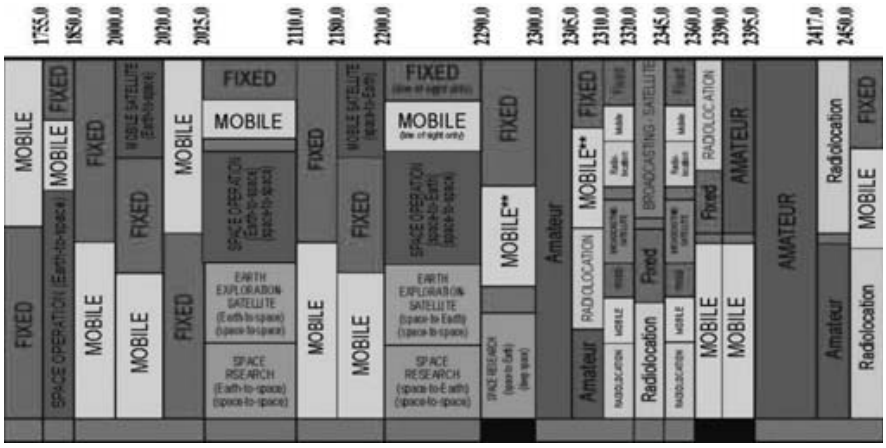


Fig.8: División del espectro radioeléctrico para la región entre 1755 y 2450 MHZ.

El análisis realizado, se puede repetir para cada región del espectro que interese o que presente un comportamiento particular con el grado de exactitud que el equipo otorgue, pero no se debe perder de vista el objeto del trabajo que es evaluar cuál es la contribución de cada una de las fuentes de CEM al ambiente. En este sentido, la figura 9 muestra la clasificación de las diez mayores intensidades en el rango de frecuencias desde 75 MHz hasta los 3 GHz.

Index	Frequency	Level
1	926.44 MHz	351.6 µW/m²
2	874.69 MHz	35.09 µW/m²
3	902.40 MHz	16.62 µW/m²
4	102.30 MHz	14.78 µW/m²
5	888.58 MHz	5.934 µW/m²
6	1936.02 MHz	3.585 µW/m²
7	1967.43 MHz	2.867 µW/m²
8	104.71 MHz	1.865 µW/m²
9	1959.14 MHz	1.642 µW/m²
10	1945.95 MHz	1.342 µW/m²

Fig.9: Detalle de las señales más intensas en la región desde 75 hasta 3000 MHz.

Si se juntan todas las frecuencias que pertenecen a cada "uso o región" del espectro y se clasifican por su intensidad, se tendrá la contribución de cada grupo al total general. La figura 10 muestra éste análisis en donde resultan ser los canales de TV del 14 al 69 los que más contribuyen al ambiente radioeléctrico con el 0,82% del valor máximo total permitido.

Service	Value	Lower Frequency	Upper Frequency
FM Radio	0.6126600 %	88.000 MHz	108.000 MHz
Paging	0.1235700 %	152.000 MHz	159.000 MHz
TV Ch. 7-13	0.4914000 %	174.000 MHz	216.000 MHz
TV Ch. 14-69	0.0213600 %	470.000 MHz	806.000 MHz
SMR Tx	0.0231000 %	806.000 MHz	821.000 MHz
Privat Ind mob	0.0037899 %	821.000 MHz	824.000 MHz
Cellular AMPS	0.0359410 %	824.000 MHz	849.000 MHz
ESMR/Land mob.	0.0269090 %	849.000 MHz	869.000 MHz
Cellular AMPS	0.0303000 %	869.000 MHz	894.000 MHz
aerontical mobl	0.0024040 %	894.000 MHz	896.000 MHz
private Ind mob	0.0053222 %	896.000 MHz	901.000 MHz
pcs narrowband	0.0010388 %	901.000 MHz	902.000 MHz
land mobile&Ham	0.0314730 %	902.000 MHz	930.000 MHz
pcs narrowband	0.0015905 %	930.000 MHz	931.000 MHz
Paging	0.0015660 %	931.000 MHz	932.000 MHz
pcs narrowband	0.0011394 %	940.000 MHz	941.000 MHz
public land mob	0.0107260 %	941.000 MHz	960.000 MHz
PCS Broadband	0.1269200 %	1850.000 MHz	1990.000 MHz
Others	3.5207001 %		
Total	5.8880000 %	88.000 MHz	1990.000 MHz
Isotropic Result			

Fig.10: Contribución de cada servicio de radiocomunicación al total general.

4. Conclusiones

El proceso anterior puede ser generalizado a cualquiera de los servicios disponibles en el espectro. Si realmente se quiere analizar la situación desde un punto de vista mucho más general, habrá que conocer cuál es el valor de densidad de potencia total que se registró durante la medición anterior ya que éste es el valor que luego debemos comparar con la normativa nacional para evaluar el nivel de exposición poblacional.

Value: 41.97 nW/cm²

Fig.11: Densidad de potencia total.

Algunas conclusiones a partir de la comparación numérica:

- ✓ La densidad de potencia total de la figura 11 está 24000 veces por debajo del valor permitido, 42 nW/cm^2 respecto de 1 mW/cm^2 que es el máximo permitido por normativa.
- ✓ Existe un nivel de base casi homogéneo del cual resaltan las gamas de frecuencias asignadas a las FM (100 MHz), telefonía móvil (850 y 1900 MHz) y uso ciudadano (2400 MHz).
- ✓ Se podría realizar un análisis por frecuencias a partir de la figura 9 pero no tiene mucho sentido debido a la aleatoriedad del uso de cada una de ellas. Es mucho más representativo

hablar de bandas o usos de frecuencias. En este sentido el "orden" de las cinco fuentes de campos electromagnéticos más representativas según la figura 10 son:

- Canales altos (14 al 69 de TV, con el 0,82% del total de 41,97 nW/cm^2).
- Radios FM (0,61 %).
- Canales bajos (7 al 13 de TV, con el 0,49%).
- Telefonía celular de 1900 MHz (0,12%)
- Servicio de búsqueda (Paging, con el 0,12%)

Independiente de lo anterior, hay que tener mucho cuidado cuando se habla de contaminación por campos electromagnéticos ya que existe una creencia especial sobre el tema en la población originado por informes que alertan sobre posibles vínculos entre CEM y cáncer o leucemia. Actualmente se está reconociendo que existen grupos de personas que poseen una sensibilidad especial respecto de los CEM que la OMS los llama como personas "hipersensibles" y que son capaces de sentir perturbaciones de CEM.

Más allá de la creencia popular, lo que sí se debe recomendar es acudir siempre a fuentes gubernamentales y de reconocido prestigio para conocer más sobre el tema de salud y su relación con los CEM.

Referencias

Resolución N° 202/95 del 16 de Junio de 1995 del Ministerio de Salud y Acción Social de la Nación por la cual se aprobó el Estandar Nacional de Seguridad para la Exposición de radiofrecuencias comprendidas entre 100 kHz y 300 Ghz.

Federal Communications Commission (FCC), Buletin 65: "Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields" August 1997.

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetics fields (up 300 GHz)".

Portela, Adolfo; Akvarca, Jorge; Matute Bravo, Edgardo; Loureiro, Luis: "Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante: Manual de Estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz". Dirección Nacional de Calidad Ambiental, Secretaría de Salud, Ministerio de Salud y Acción Social. Volumen I y II, Buenos Aires 1988.

IEEE Std C95.1 y C95.3: "IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz". 1999 Edition.

CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN INSTALACIONES DE ALTA TENSIÓN

Walter Gimenez y Germán González
Departamento Ingeniería Eléctrica – UTN Fac. Reg. Santa Fe
Email: wgimenez@frsf.utn.edu.ar

Resumen – El trabajo presenta un resumen de más de 10000 mediciones de campos electromagnéticos realizadas en estaciones transformadoras y líneas de alta tensión, desde 13,2 hasta 132 kV cubriendo la totalidad del territorio de la Provincia de Santa Fe. El objetivo fue evaluar el comportamiento ambiental de las instalaciones de energía con respecto a los criterios de exposición vigentes, realizando 4258 mediciones internas y 1402 mediciones externas en 21 diferentes EETT y 3935 mediciones en más de 70 líneas de alta y media tensión. También se incluye una comparación de los niveles de emisión de campo magnético entre un cable subterráneo y una línea aérea desnuda de 132 kV.

1. Introducción

El plan de mediciones de Campos Eléctricos y Magnéticos incluyó los producidos por líneas aéreas y subterráneas de 33 kV hasta 132 kV, tendidas en zonas urbanas y rurales e interconexiones de estaciones transformadoras de 132/33/13,2 kV localizadas en distintas ciudades como Santa Fe (Calchines, SF Centro, SF Oeste y SF Norte), Rosario (Provincias Unidas, Sorrento, Sarmiento, Saladillo, Rosario Sur y Rosario Centro), San Lorenzo, Rafaela, Reconquista, Cañada de Gómez, Esperanza, Firmat, San Justo, San Jorge, Casilda, San Carlos y Santo Tomé

También se realizaron mediciones de Campos Electromagnéticos producidos por las mismas Estaciones Transformadoras (EETT) dentro y fuera de sus playas de transformación, prestándose especial importancia a los niveles de Campo a los que se hallan expuestos tanto el personal de la Empresa como también el público en general. El objetivo fundamental fue evaluar el cumplimiento de las instalaciones respecto de la normativa existente. El único antecedente comprobable en Argentina fue un muestreo de instalaciones de alta y extra alta tensión realizado en los años 90.

El equipo de medición empleado es el EFA-3 de la marca Acterna (ex Wandel & Goltermann) con certificación de calibración realizada en país de origen vigente durante todo el período de mediciones y la técnica de muestreo fue la realización de perfiles para las líneas aéreas y cuadrículas dentro de los estaciones transformadoras.

2. Normativa

En la República Argentina se encuentra vigente la Resolución N° 77/98 de la Secretaría de Energía de la Nación (1) la cual establece: "...*se adopta el siguiente valor límite superior de campo eléctrico no perturbado, para líneas en condiciones de tensión nominal y conductores a temperatura máxima anual: TRES KILOVOLTIOS POR METRO (3 kV/m), en el borde de la franja de servidumbre, fuera de ella y en el borde perimetral de las subestaciones, medido a UN METRO (1) del nivel del suelo*." Asimismo, para el Campo Magnético dice: "...*se adopta el siguiente valor límite superior de campo de inducción magnética para líneas en condiciones de máxima carga definida por el límite térmico de los conductores: DOSCIENTOS CINCUENTA MILI GAUSS (250 mG)(25* µ*T), en el borde de la franja de servidumbre, fuera de ella y en el borde perimetral de las subestaciones, medido a UN METRO (1) del nivel del suelo*." Visto de esta forma, se puede apreciar que tales valores límites se establecen para un ambiente del Tipo Poblacional, es decir, para un ambiente donde un individuo puede estar presente las 24 horas del día y sin haber recibido información específica.

Para un ambiente del Tipo Ocupacional o Laboral, donde la presencia del individuo es limitada a cierto

tiempo durante el día, hay que remitirse a recomendaciones internacionales como la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (2), que establece: "...*exposiciones continuas a Campos Eléctricos mayores a 5 kV/m y a Campos Magnéticos mayores a 1 G no deberán ser permitidas; exposiciones a Campos Eléctricos entre 5 y 10 kV/m o a Campos Magnéticos entre 1 y 10 G deberán ser limitadas a pocas horas por día y exposiciones a Campos Eléctricos mayores a 10 kV/m y a Campos Magnéticos superiores a 10 G deberán ser limitadas a pocos minutos por día...*".

3. Metodologías de medición

El método de trabajo empleado consta de la realización de mediciones en cuadrícula dentro de la playa de transformación de cada Estación Transformadora como recorrer toda su periferia, donde pueda acceder el público en general.

Fig.1: Procedimiento de medición de campo eléctrico dentro de una ET.

Para el caso de medir los campos bajo líneas de alta y/o media tensión, se realiza un perfil de campos en el centro del vano de forma perpendicular a la traza y se miden las alturas de cada conductor. En ambas situaciones luego se realizan las mediciones bajo las condiciones de la Resolución 77/98 determinando los valores sobre la franja de seguridad y máximos para el caso de líneas y máximos y mínimos para el caso de una playa de transformación.

4. Resultados para EETT

4.1. Valores internos

La figura 2 brinda los valores discriminados por ET de los máximos valores de campo eléctrico registrados dentro de cada playa de transformación y siempre a un metro del nivel del terreno.

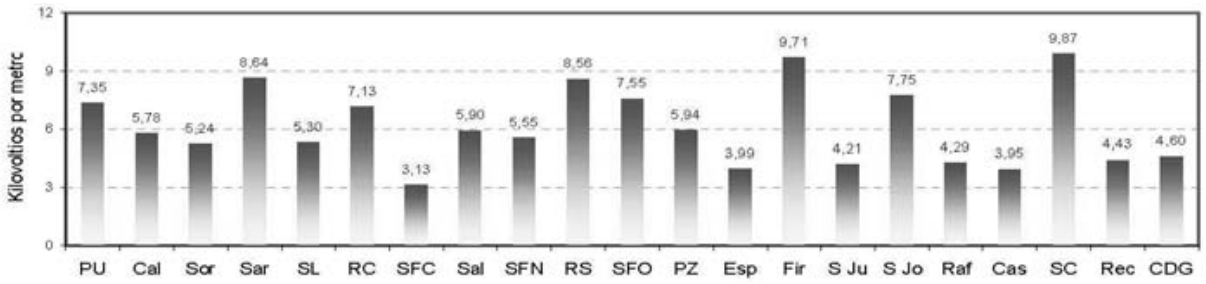


Fig.2: Valores máximos de campo eléctrico registrados dentro de cada ET.

Una primera conclusión es que todos los valores se encuentran por debajo de la recomendación de limitar a pocas horas por día el personal que trabaje dentro de la playa de transformación igual a 10

kV/m. Si nos remitimos al detalle de los valores, se puede ver que en dos ET se está muy cerca del valor anterior, otras dos están próximas y el resto, se encuentran por debajo de los 8 kV/m.

En lo que respecta al campo magnético, mostrado en la figura 3, los valores máximos medidos también se mantienen por debajo de los permitidos en la normativa.

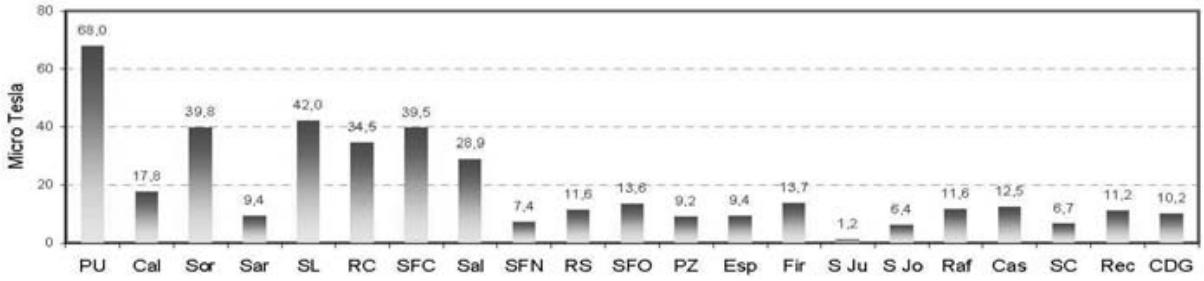


Fig. 3: Valores máximos de campo magnético dentro de cada ET.

En cuanto al valor máximo registrado para la ET Provincias Unidas cabe aclarar que se ubica muy próximo a los conductores de salida del lado de baja tensión de uno de los transformadores de potencia con lo cual es habitual encontrar tal valor en esta posición; manteniéndose muy por debajo para el resto de valores de la playa de transformación.

De la simple observación de la figura 3, es posible determinar que en el 70% de las EETT además se satisface con el valor máximo de campo magnético estipulado en la Resolución 77/98.

Si bien las figuras anteriores representan los valores puntuales medidos en cada ET, los que son útiles para identificar zonas potencialmente peligrosas, desde otro punto de vista resultan también importantes conocer los valores promedios como media aritmética, a fin de evaluar la bondad en la configuración y el diseño de la ET; estas figuras son la 4 y 5 y están a continuación.

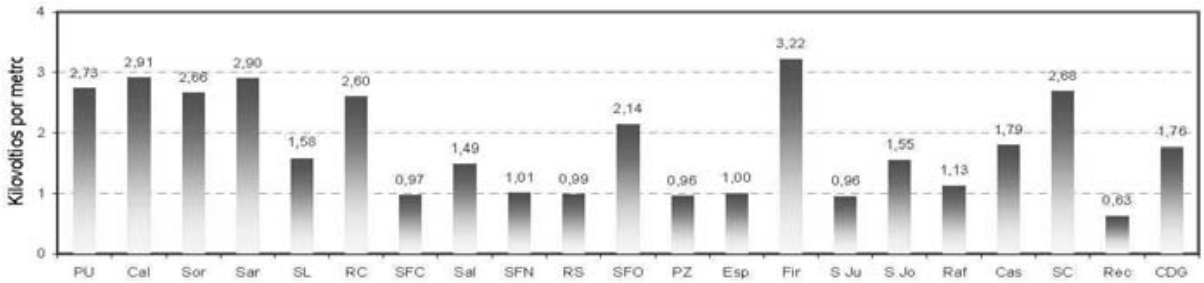


Fig. 4: Valores promedios de campo eléctrico registrados dentro de cada ET.

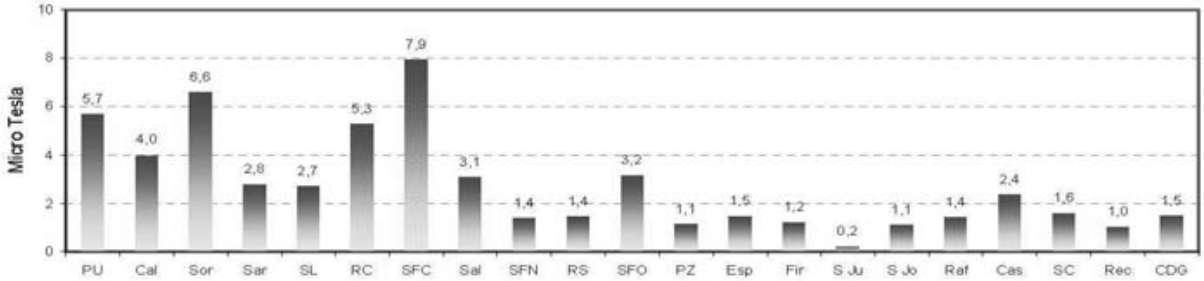


Fig. 5: Valores promedios de campo magnético registrados dentro de cada ET.

Como conclusión del análisis de las figuras 4 y 5, se puede decir que, excepto el campo eléctrico en la ET Firmat todas las EETT restantes cumplen en líneas generales con la Resolución 77/98 tanto para el campo eléctrico como para el magnético.

4.2. Valores externos

Los valores externos representan las magnitudes de campos a los que se encuentran sometidas las personas en general pudiendo estar dentro del predio de la estación transformadora o bien circulando por los límites externos de la ET. Cabe aclarar que solamente se han realizado mediciones externas en las EETT ubicadas en zonas urbanas.

Como es de esperar, los valores máximos siempre se presentan en el lugar de entrada/salida de las líneas aéreas de 132 kV, tal cual lo observado en la figura 6 donde las EETT Sarmiento (Sar) y Santa Fe Centro (SFC) son las únicas donde la totalidad de las acometidas son subterráneas.

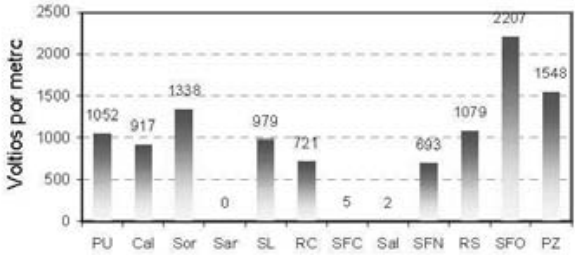


Fig. 6: Valores máximos de campo eléctrico externos.

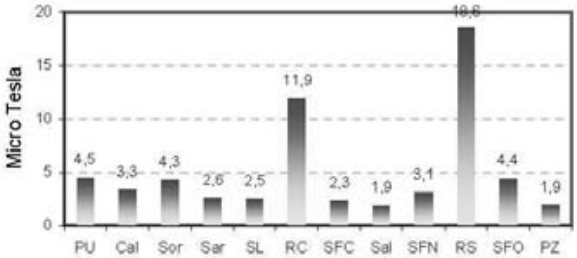


Fig. 7: Valores máximos de campo magnético externos.

Por otro lado, los valores elevados de campo eléctrico en las EETT Sorrento (Sor), Santa Fe Oeste (SFO) y Pay Zumé (PZ) así como el campo magnético en ET Rosario Sur (RS) se encuentran ubicados dentro del predio de la propia estación transformadora donde no puede acceder el público en general.

5. Resultados en líneas de alta tensión

Las mediciones debajo de líneas de alta tensión fueron realizadas en el sitio de menor separación entre el suelo y el conductor inferior y siempre escogiendo uno de los primeros vanos próximos a cada ET.

Para cables subterráneos fue suficiente localizarlo en las inmediaciones de la estación y siempre se realizaron las mediciones en veredas de hogares por donde pasa el cable. Los resultados se pueden ver en las figuras 8 y 9 siguientes.

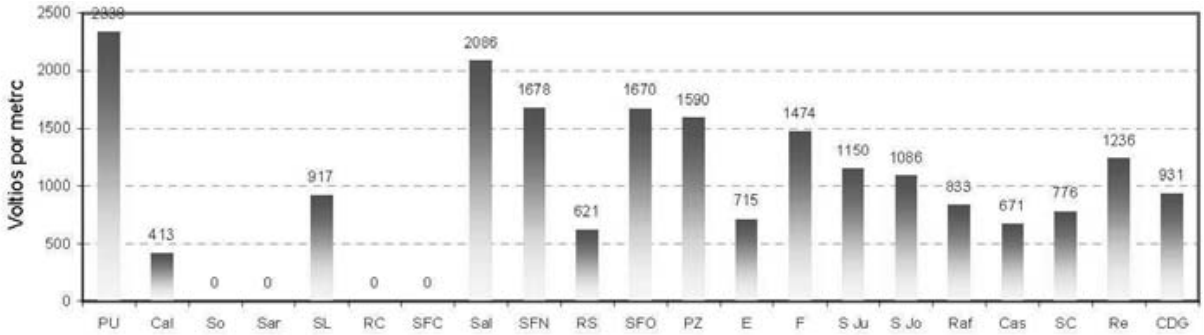


Fig. 8: Valores máximos de campo eléctrico registrados en las acometidas de cada ET.

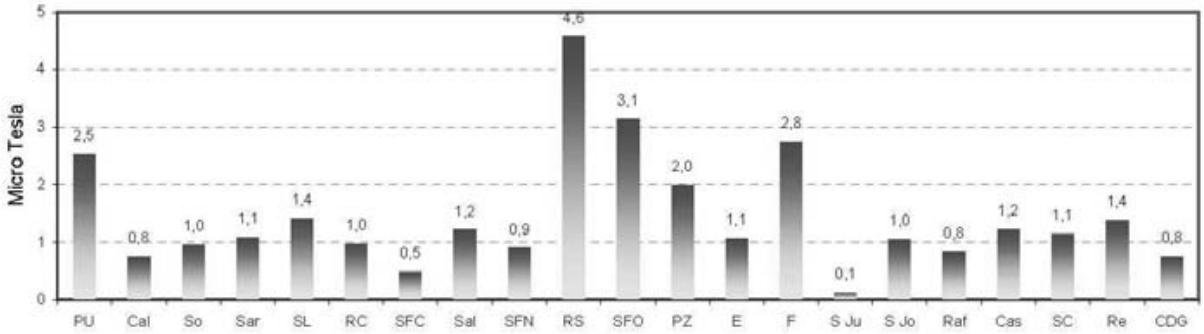


Fig. 9: Valores máximos de campo magnético registrados en las acometidas de cada ET.

En la figura 9 se puede que el máximo valor corresponde a la ET Rosario Sur (RS) y se encuentra ubicado justo debajo de cuatro líneas de 132 kV que corren de forma paralela alejándose de la ET.

6. Cable subterráneo o línea aérea

Si se comparan valores realmente medidos hay que tener en cuenta la disposición que presentan tanto la LAT como el cable subterráneo. Algunos datos:

- ✓ Tres cables unipolares de aislamiento húmedo del tipo “OF” transportando 95 A cada fase, en disposición coplanar horizontal con 2 diámetros de separación entre cada una de las fases a una profundidad de 2,5 m aproximadamente, generan un campo magnético a 1 m del piso de 0,24 µT. En cambio una línea aérea en disposición triangular con alturas de 10,22 m, 10,49 m y 12,65 m separadas 4 m horizontalmente; llevando 105 A genera a 1 m del piso un campo de 1,32 µT.
- ✓ Del mismo modo, tres cables unipolares de aislamiento seco del tipo “XLPE” enterrados 1,5 m separados dos diámetros entre sí con una corriente por fase de 260 A originan a 1 m del suelo 0,754 µT. En cambio una LAT en disposición triangular a 11,03 m, 12,59 m y 14,20 m separadas 3 m horizontalmente transportando 255 A por fase da origen a un campo que asciende a 1,09 µT.

En cambio, si se utiliza un programa de cálculo de CEM (3,4): tres cables unipolares de 630 mm tipo “XLPE” enterrados 1,9 m llevando 780 A en comparación con una línea simple coplanar vertical, tipo “line post” llevando la misma corriente y el conductor inferior a 9 m de altura; se puede observar seguidamente que la conclusión es contraria a la obtenida en el párrafo anterior.

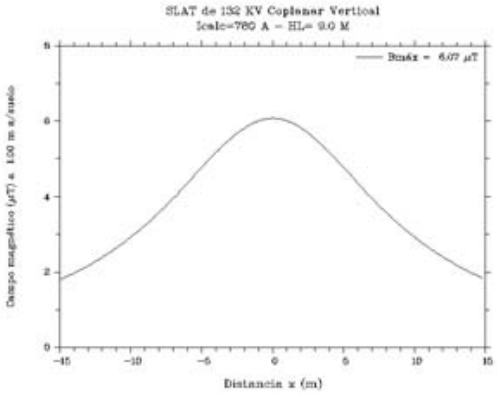


Fig. 10: Campo magnético de la LAT

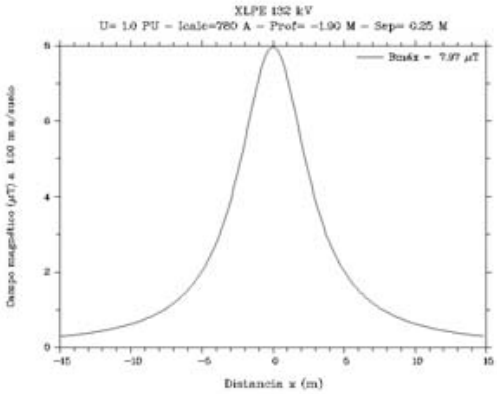


Fig. 11: Campo magnético del cable

Por lo tanto, existe una combinación de factores (alturas, corrientes, separación y profundidad) que deben ser tenidos en cuenta a la hora de analizar cual disposición será la que más reduce los CEMs.

7. Conclusiones

Si bien todas las EETT que han analizadas satisfacen la Resolución 77/98 respecto a los niveles de campos electromagnéticos, se pueden mencionar una serie de mejoras que son factibles de realizar con el fin de reducir tales campos.

- ✓ Para el campo eléctrico:
  - Habría que aumentar el despeje de los conductores justo sobre el cerco perimetral de entrada/salida de las LATs.
  - Sería deseable instalar algún tipo de pantalla entre tales conductores y el cerco en caso de verse imposibilitada la primera medida.
  - Donde se verifiquen que las partes con tensión de algún componente de la playa está por debajo de la altura promedio de los elementos restantes, hay que aumentar la cantidad de los conductores de conexión hacia la malla de puesta a tierra ya que esta práctica hace disminuir el valor del campo eléctrico en la región.
- ✓ Para el campo magnético:
  - Hay que evitar que todos los conductores del lado de BT entre el transformador de potencia y la sala de celdas circulen por el mismo lugar o por el mismo conducto subterráneo en especial cuando hay varias ternas o más de un transformador. Esto provoca que elevados campos magnéticos se trasladen fuera de la playa de la ET por donde transcurren los conductores. La disposición ideal sería llevar cada terna o grupo de subconductores formando una terna, por separado y por distintos conductos.
  - En ningún caso se debe proteger o tapar tales conductos con chapas o placas magnéticas.
  - Lo anterior también es deseable justo en la acometida del borne o barra del secundario del transformador con los conductores que van a sala de celdas.
- ✓ Para ambos campos:
  - Se deberá en lo posible limitar la circulación de personas donde se verifiquen incrementos elevados o bien alertar sobre su presencia.

En caso de poseer programas de cálculo para estimar los campos electromagnéticos que generan instalaciones de energía, siempre hay que corroborar su funcionamiento con mediciones reales realizadas en el terreno con el fin de evaluar las posibles disidencias; habida cuenta de lo descripto en la comparación entre una línea aérea y el cable subterráneo.

Referencias

(1) Resolución N°77/98 de la Secretaría de Energía del Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos.
(2) ICNIRP Guidelines: “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)
(3) EPRI (Electric Power Research): “Transmission Line Reference Book 345 kV and Above (Red Book)”. EPRI Institute, second edition, Palo Alto, California, USA, 1987.
(4) Turbay, Julio; Hevia, Orlando: Programa “CORONA” para el cálculo de campos electromagnéticos y otros efectos causados por líneas de Alta Tensión. U.T.N. Fac. Reg. Santa Fe, versión año 2000.

DISEÑO DE UN ELECTRO-FLOCULADOR PARA LA ELIMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA

Yonni ,F[1] , Coky P.[2]

[1]UCA, FCFI Av. Alicia Moreau de Justo 1500, C1107AAZ .CABA, Argentina, Tel: +54-11-4338-0743

[2]UTN, FRGP Av. Hipólito Yrigoyen 288, 1617 Grl. Pacheco, Buenos Aires, Argentina, Tel: +54-11-4740-5040, electrica@frgp.utn.edu.ar

Resumen

En el siguiente trabajo se presenta el inicio del desarrollo de un prototipo que utiliza la técnica de electrofloculación para la remolición de arsénico en aguas de consumo humano, en conjunto con las investigaciones realizadas sobre diferentes parámetros del proceso como distancia entre electrodos y densidad de corriente. Los resultados obtenidos hasta el momento, permitieron definir la distancia entre electrodos de 2 cm para una floculación eficiente y mediante observaciones con microscopio, no se observaron variaciones físicas en los flóculos obtenidos al variar la densidad de corriente manteniendo constante la cantidad de carga transportada. En cuanto al diseño, se optó por una disposición radial de los electrodos para para generar una distribución de campo uniforme, utilizando un tubo plástico como base de 50mm de diámetro, en donde se monta una varilla de hierro de 10mm de diámetro como ánodo de manera concéntrica y una placa de cobre de 0,5mm de espesor rodea la pared del tubo. En pruebas en el primer floculador se lograron reducir concentraciones de arsénico de 0,25 a 0,005mg/L, con corrientes del orden de los 50 mA. El ensayo del prototipo a lo largo de un mes mostró que la oxidación en el ánodo produce una variación en la resistencia lo cual hace necesario utilizar con una fuente de tensión regulable que trabaje entre los 0 a 3v.

Introducción

La contaminación de aguas para consumo humano con arsénico es uno de los grandes problemas de salud que enfrenta la región. Dada su naturaleza altamente electronegativa, su adhesión a las moléculas de agua impide que sea un contaminante de fácil remolición, poniendo en una condición de vulnerabilidad a todos aquellos habitantes que no posean redes de agua corriente con su correspondiente tratado y deban abastecerse de manera directa a la fuente de agua. El número de afectados ronda los 4 millones de habitantes en la Argentina. [2]

Es así, que es primordial enfocar parte de la investigación aplicada al estudio y desarrollo de técnicas de eliminación de arsénico que puedan ser capaces de operar *in situ*, garantizando su eliminación y posibilitando su uso a personal no necesariamente capacitado.

Con objeto de colaborar a la lista de técnicas de mitigación de arsénico, la técnica de electrofloculación, surge como una nueva opción a esta problemática. Tiene la ventaja frente a la floculación química, de lograr eliminar arsénico tanto en estado de oxidación V como III [3]. Posee la desventaja de requerir de un suministro de energía eléctrica, pero esto puede ser mitigado mediante el uso de generación eléctrica *in situ*, como eólica o solar, o mediante baterías de automóvil.

El principio de funcionamiento de esta técnica, se basa en generar iones de hierro en el agua, los cuales absorben el arsénico formando *flocs*, que pueden ser removidos fácilmente mediante cualquier tipo de separación física de fases como filtración, decantación o centrifugado. [3]

Con el objetivo de formar recursos humanos y afianzar el conocimiento necesario para poder aplicar esta técnica, se comenzó realizando ensayos en un electrofloculador básico, de dos electrodos planos y paralelos, variando la distancia y relación de superficie para confirmar las conclusiones.

Como la influencia de la densidad de corriente a un está en discusión en los trabajos científicos presentes [4] se analizó también la variación de características físicas en los flóculos debido a esta.

Luego de esto, los datos relevados sirvieron para el comienzo del diseño de un floculador que cumpliera con las exigencias del proyecto, es decir, sea de fácil manipulación para personal no técnico, y que dentro de lo posible, pueda armarse con piezas comerciales estándar.

El desarrollo del floculador permitió además observar el funcionamiento del proceso electroquímico en tiempos prolongados, visualizándose efectos que en el corto plazo no era posible observar como la variación de la resistencia eléctrica total del sistema.

Desarrollo

Variación de la distancia

En primer lugar, se realizaron pruebas de laboratorio montando electrodos de iguales dimensiones (7,0x1,0 cm y 1,4 mm de espesor), utilizando cobre como cátodo y hierro como ánodo, sobre soportes de diferentes distancias. Se utilizó una fuente fue *Mastech HY3003D* y se colocó un amperímetro para el control de la corriente como muestra la figura 1. Todos los ensayos se realizaron en 800ml solución acuosa conteniendo 0,25 ppm de arsénico obtenida mediante el agregado de arsénico de una solución patrón de arsénico a 1000ppm de concentración.

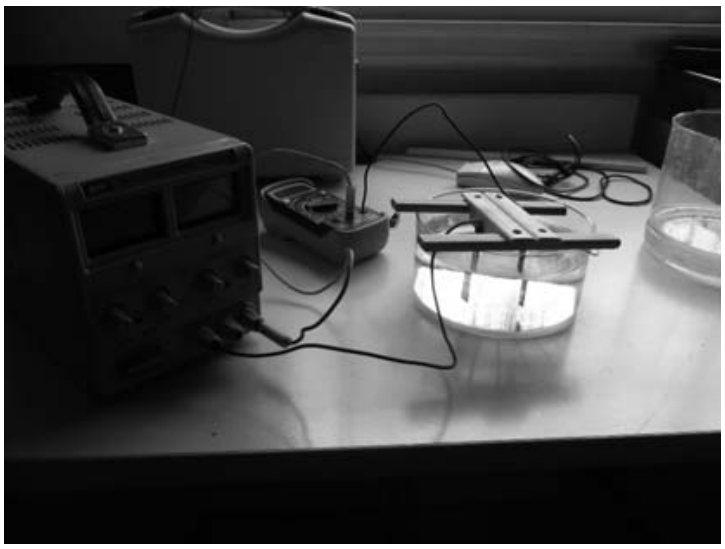


Fig. 1 Modelo experimental utilizado

Luego de realizar la electrofloculación por 40 minutos, se filtró la solución final y se midió la concentración final de arsénico por colorimetría mediante el kit "*MQuant Arsenic Test Merck*". Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 1- Resultados de la variación de distancias

Distancia[cm]	I[mA]	U[v]	Tiempo[min]	As final [ppm]
2,0	50,5	7,6	40	0,005
8,0	51,2	16,5	40	0,010

Variación de la densidad de corriente

Se analizó luego el efecto de la variación de la densidad de corriente, utilizando el mismo procedimiento que el anterior, pero manteniendo la distancia constante de 2cm y variando la superficie del ánodo. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2 -Resultados de la variación de densidad de corriente

Superficie[cm^2]	I[mA]	U[v]	Tiempo[min]	As final [ppm]
7,0 x 1,5	49,8	10	40	0,01
7,0 x 3,0	49,3	8,4	40	0,025
7,0 x 4,5	50,5	7,4	40	0,025

Características físicas del flóculo obtenido en función de la corriente aplicada

En función de observar variaciones físicas de la forma de los flóculos al variar la cantidad de corriente aplicada, pero con un tiempo reducido para mantener constante la cantidad de carga transportada, se realizaron electrofloculaciones utilizando el mismo esquema de los ensayos anteriores con los valores de corriente y tiempo que indica la tabla 3.

El agua floculada obtenida se la filtró con papel de filtro *Schlicher and Schuell banda negra* y tomando una gota del sistema sobrenadante se observaron mediante microscopio los flóculos con aumentos de x40 y x100.

Tabla 3- Parámetros de cada ensayo

I[mA]	U[volt]	Tiempo[min]
40	8,0	60
160	27,8	15

Los flóculos observados al microscopio con ocular 40x, como el que se muestra en la figura 2, no han mostrado una diferencia significativa en sus características al variar la intensidad de la corriente de trabajo.

Diseño del floculador

Se optó por utilizar una distribución radial de los electrodos dado que de esta forma las el campo eléctrico tiene una distribución uniforme y se logra una densidad de carga pareja en todo el electrodo. Se decidió también que el floculador sea alargado, para favorecer la agitación pasiva generada por el burbujeo de hidrogeno y el mismo caudal y que la circulación de agua sea ascendente para que favorecer el contacto con los flóculos y evitar el escape de los barros más pesados en la salida agua. Además, el esquema permite que el único elemento consumible, la varilla, sea de fácil intercambio.

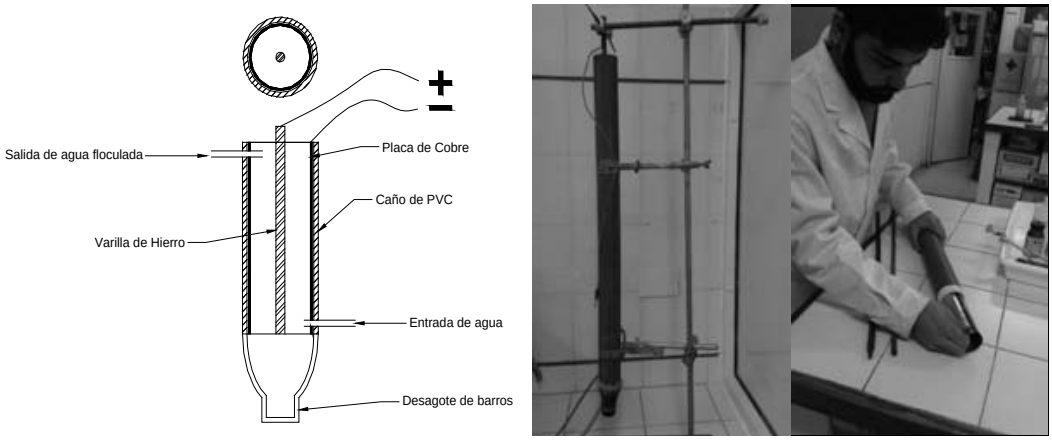


Fig. 2- Esquema del floculador izq. Primer prototipo montado centro Detalle de inserción de electrodo de cobre der.

Es así que se utilizó un tubo plástico de 50 mm diámetro y 80 cm de largo como base que contenía el mismo volumen de agua que las pruebas anteriores. En el interior se colocó una lámina de cobre DHP de 0,5 mm de espesor que funciona de cátodo (Fig. 2 derecha) y una varilla de hierro de 10mm diámetro de manera concéntrica, sujetada desde los extremos por piezas plásticas. En la base del tubo se colocó la mitad de una botella con la funcionalidad de acumular los barros que se forman en el proceso y poder evacuarlos. El ingreso y egreso de agua se hiso inicialmente con mangueras

transparentes de PVC de Ø 2 mm de diámetro interior, pero fue reemplazada la de egreso por una manguera de la látex de 6mm de diámetro interior, dado que a medida que se realizaba en el proceso, ciertos flocks se acumulan en las paredes ocasionando que se tapara. En la figura 3 del centro se muestra como quedó montado el prototipo en el laboratorio.

Prueba del floculador

Se probó el floculador tanto con agua contaminada con arsénico artificialmente (As 0,025 ppm), para verificar su funcionamiento de la remoción, como con agua corriente, para detectar problemas en el funcionamiento prolongado sin tener que desperdiciar agua contaminada artificialmente.

Para la prueba remoción de arsénico, se puso en funcionamiento el floculador con un caudal de 30ml/min, (la presión de agua era suministrada por un bidón elevado aproximadamente 1,3m de la superficie de trabajo). Se utilizó corriente constante de 50 mA y el valor de tensión fue de 0,8v.

Luego de dejar al floculador funcionar por 20 minutos se extrajo una muestra de agua. Se la filtro con papel de filtro *Schlicher and Schuell* banda negra y se analizó la concentración final de arsénico dando como resultado 0,0025ppm.

Por otro lado, para ensayar el funcionamiento en un periodo prolongado, se conectó el floculador a una fuente de corriente constante "BAW HY3005D" funcionando a 50mA, y se interpuso un datalogger para medir la tensión que aportaba la fuente cada intervalos de una hora. La regulación automática de tensión que tiene que hacer la fuente para mantener la corriente constante sirve como parámetro de referencia para detectar el la variación en la resistencia del circuito.

Dentro del floculador, se introdujo una varilla de acero al carbono lisa de 10mm⌀, y luego otra acero de construcción del mismo diámetro. Se operó con un caudal de entre 150 y 250 ml/min. Se dejó funcionar por un periodo de un mes para la primera y 2 semanas para la segunda obteniéndose las curvas respectivas. El hecho de la diferencia de duración de los ensayos es que la segunda mostro un comportamiento estacionario mucho más rápido que la primera.

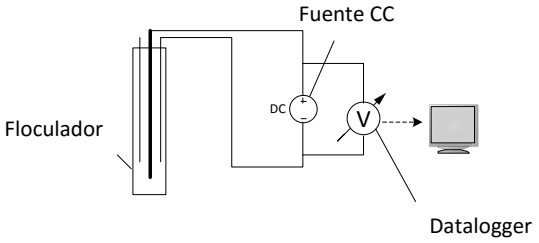


Fig.3 Esquema de medición

Las curvas obtenidas son las siguientes:

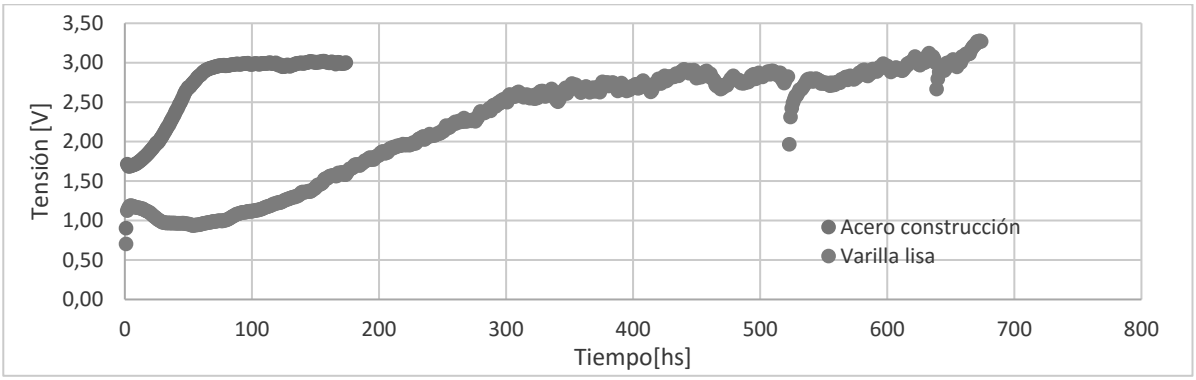


Gráfico 1- Variación de la tensión en función del tiempo para los diferentes materiales

Conclusiones

Las experiencias realizadas hasta el momento han permitido concluir en cuanto a la técnica de electrofloculación, que el proceso depende en gran medida de la distancia entre los electrodos, dado que disminuye el potencial necesario y por ende la potencia consumida, sin encontrarse variaciones relevantes en cuanto a la densidad de corriente aplicada en ellos lo cual concuerda con los estudios realizados por Addy[4]. Las experiencias realizadas no permitieron encontrar una distancia óptima dado que no se experimentó con distancias menores a 2 cm. Aun así, esta distancia permitió extraer arsénico de 800ml de agua con una potencia consumida de 0,38w en 40 minutos la cual se la consideró suficientemente baja, y se la utilizó como un parámetro de diseño del floculador.

En cuanto a los ensayos realizados con el primer prototipo del floculador en tiempos menores a las 2 horas, permitieron remover arsénico de una solución de 0,025ppm a 0,0025ppm. Por otro lado las experiencias realizadas con tiempos prolongados, permitieron observar la resistencia total del circuito se ve afectada por la capa de óxido que se forma en las paredes del ánodo. Esta variación depende de la geometría de la varilla que se emplee, dado que esto produce que se adhiera con mayor o menor facilidad el óxido dependiendo es lisa o rugosa. Aun así, las pruebas con ambos tipos de varilla demuestran que ambas tienden a un valor de tensión 3v. Este último dato permite definir que el electrofloculador va a necesitar ser alimentado por una fuente de corriente constante de 50mA con una tensión regulable de entre 0 y 3v.

Referencias

[1]World Health Organization, *Arsenic in Drinking-water*, 2012, p10

[2] Litter, Marta I. *La problemática del arsénico en la Argentina: el HACRE, 2010*, p2

[3]Kumar, P. R., Chaudhari, S., Khilar, K. C., & Mahajan. *Removal of arsenic from water by electrocoagulation*, 2004, p 7.

[4] Addy, S. E. *ElectroChemical Arsenic Removal (ECAR) for Rural Bangladesh--Merging Technology with Sustainable Implementation*. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2010, p12.

INFLUENCIA DE LA HOMOGENEIZACIÓN DE MUESTRAS EN LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE CARNE VACUNA

Sofía Huerta. Estudiante de Ingeniería Química
Tutor: Mg. Silvia Moyano
Laboratorio Físico Química y Microbiología
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María. Córdoba. Argentina
sofiahuerta@outlook.com

Resumen

La determinación de la flora microbiana existente en los alimentos es un indicativo si éstos sufrieron algún tipo de contaminación por falta de condiciones propicias de manipulación, almacenamiento y transporte. El método de homogenización de las muestras de alimentos sólidos es una etapa importante del análisis microbiológico debido a que si no es realizado correctamente se podrían obtener resultados erróneos, ya que quedan atrapados microorganismos dentro de la muestra. En la presente experiencia se analizaron dos formas de homogenizar la muestra y el diluyente: por medio de Stomacher y manual. El objetivo principal se centra en determinar si el método por Stomacher arroja resultados superiores a los obtenidos por homogenizado manual. Para ello, se eligió la determinación de recuento de aerobias mesófilas, Enterobacterias, coliformes, *Escherichia coli* y *Staphylococcus* aureus como organismos indicadores. Los resultados obtenidos revelan que a pesar de que la homogenización utilizado el Stomacher da valores superiores a los de la manual, no existe diferencia estadística entre ambas formas.

Palabras clave: Análisis microbiológicos, carne vacuna, homogenización manual, Stomacher.

Introducción

Los Métodos utilizados para el aislamiento y recuento de los microorganismos presentes en los alimentos no líquidos requieren el tratamiento previo para liberar aquellos microorganismos que pueden estar aprisionados en el interior o superficie de los mismos. En el procedimiento donde se utiliza el Stomacher, la muestra del alimento y el diluyente se colocan en una bolsa de plástico estéril que es golpeada vigorosamente contra la puerta del aparato por dos paletas situadas en la parte inferior del mismo. Las ventajas de este aparato son el que ocasiona poco ruido, eleva poco la temperatura de la mezcla del diluyente y se evita el trabajo de limpiar y esterilizar los vasos o cámaras y de las cuchillas cuando se emplean homogeneizadores convencionales. La normalización de este procedimiento inicial es importante porque una trituración y mezcla insuficientes pueden no liberar todas las bacterias o no conseguir una distribución uniforme de éstas en la suspensión (ICMSF, 2000). También se suele usar utilizar la homogenización manual que consiste en colocar el alimento y el diluyente en bolsas de plástico estériles y aplicar golpes manuales hasta lograr la homogenización.

La presencia de microorganismos en los alimentos no significa necesariamente un peligro para el consumidor o una calidad inferior de estos productos La mayor parte de los alimentos se convierten en potencialmente peligrosos para el consumidor solo después de que han sido violados los principios de higiene, limpieza y desinfección (ICMSF, 2000). Las bacterias aerobias mesófilas, pueden ser consideradas generalmente como organismos indicadores, aunque representan una mediada mucho menos precisa y fiable que otros indicadores. Los recuentos elevados de baterías mesófilas en productos crudos o no tratados, a menudo están constituidos por la microflora normal o quizás indican una alteración incipiente del alimento y no peligro potencial para la salud del consumidor.

Otro grupo de microorganismos indicadores son los coliformes que comprende *Escherichia coli* y diversas especies pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae.* En alimentos que han sido tratados garantizando su sanidad, la presencia de niveles considerables de Enterobacterias o coliformes indica el tratamiento inadecuado o contaminación posterior, equipos sucios o manejo no higiénico y la multiplicación microbiana que pudiera permitir el crecimiento de microorganismos patógenos y toxigénicos.

E. coli es un patógeno emergente asociado a casos de diarrea, colitis hemorrágica, síndrome urémico hemolítico (SUH) y trastornos de coagulación (púrpura trombocitopénica trombótica) en seres humanos. (M. Rivas y col., 2006). Los rumiantes en general y el ganado vacuno en particular, han sido señalados como los principales reservorios de STEC (toxina producida por *E. coli)*. La contaminación de la canal durante el sacrificio es la ruta primaria que últimamente lleva a la contaminación de la carne picada de vacuno., la supervivencia del patógeno y la subsecuente infección. La principal vía de transmisión son los alimentos contaminados como carne molida, productos cárnicos crudos o insuficientemente cocidos, embutidos fermentados, leche y jugos no pasteurizados, vegetales que se consumen crudos, etc. (ANMAT, 2011).

Otra enfermedad transmitida por alimentos es la intoxicación alimentaria estafilocócica, un síndrome caracterizado por náuseas, vómitos, diarrea, malestar y debilidad general. Debido a su elevada incidencia de la intoxicación estafilocócica, todo laboratorio oficial debe tener a punto las técnicas de recuento de estafilococos coagulasa positivos ya que *Staphylococcus aureus* es un buen indicador del grado de contacto humano o con alimentos naturales no tratados de origen animal dentro de la fábrica de alimentos. Con frecuencia se presenta en carnes de mamíferos y aves cocinadas, el queso, productos de pastelería rellenos de crema, leche y ensaladas a base de papas o huevo. El control de los brotes de enterotoxinas estafilocócicas depende en gran mediad del mantenimiento de los alimentos a una temperatura adecuada. Los estafilococos pueden multiplicarse exponencialmente entre 6 y 45 ^{o}C. (A. A. Brizzio, y col., 2011). Muchos alimentos crudos entre los que se cuenta la carne y los productos lácteos no pasteurizados, contienen normalmente números reducidos de estafilococos.

El objetivo principal de las experiencias fue determinar si existe diferencia en los resultados obtenidos en las determinaciones microbiológicas realizadas a carne vacuna utilizando los métodos de homogenización manual y por medio de Stomacher. Para ellos se seleccionaron distintos microorganismos indicadores a detectar: bacterias aerobias mesófilas, Enterobacterias, coliformes, *E. coli* y *Staphylococcus aureus.*

Materiales y métodos

Los medios utilizados se prepararon de acuerdo a lo especificado por cada proveedor. Los medios Agar Nutritivo (Britania), Baird-Parker (Britania) y Brila (Caldo lactosa bilis verde brillante 2%, MERCK) necesarios para la determinación de Recuento Total, *S. aureus y E. coli* respectivamente, se prepararon y se esterilizaron en autoclave durante 15 minutos a 120ºC (ICMSF, 2000). En el caso de los agares VRBL (Violet Red Bile Lactose, MERCK) y VRBG (Violet Red Bile Glucose, Biokar), necesarios en la siembra de Enterobacterias y Coliformes respectivamente, se prepararon en el día de siembra sin esterilización de autoclave como se especifica (MERCK, 1994; ICMSF, 2000)

Las muestras se adquirieron entre octubre de 2015 y abril de 2016 en una carnicería de la localidad de Villa María. Todas las muestras fueron molidas o cortadas, según corresponda, en el mismo momento de la compra. Se realizaron 4 experiencias siguiendo métodos generales determinados previamente. Se pesaron 25g de muestra, se adicionan agua peptona 0,1% hasta 250g para luego se procede a la homogenización durante 5 minutos; en el caso de Stomacher se utilizó la velocidad

media. Para la determinación de Recuento Total, Enterobacterias y coliformes se realizó la siembra de vertido en placa, colocando una capa extra de agar en los casos de Enterobacterias y coliformes. En el caso de *S. aureus*, la siembra se realiza por extensión en placa. Para determinar la presencia de *E. coli* se sembró 1ml de muestra en 10 ml de caldo Brila y 10 ml de muestra en 10 ml del mismo caldo (ICMSF, 2000). En todos los casos se realizó un duplicado. Las placas se colocaron a incubar en la estufa a 37 ºC durante 24 horas para el caso de Enterobacterias, Coliformes y *S. aureus* y 48 para Recuento Total. Los tubos de *E. coli* se incubaron durante 24 horas en baño térmico a 45 ºC. La confirmación de los tubos de *E. coli* se realizaron mediante la siembra en placas EMB (Agar Eosina azul de metileno, Biokar) y pruebas
En recuento de las placas y el cálculo de los resultados se realizaron de acuerdo a lo establecido por la ICMSF (ICMSF, 2000). Luego se procedió a la transformación de los valores obtenidos a logaritmo decimal y al cálculo del promedio de cada determinación realizada.
Para analizar si en efecto existe alguna diferencia de los valores obtenidos entre la homogeneización manual y por medio de Stomacher, los resultados se ordenaron por tipo de microorganismo (recuento de aeróbios mesófilos, Enterobacterias y coliformes). Se realizaron las comparaciones de forma gráfica mediante Excel (Figuras 1, 2 y 3). El análisis estadístico de los resultados se realizó el test ANOVA (Análisis de varianza) mediante Statgraphics Centurión y Origin 7.0 (Origin Lab Corporation).

Resultados y discusión

Los resultados se organizaron en las Tablas 1, 2, 3 y 4 por semana de trabajo.

Tabla 1 – Resultados semana 1 Valores de log ufc/g de muestra

Microorganismos		Determinación			
		Manual		Stomacher	
		Carne molida	Bife	Carne molida	Bife
Recuento total		10,35	>9,81	10,57	>9,81
Enterobacterias		9,53	>9,81	9,54	>9,81
Coliformes		9,57	>9,81	9,42	>9,81
Staphylococcus aureus		Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
E. coli	Ausencia en 0,1 g	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
	Ausencia en 1 g	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo

Tabla 2 – Resultados semana 2. Valores de log ufc/g de muestra

Microorganismos		Determinación			
		Manual		Stomacher	
		Carne molida	Bife	Carne molida	Bife
Recuento total		9,88	7,49	9,98	8,05
Enterobacterias		6,82	6,88	8,11	7,08
Coliformes		6,68	6,69	6,66	7,07
Staphylococcus aureus		3,41	Negativo	3,24	Negativo
E. coli	Ausencia en 0,1 g	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
	Ausencia en 1 g	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo

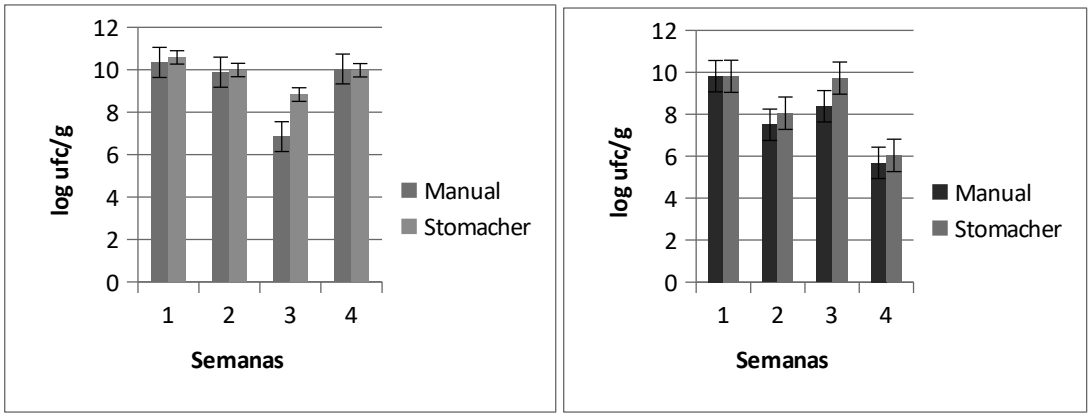
Tabla 3 – Resultados semana 3 Valores de log ufc/g de muestra

Microorganismos		Determinación			
		Manual		Stomacher	
		Carne molida	Bife	Carne molida	Bife
Recuento total		6,84	8,38	8,83	9,72
Enterobacterias		5,37	5,85	5,34	6,70
Coliformes		5,41	5,7	5,48	6,07
Staphylococcus aureus		4,11	Negativo	3,70	Negativo
E. coli	Ausencia en 0,1 g	Positivo	Negativo	Positivo	Positivo
	Ausencia en 1 g	Positivo	Negativo Positivo	Positivo	Positivo

Tabla 4 - Resultados semana 4. Valores de log ufc/g de muestra

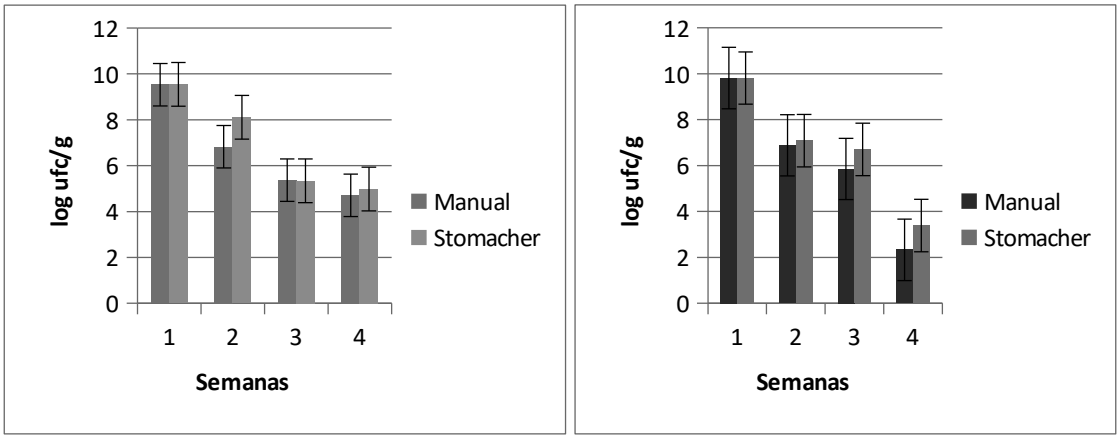
Microorganismos		Determinación			
		Manual		Stomacher	
		Carne molida	Bife	Carne molida	Bife
Recuento total		10,04	5,68	9,98	6,04
Enterobacterias		4,71	2,32	4,98	3,38
Coliformes		4,71	2,24	4,96	2,37
Staphylococcus aureus		4,23	3,25	4,42	2,65
E. coli	Ausencia en 0,1 g	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
	Ausencia en 1 g	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo

En los gráficos se puede observar que no hay diferencia significativa en las dos formas de homogenización; se había planteado como hipótesis inicial que con la homogenización por Stomacher se obtendrían recuentos superiores a la manual. Se puede observar tanto en las tablas como en los gráficos que en la mayoría de los casos esta hipótesis se cumple. Otra observación que se puede realizar es la diferencia de los resultados a lo largo de las semanas, en la mayoría de los casos éstos decrecen cuando se avanza en la realización de las experiencias. Esto se debería a que las muestras de las últimas semanas se sembraron antes de las seis horas a la adquisición de las muestras. Particularmente en la primera semana las muestras fueron sembradas después de ser almacenadas durante 24 horas entre 2 y 5 °C (ICMSF, 1985). Esto demuestra que el tiempo de almacenamiento en refrigeración de las muestras es un factor importante que influye en el recuento de microorganismos obtenidos.



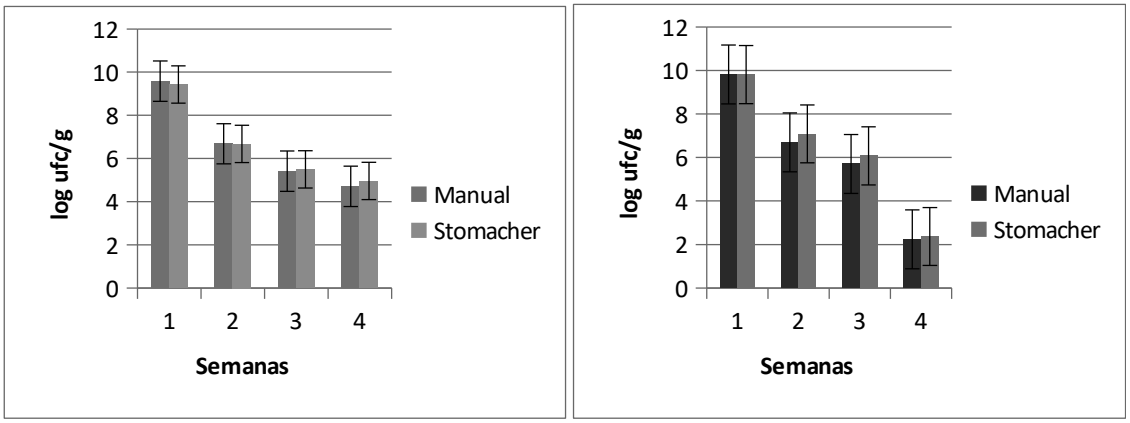
(a) (b)

Figura 1 – Resultados de recuento de aerobios mesófilos en carne molida y en bife



(a) (b)

Figura 2 - Enterobacterias en carne molida (a) y en bife (b)



(a) (b)

Figura 3 – Resultados de coliformes en carne molida (a) y en bife (b)

Con relación a la determinación de *S. aureus* solo en la cuarta semana fue positiva, tanto en las determinaciones de carne molida y bife. En la primera semana fue negativo, mientras que en la segunda y en la tercera solo fueron positivas para *S. aureus* las muestras de carne molida.

En los resultados de análisis de *E. coli* se detectó su presencia en 1 g en todos los análisis realizados. En la tabla 1 se observa que la determinación en 0,1 g en bife en la segunda semana fue negativa y solo un tubo de 1 g de muestra fue positiva lo que indica el grado de contaminación por este patógeno es menos en la muestra analizada.

En todos los casos tanto en las determinaciones efectuadas en carne molida y en bife no hubo diferencias significativas, lo que indica que tanto con el homogenizado manual y con el Stomacher se obtienen resultados comparables. A manera representativa se expone en la figura 4 el resultado obtenido en el análisis de Enterobacterias en carne molida. Como se puede observar los resultados de ambos programas es igual; mediante los valores F y P se puede analizar si hay diferencias significativas entre las medias de los grupos manual y Stomacher. Debido que el valor de P es superior al de F y a que el valor P es superior a 0,05 se concluye que no existe diferencia estadística significativa con nivel de confianza del 95%.

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Between groups	0,29645	1	0,29645	0,06	0,8102
Within groups	28,2375	6	4,70626		
Total (Corr.)	28,534	7			

(a)

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	0,29645	0,29645	0,06299	0,8102
Error	6	28,23755	4,70626		
Total	7	28,534			

(b)

Figura 4 - Resultado del test ANOVA para Enterobacterias utilizando Statgraphics (a) y Origin 7.0 (b)

Conclusiones

Se puede concluir de acuerdo a los resultados obtenidos que en la mayoría de los casos la homogenización por medio de Stomacher proporciona resultados superiores a los obtenidos por medio de homogenización manual. No obstante, no existen diferencias estadísticas significativas entre los grupos de resultados analizados como se puede observar en la figura 4 ya que el valor P es superior al 0,05 y además supera al valor F. Así, de no ser posible la adquisición de un aparato como el Stomacher, la homogenización manual es un buen método de homogenización para la preparación previa de la muestra a analizar. No se encontró material bibliográfico con referencia a la comparación de ambos métodos. Cabe destacar que se observó que los resultados diferían al cambiar el tiempo de refrigeración previo a la realización del análisis, lo cual no se puede sacar ninguna conclusión concreta con respecto a la influencia de esta variable, ya que no se mantuvo constante.

Referencias.

ANMAT (Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica).2000 Análisis microbiológico de los alimentos. Metodología analítica oficial. Microorganismos patógenos, Volumen 1. http://www.anmat.gov.ar/renaloa/docs/Analisis_microbiologico_de_los_alimentos_Vol_I.pdf

BRIZUELA LAB. 2015. Catálogo. http://www.brizuela-lab.com.ar/catalogo.pdf

ICMSF (International commission on microbiological specifications for foods). 1985. Ecología microbiana de los alimentos, Volúmenes 1 y 2. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza España. Segunda Edición

ICMSF (International commission on microbiological specifications for foods).2000. Microorganismos de los Alimentos, Volumen 1. Su significado y métodos de enumeración. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza España. Segunda Edición.

MERCK. 1994. Manual de los medios de cultivo.

A. A. Brizzio, F. A. Tedeschi, F. E. Zalazar. 2011. Descripción de un brote de intoxicación alimentaria estafilocócica ocurrido en Las Rosas, Provincia de Santa Fe, Argentina. Rev. Argent Microbiol, pág. 28-32.

M. Rivas, E. Miliwebsky, I. Chinen, N. Deza, G. A. Leotta. 2006. Epidemiologia del síndrome urémico hemolítico en Argentina. Diagnostico del agente etiológico, reservorios y vías de transmisión. Medicina, Buenos Aires. Vol. 66 (Supl III). Pág. 27-32.

AISLAMIENTO Y SELECCIÓN DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS PARA LA OBTENCIÓN DE ÁCIDO POLILÁCTICO A PARTIR DE LACTOSUERO

Romina Daniele [(1)], Victoria Zanazzo [(1)], Paula C. Garnero [(1)], Verónica V. Nicolau [(1,2)]

[(1)] *GPol, UTN Regional San Francisco, Av. de la Universidad 501, (2400) San Francisco, Córdoba, Argentina.*
[(2)] *INTEC (UNL-CONICET), Güemes 3450, (3000) Santa Fe, Argentina.*
E-mail de contacto: pcgarnero@gmail.com

Resumen

La explotación de los desechos industriales se aprecia por el cuidado del medioambiente y por el ahorro económico. En este sentido, el lactosuero resulta atractivo para producir ácido poliláctico, pero su bajo rendimiento limita su uso. El objetivo de este trabajo ha sido seleccionar cepas de bacterias ácido lácticas con buena capacidad acidificante para ser empleadas en la producción de ácido láctico a partir de lactosuero. En esta primera etapa, se aislaron 25 cepas de bacterias ácido lácticas obtenidas de 5 sueros de la región Centro de nuestro país. Las cepas resultaron, en su mayoría, mesófilas y homofermentantes, y las seleccionadas fueron las denominadas SM3, R3 y J3 (lactococos) y M4 y Sc3 (lactobacilos). Los lactococos resultaron más rápidos para acidificar que los lactobacilos, con una disminución de pH y una producción de ácido a las 48 h de 1,7 unidades y 1 g/L, y 1,6 unidades y 0,7 g/L, respectivamente.

Introducción

El ácido poliláctico (APL) es un poliéster termoplástico de origen bacteriano que posee propiedades similares a los plásticos sintéticos derivados del petróleo (poliolefinas y poliestireno), es biodegradable y se produce a partir de sustratos renovables. Actualmente, existen sólo algunas industrias que producen APL a partir de la fermentación de carbohidratos, pero su costo es aún elevado comparado con los plásticos sintéticos tradicionales. Una de las estrategias utilizadas para abaratar los costos es emplear como materia prima desechos agrícolas o suero de quesería, subproductos que son abundantes en nuestro país. El suero es el subproducto más abundante de las industrias lácteas y es fuente inagotable de cepas de bacterias ácido lácticas (BAL) capaces de fermentar la lactosa presente a ácido láctico.

La vía biotecnológica es indispensable para producir ácido láctico ópticamente puro (Ghaffar *et al*., 2014). Panesar *et al*. (2010) y García *et al.* (2013) obtuvieron ácido L(+) láctico por fermentación de suero de quesería empleando *Lactobacillus casei*. De manera similar, Schepers *et al.* (2004) y Urribarrí *et al*. (2006) obtuvieron el par racémico del ácido láctico a partir de *Lactobacillus helveticus* en procesos en 2 etapas y continuo, respectivamente. Sin embargo, los bajos rendimientos de ácido láctico empleando lactosuero hacen necesario buscar nuevos microorganismos que posean buena capacidad acidificante y mayor resistencia a las condiciones de fermentación (Wang et al., 2014). Además, la utilización de cultivos lácticos comerciales en sustitución de la microbiota autóctona podría llevar a la pérdida de las cepas nativas a largo plazo (González *et al.*, 2003).

Existen numerosos trabajos que involucran el aislamiento, identificación y caracterización de BAL provenientes de quesos y otros productos lácteos para ser empleados como cultivos iniciadores y mejorar las características de los productos (Coghan *et al*., 1997; Villanueva, 2007; Alvarado Rivas *et al*., 2007; Ramos-Izquierdo *et al*., 2009; Muyanja *et al*., 2003; Guessas y Kihal, 2004; Olivera, 2011; Latorre Díez, 2011). Por otra parte, Mondragón *et al.* (2006) aislaron e identificaron BAL a partir de leche agria, con el objeto de emplearlas en la producción de biomasa utilizando lactosuero como sustrato. Hasta el momento no se han encontrado en la literatura trabajos sobre el aislamiento de BAL a partir de suero fresco y su posterior empleo en la producción de APL.

En esta primera etapa de la investigación se aislaron, purificaron y conservaron 25 cepas de BAL obtenidas de sueros frescos provenientes de la elaboración de quesos cremosos de la región

Centro del país. Además se seleccionaron 5 cepas de interés tecnológico, por ser las que demostraron tener la mejor capacidad acidificante para ser empleadas en la segunda etapa de la investigación, la que involucrará la fermentación de lactosuero y posterior síntesis de APL.

Metodología

Materiales

Agar Man Rogosa Sharpe (MRS, Biokar), Caldo MRS (Biokar), peptona de Carne (Merck), leche en polvo descremada con un contenido de carbohidratos de 52 g/L (La Serenísima), Solución NaOH 0.1N (Anedra), HCl 0.1 N (Biopack), Kit de Gram (Britania).

Para la reconstitución de la leche se preparó una solución de 100 g/L con agua destilada y se esterilizó a vapor fluente durante 30 minutos.

Aislamiento, purificación, identificación y conservación

Se tomaron 50 ml de la producción del día de cada suero, en envases recolectores estériles. Las muestras fueron refrigeradas y conservadas a -4 °C hasta el momento de su uso (dentro de las 24 h luego de la toma de muestra). Se aislaron, purificaron y conservaron 25 cepas de BAL [(SM1, SM2, SM3, SM4 y SM5); (R1, R2, R3, R4 y R5); (M1, M2, M3, M4 y M5); (J1,J2,J3,J4,J5); (Sc1, Sc2, Sc3, Sc4, Sc5)] obtenidas de sueros frescos provenientes de la elaboración de quesos cremosos, suministrados por las empresas Santa María (San Francisco, Córdoba, Argentina), Ramolac (Ramona, Santa Fe, Argentina), Manfrey (Freyre, Córdoba, Argentina), Don Silvano (Josefina, Santa Fe, Argentina), y Sancor (Devoto, Córdoba, Argentina).

La metodología empleada para el aislamiento, purificación, identificación y conservación de las BAL a partir de cada muestra de suero se muestra en la Fig. 1.

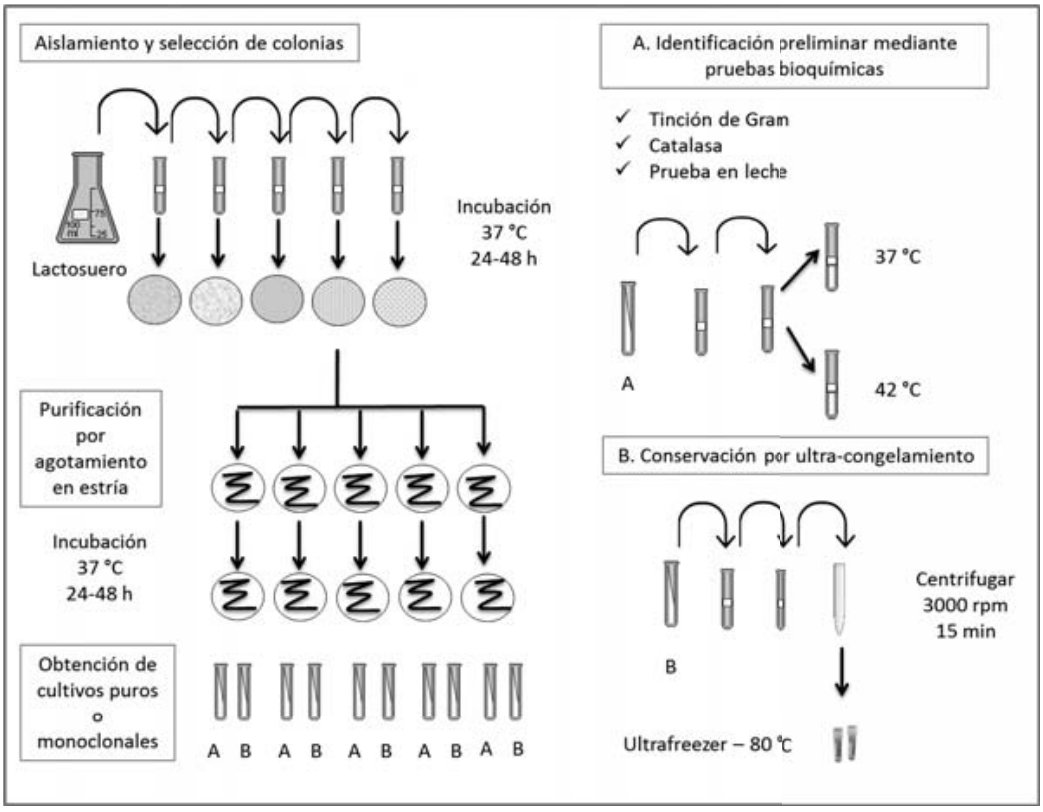


Fig. 1. Metodología de obtención de los aislados de BAL (aislamiento, purificación, obtención de los cultivos puros, identificación preliminar y conservación).

Para el aislamiento se prepararon diluciones seriadas y se sembraron en profundidad en Agar MRS, incubándolas durante 24-48 h a 37 ºC. Se escogieron 5 colonias puntiformes, blancas o translúcidas, que se sometieron a una doble purificación mediante la técnica de siembra en estrías en placas de Agar MRS. A partir de cada una de las cepas purificadas se realizaron resiembras en tubos con Agar MRS distribuido en forma de picos de flauta, que se incubaron a 37 °C durante 24-48 h a fin de obtener cultivos puros o monoclonales para los ensayos posteriores. La generación de gas, puesta de manifiesto por el desplazamiento del medio agarizado hacia arriba dentro del tubo de ensayo, permitió reconocer el comportamiento metabólico heterofermentante (Fig. 2).

.

Fig. 2. Fotografía de cultivo puro heterofermentante en tubo con Agar MRS (M4).

Las pruebas bioquímicas realizadas constituyeron un primer paso para la identificación preliminar de los aislados como pertenecientes al grupo de las BAL. Estos ensayos fueron los siguientes: tinción de Gram, prueba de la catalasa (es característico de las BAL ser aerotolerantes y catalasa negativas) y prueba de propagación de los aislados en leche a 37 y 42 ºC, determinando así su carácter de mesófilas o termófilas.

Para la preparación del inóculo de la prueba de propagación en leche se tomó material celular con ansa ojal de las estrías de los tubos A y se realizaron dos resiembras consecutivas en 10 ml de Caldo MRS, las cuales fueron incubadas a 37 °C durante 24 h. Luego se sembraron 2 tubos de ensayo conteniendo 10 ml de leche estéril con 1 ml de inóculo y se incubaron a 37 y 42 °C, durante 24-48 h. Las BAL mesófilas se caracterizaron por la rápida formación de un coágulo que lució más definido en el tubo a 37 °C, en comparación con el formado a 42 °C, observándose lo opuesto para las BAL termófilas.

Para la conservación se tomó material de las colonias del tubo en pico de flauta B y se realizaron 2 resiembras consecutivas en 10 ml de Caldo MRS, incubando a 37 °C durante 24 y 12 h. Luego se centrifugó el último cultivo (12 h) a 3000 rpm durante 15 minutos, se desechó el sobrenadante y se re-suspendió el sedimento en 5 ml de Caldo MRS con el agregado de un 15% (v/v) de glicerol. Estas suspensiones celulares concentradas se distribuyeron en tubos Eppendorf y en crioviales para su conservación a -80 °C.

Capacidad acidificante

Para la preparación del inóculo se sembró 1 ml de los conservados en tubos Eppendorf en 10 ml de Caldo MRS, se incubó a 37 °C durante 24 h y luego se realizó una resiembra en las mismas condiciones. Para cada una de las cepas se inocularon 6 frascos con 100 ml de leche estéril con 1 ml de inóculo, el que poseía una concentración celular comprendida entre 1×10^8 y $1x10^9$ ufc/ml. Se midió la acidez titulable y el valor de pH a las 0, 8, 24 y 48 h de incubación a 37 y 42 °C. Se empleó un pHmetro marca HANNA y un electrodo HI 8424 para medir el pH. Para la medición de acidez se titularon 10 ml de muestra con NaOH 0,1 N, utilizando fenolftaleína como indicador.

La concentración de ácido láctico, expresada en g/L, se determinó aplicando el siguiente cálculo [ec. (1)]:

$$\text{Ác. láct. (g/L)} = 0{,}9 \times (V - V_B) \times N \times f \quad (1)$$

donde V, N y f corresponden al volumen gastado en la titulación (ml), a la normalidad y al factor de corrección del NaOH 0,1 N, respectivamente, y V_B al volumen gastado (ml) a tiempo cero.

Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la identificación preliminar de los aislados. En la Fig. 3 se detallan las evoluciones de pH y acidez titulable para cada una de las 5 cepas seleccionadas; a 37 y 42 °C.

Tabla 1. Características de los aislados de BAL.

Cepa	Gram	Morfología	Agrupación	Catalasa	Crecimiento en leche		Metabolismo fermentativo
					37 °C	42 °C	
SM	+	Cocos	Cadenas cortas, en pares o en racimos	-	++	+	Homofermentante
R	+	Cocos	Cadenas cortas, en pares o en racimos	-	++	+	Homofermentante
M	+	Bacilos cortos	Irregular	-	++	+	Hetero y Homofermentante
J	+	Cocos	Cadenas cortas, en pares o en racimos	-	+	++	Homofermentante
Sc	+	Cocos y bacilos	En cadenas y en racimos	-	+	++	Homofermentante

Los aislados de BAL mostraron morfología y formas de agrupación variadas, y en su mayoría resultaron ser mesófilos y homofermentantes (Tabla 1).

Las BAL con mayor capacidad acidificante y resistencia a la acidez producida, que al mismo tiempo demostraron mayor rapidez en la disminución de pH, resultaron ser las cepas denominadas SM3, R3 y J3 (lactococos) y M4 y Sc3 (lactobacilos). Los lactococos resultaron más rápidos para acidificar que los lactobacilos, con una disminución de pH y una producción de ácido de 1,7 unidades y 1 g/L, y 1,6 unidades y 0,7 g/L, respectivamente.

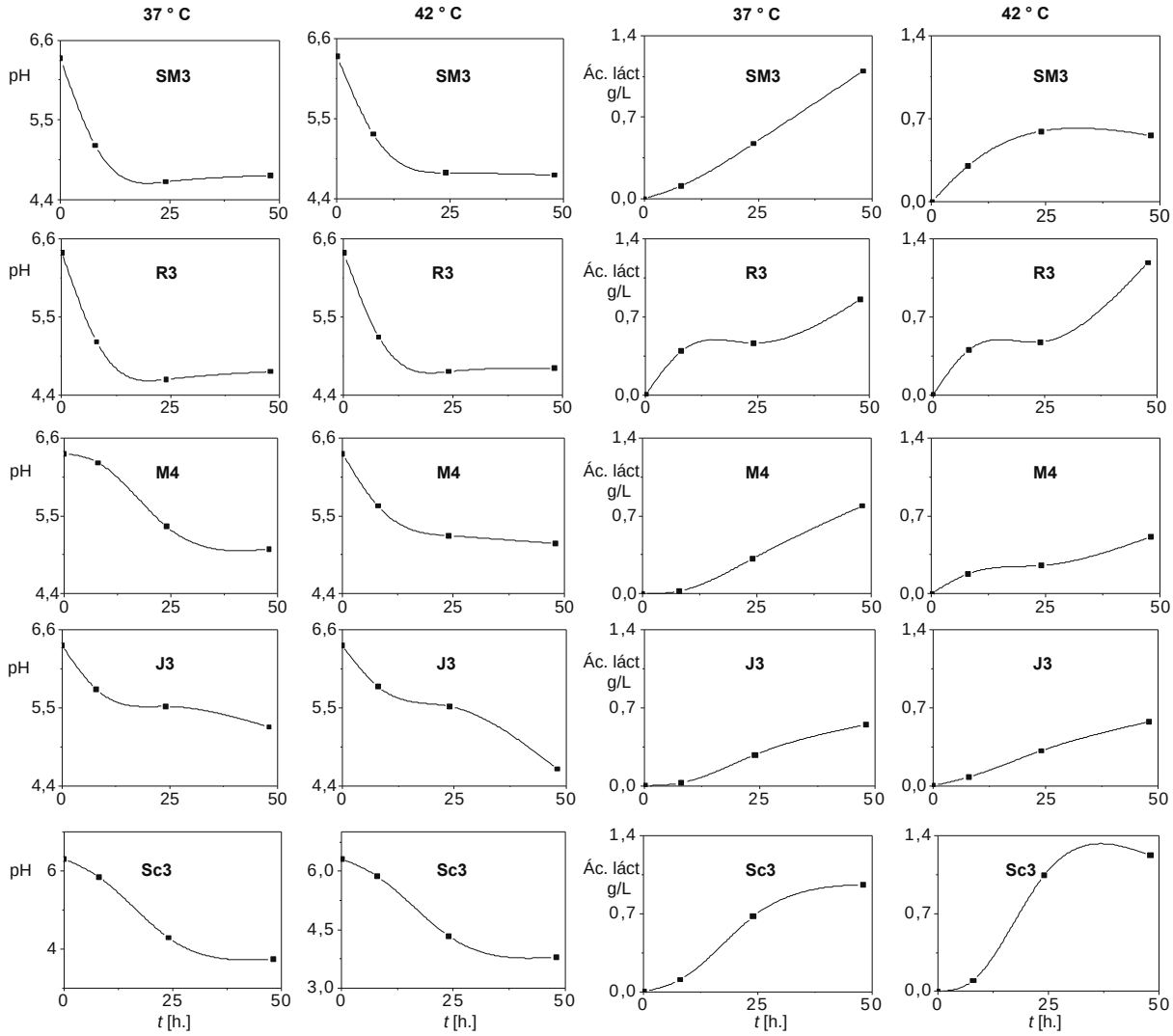


Fig. 3. Evolución del pH y de acidez de los aislados seleccionados de BAL.

Conclusiones

Se aislaron, purificaron y conservaron 25 cepas de BAL presentes en lactosueros provenientes de 5 empresas de la región Centro del país, y se seleccionaron aquellas que revelaron buena capacidad acidificante. Esto permite concluir que la microbiota presente en este efluente de la industria quesera es una potencial fuente de cepas con características tecnológicas interesantes.

Las cepas seleccionadas por su mayor capacidad de producción de ácido láctico se caracterizarán taxonómicamente aplicando técnicas bioquímicas, y se emplearán luego para la obtención de ácido láctico a partir de lactosuero y para la posterior obtención de APL.

Agradecimientos

A U.T.N, CONICET, y SeCYT por el financiamiento.

Referencias

Alvarado Rivas, C., Chacón Rueda, Z., Otoniel Rojas, J., Guerrero Cárdenas, B., López Corcuera, G. (2007). Revista Científica, FCV-LUZ, 17(3), 301-308.

Coghan, T., Barbosa, M., Beuvier E., Bianchi-Salvadori, B., Cocconcelli, P., Fernandes, I., Gomez, J., Gomez, R., Kalantzopoulos, G., Ledda, A., Medina, M., Rea, M., Rodriguez, E. (1997). Journal of Dairy Research, 64, 409-421.

García, C., Arrázola, G., Villalba, M. (2013). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 11(1), 136-143.

Ghaffar, T., Irshad, M., Anwar, Z., Agil, T., Zulifqar, Z., Tariq, A., Kamran, M., Ehsan, N., Mehmoo, S. (2014). Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 7(1), 1-8.

Gonzalez, J., Mas, M., Tabla, R., Moriche, J., Roa, I., Rebollo, J., Cáceres, P. (2003). INRA, EDP Sciences, 83, 193-202.

Guessas, B., Kihal, M. (2004). African Journal of Biotechnology, 3(6), 339-342. Web: http://www.academicjournals.org/AJB

Latorre Díez, I. (2011). Tesis: Caracterización Bioquímica y Tecnológica de cepas ácido lácticas aisladas de leche cruda de oveja en el proceso de elaboración de queso artesano de Teruel. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Teruel, España.

Mondragón-Parada, M., Nájera-Martínez, M., Juárez-Ramírez, C., Galíndez-Mayer, J., Ruiz-Ordaz, N., Cristiani-Urbina, E. (2006). 134, 223-232.

Muyanja, C., Narvhus, J., Treimo, J., Langsrud, T. (2003). International Journal of Food Microbiology, 80, 201-210.

Olivera, J. (2011). Tesis: Caracterización tecnológica de cepas de bacterias ácido lácticas aisladas de la leche. Unidad de Tecnología de Alimentos. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

Panesar, P., Kennedy, J., Knill, C., Kosseva, M. (2010). Brazilian Archives of Biology And Technology, 53(1), 219-226.

Ramos-Izquierdo, B., Bucio-Galindo, A., Bautista-Muñoz, C., Aranda-Ibáñez, E., Izquierdo-Reyes, F. (2009). Universidad y Ciencia, 25(2), 159-171. Web: www.ujat.mx/publicaciones/uciencia

Schepers, A., Thibault, J., Lacroix, C. (2004). Enzyme and Microbial Technology, 38, 324-337.

Urribarrí, L., Vielma, A., Paéz, G., Ferrer, J., Mármol, Z., Ramones, E. (2006). Villanueva, G. (2007). Tesis: Aislamiento e identificación de bacterias ácido lácticas a partir de leche cruda y queso paipa elaborado en los municipios de Pacho (Cundinamarca) y Belen (Boyaca). Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.

Wang, Y., Tashiro, Y., Sonomoto, K. (2014). Journal of Bioscience and Bioengineering, 20(20), 1-9.

OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN PARA UTILIZACIÓN EN SISTEMA CONSTRUCTIVO DE CUBIERTA EXISTENTE

Directora y autores: Silvia N. Casenave, Joan A. Franzen, Mauro D. Spinelli
Afiliación: UTN Facultad Regional Rafaela – M. Acuña 49, Rafaela, Santa Fe, Argentina.
Direcciones: sncasenave@gmail.com, joanfranzen@outlook.com, mauro_spinelli@hotmail.com

Resumen

Este informe exhibe la investigación que refleja la presentación de materiales agrícolas de desecho como potenciales sustituyentes del cemento debido a su alta capacidad de adquirir actividad puzolánica al ser calcinados.
Se establecen las características y propiedades de uno de ellos, las cenizas de cáscaras de arroz, donde se manifiesta la recopilación y tratamiento completo. Se trabaja con un porcentaje de cenizas en sustitución del peso de cemento incorporado. Por lo tanto, se decide valerse de un 20% y un 30%. Con ello se logra reducir la cantidad de cemento utilizado, el cual tiene un peso específico de 3,50 kg/dm3, y se lo remplaza por cenizas de cáscara de arroz cuyo peso específico es de 2,20 kg/dm3. Esto nos da una disminución en el peso del hormigón.
El trabajo se centra específicamente en incrementar la resistencia, alivianar la cubierta, reducir la contaminación ambiental y economizar la estructura.

Introducción

La investigación surge de la necesidad de mejorar los resultados de una cubierta prefabricada que consta de dos capas estructurales de hormigón con aislación intermedia, proyecto de Casenave, S., Ludueña, S., Sánchez, M., Franzen, J., Gutierrez, G., Müller, N., Yacob, G. (2013).
Se plantea la necesidad de disminuir el peso, manteniéndose en la línea de ser sustentable y económica, motivo por el cual da origen a un nuevo proyecto. El mismo se denomina "Optimización de las propiedades del hormigón para utilización en sistema constructivo de cubierta existente" y los objetivos son:
Objetivo General: Optimización de las características y propiedades del hormigón de una cubierta prefabricada.
Objetivos Específicos:
Incorporar residuos agrícolas con el fin de adicionar actividad puzolánica, sustituyendo en parte, el volumen de cemento utilizado.
Utilizar residuos agrícolas para alivianar la cubierta.
Colaborar con el cuidado del medio ambiente.

Metodología

Considerando el diseño y la geometría del elemento estructural, se procede a optimizar los resultados, buscando la disminución en la relación peso/resistencia, de ahí que se define indagar sobre variables que puedan aportar las características buscadas, donde se encuentran como opciones potenciales la incorporación de cenizas de cáscaras de residuos agrícolas a la masa cementante, (relación A/C (Agua/Cemento)). Los residuos utilizados en esta investigación son de cáscaras de arroz (Ra).
Investigaciones realizadas en diferentes universidades del mundo han obtenido resultados de gran interés. Águila, I. y Sosa, M. (2015), establecen que al calcinarse las cáscaras de arroz a una temperatura mayor de 400 °C se obtiene un 80% mínimo de SiO_2 (dióxido de sílice) con una elevada actividad puzolánica.
Según Vásquez, Rosaura y Bach, Patricia (2013), se considera a la ceniza de cáscara de arroz como puzolana artificial que puede ser utilizada como adición mineral a cementos Portland y a hormigones. Aporta mayor resistencia a la compresión a tempranas edades así como también resistencias químicas.
Se procede a describir el cronograma de actividades realizadas.

Obtención de materias primas

Las cáscaras de arroz se consiguieron en la localidad de Felicia (Santa Fe), gracias a una molinera que provee de estas a un criadero de pollos. Las utiliza como cama para dichas aves por ser un material absorbente.
Es considerable decir que un 20% de estos desechos son utilizados para la elaboración de balanceados, para cama en las avícolas, pesebreras, entre otros. De aquí que el 80% restante tiene como destino final un relleno sanitario.

Calcinación

Según Vásquez, Rosaura y Bach, Patricia (2013), a mayor temperatura de calcinación se reduce el porcentaje de sílice activo y a menor temperatura aumenta el mismo hasta un cierto punto donde deja de ser útil químicamente. Para este estudio, se utiliza cenizas calcinadas a 500ºC debido a lo citado, ya que una calcinación a mayor temperatura hubiese producido una ceniza con reacción poco eficiente para lo buscado. Una calcinación a menor temperatura hubiese conseguido una ceniza con gran porcentaje de sílice activo pero con gran cantidad de carbón contraproducente.
La calcinación de las cáscaras de arroz, entonces, se realiza a una temperatura de 500ºC durante un período de 90 minutos.

Análisis físicos y químicos de las cenizas obtenidas

Se realiza la calcinación a 500ºC de una muestra de cáscara de arroz en el laboratorio de nuestra facultad con el fin de obtener diversos resultados buscados. Se señala que la calcinación de estos materiales queda reducida, en su peso, en un 19,52%. Según Griffin, Milena y Arboláez, Idalberto (2000), este subproducto, SiO_2, está compuesto por un 93%, y un restante no influyente de carbón.
Se menciona que la calcinación de las cáscaras se realiza a una temperatura superior a los 400ºC con el fin de obtener una mayor pureza de SiO_2, así como también, que estas cenizas adquieran actividad puzolánica, lo que permite que se introduzcan a la masa cementante (A/C).
Se consideran las características químicas de las cenizas de cáscara de arroz (Tabla I) según Vásquez, R., Bach, P. (2013).

xTabla I. Composición química de las cenizas de cáscara de arroz.

Composición (%)	Ceniza calcinada a 500ºC
Al_2O_3	0,09
CaO	0,24
Fe_2O_3	0,08
MgO	0,03
K_2O	3,04
Na_2O	0,32
SiO_2	93,2
Carbón	3,65

Molienda

Las cenizas son molidas hasta obtener una finura característica que permita la interacción con las partículas de cemento. Se realiza de forma manual con un proceso de amasado.
Se realiza una primera molienda de la cual se extrae una muestra de 40,91 grs. Pasa un 20,39% del tamiz Nº 200. Una segunda molienda permite el paso de un porcentaje mayor, accediendo a

un 36,96% de una muestra de 58,06 grs. Y una tercera molienda asciende el porcentaje a un 54,99% de una muestra de 63,25 grs. (Tabla II).

Tabla II. Porcentaje de cenizas que pasa tamiz Nº 200 según moliendas.

Molienda	Muestra (grs)	Pasa Tamiz Nº 200 (grs)	Porcentaje (%)
1	40,91	8,34	20,39
2	58,06	21,46	36,96
3	63,25	34,78	54,99

Según Griffin, Milena y Arboláez, Idalberto (2000), se muele el material hasta que pasa por el tamiz Nº 200 el 95% del total. Por ello, para la utilización de las cenizas con el fin propuesto se debe seguir con la molienda para obtener la finura deseada. Nuestra facultad no cuenta con la tecnología necesaria para lograrlo, por eso nos limitamos a hacer la molienda manualmente.

Dosificación

Para el proceso de dosificación de los pastones se sigue el método ICPA (Instituto del Cemento Portland Argentino), el cual se describe:

Elección del cemento a emplear: La elección del cemento a emplear está condicionada por la disponibilidad comercial de los distintos cementos y el nivel de resistencia que se pretende en los tiempos requeridos. Se escoge CPC 40 (Cemento Portland Compuesto 40).

Elección de la consistencia: Se debe estimar qué consistencia es la que proporciona una correcta trabajabilidad al hormigón. Es prudente recalcar que debe elegirse el mínimo asentamiento compatible con una buena compactación.

Incorporación de aire: Se resuelve no incorporar aire en forma intencional por la pérdida de resistencia que este ocasiona.

Distribución granulométrica de los agregados: Se confecciona la curva granulométrica y se selecciona las fracciones de los agregados para ajustarse a la curva. Se calcula MF (Módulo de Finura) del agregado total, contemplando lo retenido en los tamices de la serie normal. Se determina un MF de 5,2.

Estimación de la cantidad de agua de amasado: Se calcula la cantidad de agua en función del asentamiento elegido y del MF del agregado total. Este cálculo da como resultado 185 lts/m^3.

Cálculo de f'cm (resistencia de diseño): La f'cm se encuentra en función de la f'ce (resistencia específica) y del S (desvío estándar). Esta debe verificar el cumplimiento mínimo por razones de durabilidad. Se estima una f'cm de 30 Mpa.

Estimación de la relación A/C: Se determina la relación A/C necesaria en función de la resistencia media a la edad de 28 días y debe verificar el cumplimiento máximo por razones de durabilidad. Se acuerda una relación A/C igual a 0,5.

Determinación del contenido de cemento: Se calcula en función de la relación A/C y del peso del volumen utilizado de agua en 1 m^3. Se determina una cantidad de 370 kg/m^3.

Determinación de la cantidad de agregados: La cantidad de agregados, tanto finos como gruesos, se calcula por diferencia a mil de los volúmenes de agua, cemento, y de, si hubiese, aire incorporado. Este volumen final se constituye de las fracciones analizadas en la curva granulométrica.

Determinación de incorporación de cenizas: Se decide realizar remplazos de cemento por cenizas de cáscara de arroz en dos porcentajes diferentes, un 20% y un 30% en peso.

Seguido se muestra la dosificación patrón realizada (Tabla III) y la dosificación con las cenizas (Tabla IV y V).

Tabla III. Dosificación para hormigón patrón.

Materiales	Masa [kg]	Densidad [kg/dm3]	Volumen [dm3]
Cemento	370	3,15	117.46
Agua	185	1	185
Piedra	1201.50	2,65	453.40
Arena Gruesa	481.55	2,63	183.10
Arena Fina	159.90	2,62	61.04

Tabla IV. Dosificación hormigón con 20% de cenizas.

Materiales	Masa [kg]	Densidad [kg/dm3]	Volumen [dm3]
Cemento	296	3.15	93.97
Agua	185	1	185
Piedra	1184.03	2.65	446.80
Arena Gruesa	474.55	2.63	180.44
Arena Fina	157.59	2.62	60.15
Cenizas	74	2.20	33.64

Tabla V. Dosificación hormigón con 30% de cenizas.

Materiales	Masa [kg]	Densidad [kg/dm3]	Volumen [dm3]
Cemento	259	3.15	82.22
Agua	185	1	185
Piedra	1175.31	2.65	443.51
Arena Gruesa	471.07	2.63	179.12
Arena Fina	156.41	2.62	59.70
Cenizas	111	2.20	50.45

Elaboración de probetas y cono de Abrams: Se ajustan las dosificaciones al volumen de hormigón necesario para la elaboración de 18 probetas cilíndricas de 10 x 20, de las cuales corresponden 6 a la dosificación patrón, 6 a la dosificación con 20% de cenizas y 6 con 30%. Además, se adiciona el volumen de 1 cono de Abrams para cada tanda.

Resultados

Se ensayan a los 28 y 90 días las probetas confeccionadas utilizando la prensa hidráulica del laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad y se obtienen los resultados (Tabla VI, VII y VIII).

Tabla VI. Resultados ensayos a compresión de probetas patrones.

Probetas sin	Días	Altura (mm)	Peso (kg)	ø 1 (mm)	ø 2 (mm)	Fuerza (t)	Tensión (kg/cm²)
α 1p	28	200.50	3.960	100.90	100.10	26.75	340.70
α 2p	28	202.80	3.870	100.90	100.30	28.6	364.30
α 3p	28	202.00	3.850	98.90	100.50	28.55	363.60
α 4p	90	201.20	3.900	99.70	100.90	35.40	450.90
α 5p	90	200.30	3.910	99.80	100.00	35.05	433.70
α 6p	90	201.80	3.860	100.10	100.10	36.25	461.70

Tabla VII. Resultados ensayos a compresión de probetas con 20% de cenizas.

Probetas 20%	Días	Altura (mm)	Peso (Kg)	Ø 1 (mm)	Ø 2 (mm)	Fuerza (t)	Tensión (kg/cm²)
α 1Ra	28	204.00	3.710	100.00	102.00	21.95	279.60
α 2Ra	28	202.10	3.755	101.00	102.00	21.10	268.70
α 3Ra	28	201.70	3.750	105.00	105.00	21.30	271.30
α 4Ra	90	200.50	3.720	100.55	100.30	32,45	412.90
α 5Ra	90	200.90	3.710	100.50	100.30	29,6	376.65
α 6Ra	90	200.40	3.715	100.50	100.20	33.20	422.45

Tabla VIII. Resultados ensayos a compresión de probetas con 30% de cenizas.

Probetas 30%	Días	Altura (mm)	Peso (Kg)	Ø 1 (mm)	Ø 2 (mm)	Fuerza (t)	Tensión (kg/cm²)
α 7Ra	28	199.80	3.440	99.70	100.00	7.70	98.14
α 8Ra	28	201.70	3.460	100.00	99.90	8.90	113.30
α 9Ra	28	202.80	3.475	99.60	100.50	7.50	95.50
α 10Ra	90	202.80	3.430	100.70	100.90	9.70	123.00
α 11Ra	90	200.40	3.515	100.80	99.40	11.45	145.80
α 12Ra	90	203.05	3.490	102.50	100.00	11.90	151.50

Conclusión

Como se observa en los resultados, las probetas con un remplazo del 30% de cenizas de cáscara de arroz no tienen buena finalidad debido a su escasa resistencia. Existe un factor importante, el gran poder de absorción que poseen las cenizas. En cambio, de las probetas que poseen el 20% de cenizas se obtuvieron buenas respuestas, donde se logra alcanzar resistencias de 30 MPa. Además, si comparamos los pesos de las mismas con las probetas de hormigón convencional, se observa que las primeras tienen un peso promedio menor de 200 grs por unidad.
Se expresa que, entonces, la investigación realizada nos da el beneficio de poder contar con una alternativa válida de utilizar un hormigón con residuos agrícolas, el cual mantiene una buena resistencia, posee menor peso y, claramente, se colabora con el cuidado del medio ambiente.

Referencias

Águila, I. y Sosa, M. (2015). Evaluación físico químico de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos. Artículo de Revista de Ingeniería. Universidad de Venezuela.
En:http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000400006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt

Casenave, S., Ludueña, S., Sánchez, M., Franzen, J., Gutierrez, G., Müller, N., Yacob, G. (2013). PID “Innovación de cubierta de hormigón en un sistema constructivo sustentable y energéticamente eficiente”. UTN-FRRa.

Griffin, M., Arboláez, I. (2000). Tecnología productiva de Cemento Puzolánico a partir de la Ceniza de Cascarilla de Arroz. Artículos y ensayos, VOL 7, Nº 2.
En: http://www.tribunadelinvestigador.com/ediciones/2000/2/?i=art3

Vásquez, R., Bach, P. (2013). Las cenizas de cáscara de arroz, adición puzolánica en cemento y concreto. Perú: Universidad de Piura.
En: http://myslide.es/documents/cenizas-cascara-5584652e18b85.html

BIODEGRADACIÓN DE RESINAS DE FENOL-FORMALDEHÍDO MODIFICADAS CON LIGNINAS POR ATAQUE DE HONGOS FILAMENTOSOS

Yesica Giordano [(1)], Ariela Pujol [(1)], Mariana Bernard [(1)], Verónica V. Nicolau [(1, 2)]

[(1)] *GPol, UTN Regional San Francisco, Av. de la Universidad 501, (2400) San Francisco, Córdoba, Argentina.*
[(2)] *INTEC (UNL-CONICET), Güemes 3450, (3000) Santa Fe, Argentina.*
E-mail: yesicamariagiordano@gmail.com

Resumen

Debido al impacto ambiental causado por el uso creciente de polímeros derivados del petróleo, existe un gran interés en el desarrollo de nuevos polímeros basados en fuentes renovables. Se busca diseñar materiales que exhiban buena resistencia mecánica durante su uso y que presenten biodegradabilidad al final de su vida útil.
En este trabajo se estudió experimentalmente la biodegradación de diferentes materiales termoestables basados en resoles modificados con 10% p/p de lignosulfonato de sodio (LPF10) y 10% y 20% p/p de lignina del tipo Kraft, (KPF10 y KPF20, respectivamente) empleando como testigo una resina de fenol-formaldehído (PF). El trabajo involucró la síntesis de los materiales, el aislamiento de una cepa silvestre de *Alternaria* sp., la degradación de los polímeros por hidrólisis química y enzimática de hongos filamentosos (*Aspergillus niger y Alternaria* sp.) por un período de 200 días, y la caracterización de los materiales antes y después de la degradación, por gravimetría y espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (FTIR). Además se monitoreó el crecimiento del micelio (húmedo y seco). La biodegradación incrementó en el siguiente orden PF < LPF10 < KPF10 < KPF20 con ruptura de uniones del tipo éter. Los resoles fueron sintetizados en la empresa Centro S.A, San Francisco, Córdoba.

Introducción

Las resinas de PF son los polímeros sintéticos más antiguos que se conocen y se comercializan desde hace más de 100 años. Actualmente estas resinas se emplean en la obtención de laminados decorativos, aglutinantes de madera, adhesivos, recubrimientos, plásticos moldeados, y componentes aeroespaciales, debido a las excelentes propiedades físicas y mecánicas que poseen (Gardziella et al., 1999).
Las resinas base de PF del tipo resol son una mezcla líquida de monómeros, dímeros y trímeros metilolados obtenidos por reacción entre el fenol (P) y el formaldehído (F) en medio alcalino y su síntesis consiste en una hidroximetilación-condensación. Durante la hidroximetilación las posiciones *orto-* y *para-* del anión fenolato reaccionan con el F y se generan los hidroximetilfenoles. Estos últimos reaccionan con formación de uniones metileno (—CH_2—) y éter (—CH_2OCH_2—) [Fig. 1 a)].
En las últimas décadas ha surgido interés en reemplazar al P (tóxico, costoso, derivado del petróleo y de importación) por otras materias primas que sean más económicas y de menor impacto ambiental. Una de las alternativas consiste en sustituir parcialmente el P por ligninas, debido a la similitud estructural que existe entre las ligninas y las resinas base de PF (Forss et al., 1979). Las ligninas y sus derivados son polímeros naturales polifenólicos que provienen principalmente de la industria celulósica y su color varía desde el pardo al marrón oscuro. Su estructura es compleja y depende de la especie de planta de la cual es obtenida, del proceso de pulpado usado para separarla de la celulosa, y de los tipos de recuperación que se le realizan al licor negro. Las ligninas comerciales poseen azufre en su composición y se clasifican en dos tipos: de tipo Kraft y los lignosulfonatos (Chávez-Sifontes et al., 2013). Las principales uniones son del tipo —C-C— y —COC— [Fig. 1 b)]. La unión *β*-O-4 representa aproximadamente un 45% y un 60-65% de los enlaces presentes en maderas blandas y duras, respectivamente (Alonso, 2002).

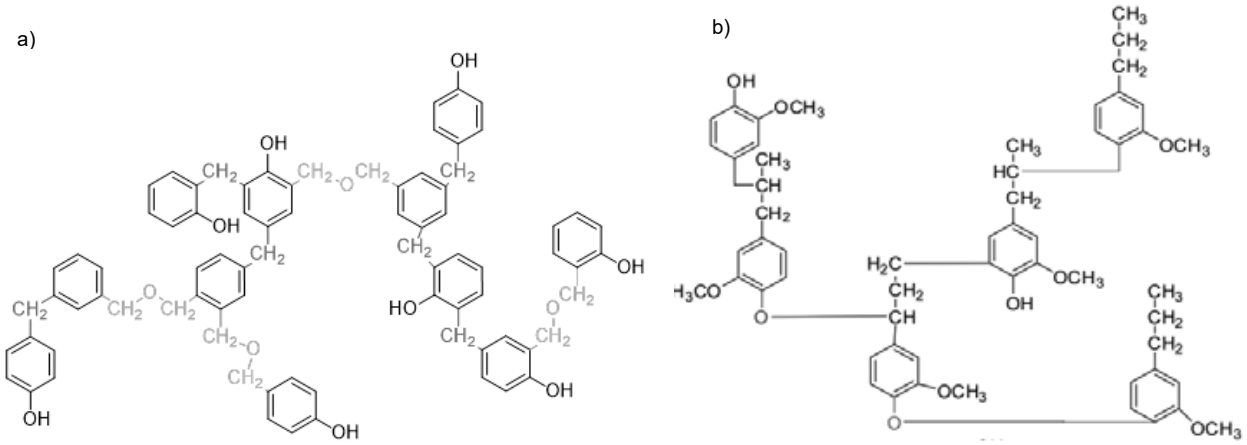


Fig. 1. Estructuras moleculares características: a) resol, b) lignina.

La descomposición de los desechos de resinas de PF únicamente es posible realizando la incineración del material, ya que son muy resistentes a la temperatura, pH extremos, alta humedad, radiación y corrosión. Desafortunadamente el proceso de incineración contamina, por lo que una alternativa es la biodegradación que consiste en la degradación microbiológica de compuestos complejos a sustancias elementales y de contaminantes a compuestos no tóxicos. Sin embargo hasta hace poco más de 9 años no se tenía evidencia de la biodegradabilidad de estas resinas (Gusse et al., 2006). Debido a la importancia de estos materiales en el mercado y la acumulación de sus desechos es imperativo encontrar sistemas biológicos capaces de reciclar al ambiente estos compuestos contaminantes.
Los hongos ligninolíticos, también llamados hongos de la pudrición blanca de la madera, tienen la capacidad de degradar la lignina (Ponce Andrade et al., 2012). Dentro de estos hongos se encuentran los géneros *Alternaria, Ulocladium, Trichoderma, Cephalosporium, Helicomyces, Mucor* y *Aspergillus* (Laura et al., 2009).
En este trabajo se estudió la degradación, por hidrólisis química y enzimática (de cultivos de *Aspergillus niger y* una cepa silvestre aislada e identificada como *Alternaria* sp.) de resinas de lignina-fenol-formaldehído del tipo resol, sintetizados en la empresa Centro S.A, San Francisco, Córdoba. Los resultados de degradación de los resoles derivados de ligninas se compararon con los correspondientes a una resina fenólica comercial.

Materiales y Métodos

Materiales

Los materiales empleados para la síntesis de las resinas fueron: solución de formol al 37% p/p (Alto Paraná, Argentina), fenol (Dalgar S.A, distribuidor en Argentina), lignosulfonato de sodio en polvo con 23,45% p/p de cenizas y 13,63% p/p de azúcares (Vixilex SDX, Brasil), y lignina del tipo Kraft con 21,67% p/p de cenizas y 5,16% p/p de azúcares (Suzano, Brasil).

Síntesis de los Resoles y Obtención de los Materiales Poliméricos

Se sintetizaron 4 resinas de PF del tipo resol en un reactor batch tanque agitado de 3000 l perteneciente a Centro S.A. El resol tradicional PF se obtuvo por reacción entre una solución de P 91% p/p y una solución de F 37% p/p a pH=9. Los resoles modificados se obtuvieron por reemplazo de un 10% p/p de P por lignosulfonato de sodio y lignina de tipo Kraft (LPF10 y KPF10, respectivamente) y un 20% p/p de lignina de tipo Kraft (KPF20) previa reactivación de las ligninas por hidroximetilación con F.
Los materiales poliméricos se obtuvieron por curado de las resinas en estufa a 100 °C durante 24 horas.

Microorganismos

Para los estudios de biodegradación se emplearon una cepa de *Aspergillus niger*, ATCC 16404 provista por el CEPROCOR (Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Desarrollo Científico de la Provincia de Córdoba, Argentina); y una cepa silvestre que desarrolló espontáneamente sobre la superficie de un resto de resina curada modificada con lignina que quedó como remanente en el laboratorio de Centro S.A.
Para el aislamiento del hongo se sembró con ansa aguja en agar extracto de malta (MEA) y se llevó a estufa a 30 °C por 48 h. Las características macroscópicas y microscópicas del hongo se emplearon para su identificación.
La composición del MEA fue la siguiente: 0,1% m/v de peptona de carne (Britania), 2% m/v de extracto de malta (Britania), 2% m/v de glucosa (Cicarelli) y 2% m/v de agar (Britania).
Las cepas fueron conservadas en MEA pico de flauta, cubriendo el micelio con glicerol. Los cultivos se obtuvieron por reactivación de las cepas conservadas mediante 3 siembras sucesivas en MEA. Entre cada siembra, los cultivos se incubaron a 30 °C durante 96 h.

Ensayos de Degradación

Los estudios de degradación se efectuaron en dos etapas. Primero se realizaron ensayos preliminares en cajas de Petri. Luego se llevaron a cabo estudios de degradación en medio líquido basal con y sin microorganismos, y en agua sin microorganismos.
La composición del medio basal empleado para los ensayos fue la siguiente: KH_2PO_4 (2000 mg/l), K_2HPO_4 (7000 mg/l), NH_4NO_3 (1000 mg/l), Glucosa (3000 mg/l), $MgSO_4.7H_2O$ (100 mg/l), $ZnSO_4.7H_2O$ (1 mg/l), $CuSO_4.5H_2O$ (0.1 mg/l), $FeSO_4.7H_2O$ (10 mg/l), $MnSO_4.H_2O$ (2 mg/l) (Spontón et al., 2013). Nótese que se emplearon las sales penta- y mono- hidratadas de $CuSO_4$ y $MnSO_4$ en lugar de las correspondientes hepta-hidratadas.
Para la preparación del inóculo se sembró una ansada del cultivo en 10 ml de caldo extracto de malta a 30 °C durante 96 h. El contenido del tubo se vertió en un Erlenmeyer conteniendo 100 ml de caldo extracto de malta y se incubó a 30 °C durante 96 h.

a) Ensayos Preliminares

Se realizaron ensayos preliminares en cajas de Petri a fin de comprobar la habilidad de degradación de las cepas mediante la observación de halos transparentes alrededor de los puntos de siembra. En estos ensayos, las muestras pulverizadas se mezclaron con el medio de cultivo, se autoclavaron y se vertieron bajo agitación en cajas de Petri. Se realizaron dos ensayos empleando distintos medios de cultivo. En el primero se empleó agar-agar como única fuente de C y N. En el segundo se empleó el medio basal agarizado conteniendo glucosa y nitrato de amonio como fuentes de C y N.
Las cajas de Petri se inocularon con los cultivos de *Aspergillus niger* y la cepa silvestre mediante siembra por punción y se incubaron a 30 °C durante 10 días.

b) Ensayos en Medio Líquido

Para los ensayos en medio líquido se cortaron muestras de resina de aproximadamente 1 cm^2 y se secaron en estufa de vacío a 60 °C hasta peso constante.

b.1) Hidrólisis Enzimática

Para cada hongo se esterilizaron 16 frascos conteniendo 20 ml de medio basal y 4 muestras de cada material (PF, LPF10, KPF10 y KPF20) en autoclave a 121 °C durante 15 minutos. Luego se colocó una muestra de cada material estéril por frasco y se sembró con 1 ml de inóculo. Además se hicieron los correspondientes blancos empleando medio basal con microorganismos (sin adición de polímero). La incubación se realizó en estufa a 30 °C. Se midió el crecimiento de micelio (húmedo y seco) por gravimetría.

b.2) Hidrólisis Química

A fin de seguir la degradación por hidrólisis química, para cada resina (PF, LPF10, KPF10 y KPF20) se colocaron 4 muestras en 4 Erlenmeyer con 40 ml de agua destilada y se llevaron a estufa a 30 °C.

b.3) Caracterización de los Materiales Antes y Después de la Degradación

Se midió la pérdida de peso de los materiales por degradación química a los 30, 60, 120 y 180 días y los correspondientes a degradación enzimática a los 30, 60, 141 y 200 días. Además se hicieron mediciones por FTIR a fin de evidenciar cambios estructurales producto de la degradación.
Los espectros FTIR fueron obtenidos en un espectrofotómetro Shimadzu FTIR-8201 PC de transformada de Fourier en la región de frecuencia de 4000-400 cm^{-1}. Se prepararon pastillas de bromuro de potasio (KBr) conteniendo 2-3% de muestra seca. Para el análisis de los espectros se empleó el software del equipo Hyper IR. La identificación de bandas características se hizo de acuerdo a Poljansek et al., 2005.

Resultados y Discusión

La cepa silvestre aislada se identificó como *Alternaria* sp. Macroscópicamente se observaron colonias algodonosas de inicio blanco, grisáceas, que con el tiempo oscurecían. Microscópicamente se observó la presencia de hifas septadas dematiáceas y conidios con septos transversales y longitudinales redondos en un extremo y estrechos en el otro.
En relación a los ensayos preliminares, se observó la formación de zonas claras (halos transparentes) alrededor de las colonias sólo en las cajas que contenían el medio basal indicando posible degradación de los polímeros. En la [Fig. 2 a)] se observa la formación de un halo transparente alrededor de la colonia de *Aspergillus niger* para KPF20.

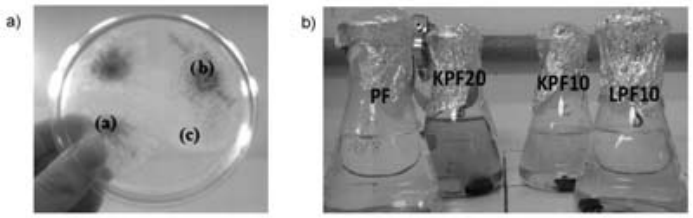


Fig. 2. a) Ensayos preliminares en cajas de Petri para KPF20 [(a) *Alternaria* sp., (b) *Aspergillus niger* y (c) halo de inhibición]; b) Hidrólisis química: 180 días.

En la Fig. 3 se muestran las curvas de crecimiento de micelio húmedo para *Aspergillus niger* y *Alternaria* sp. El *Aspergillus niger* mostró un crecimiento importante y similar para LPF10, KPF10, KPF20 durante los primeros 30 días de incubación [Fig. 3 a)]. El crecimiento para PF y el blanco resultó menor y más lento en comparación con las muestras modificadas con ligninas. A partir de los 50 días comenzó la etapa de muerte seguida de lisis celular. En la [Fig. 3 b)] se observa que la velocidad de crecimiento de la *Alternaria* sp. para LPF10 y KPF20 resultó menor en comparación con la velocidad de crecimiento del *Aspergillus niger* y mayor para PF.

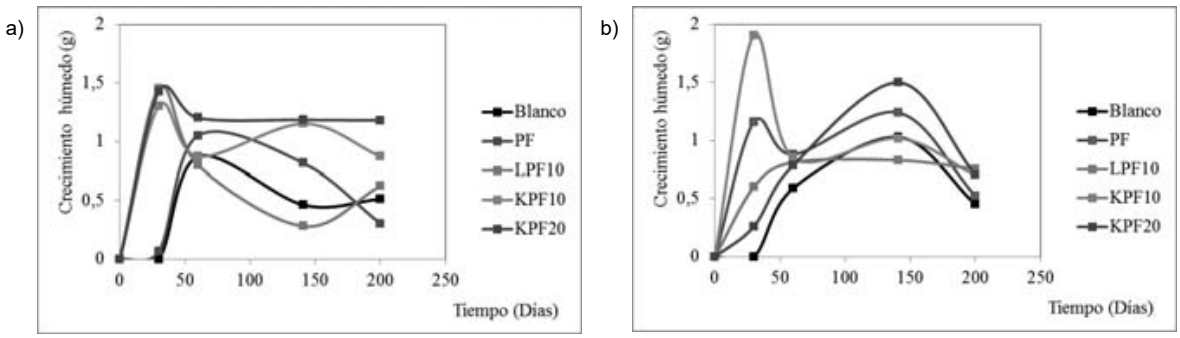


Fig. 3. Crecimiento de micelio húmedo: a) *Aspergillus niger*, b) *Alternaria* sp.

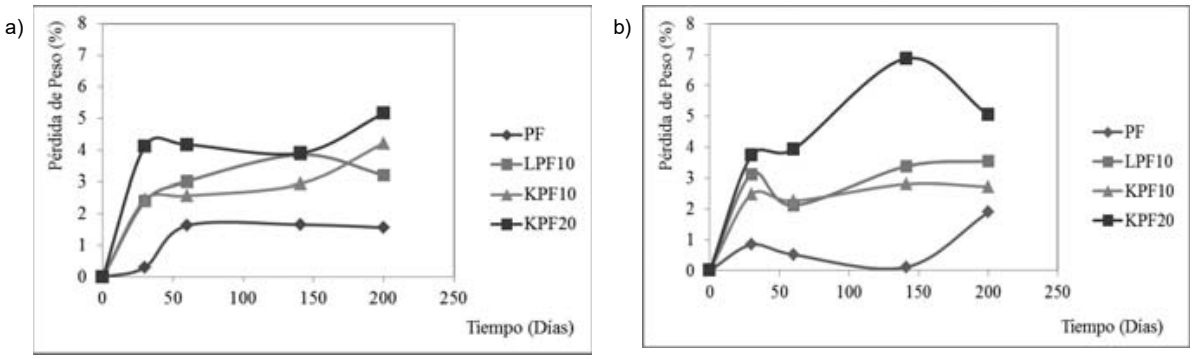


Fig. 4. Pérdida de peso por hidrólisis enzimática: a) *Aspergillus niger*, b) *Alternaria* sp.

El máximo crecimiento para KPF20 se evidenció a los 150 días. El crecimiento de micelio seco mostró un comportamiento similar al crecimiento húmedo.
En la Fig. 4 se muestra la pérdida de peso de los materiales atacados por el *Aspergillus niger* y la *Alternaria* sp. Como era de esperar la pérdida de peso, producto de la degradación, resultó mayor para los materiales modificados con ligninas e incrementó en el siguiente orden: PF < LPF10 < KPF10 <KPF20.
Sólo KPF20 sufrió degradación por hidrólisis química (Tabla 1). Estos resultados coinciden con la intensa coloración del agua del Erlenmeyer para KPF20 al final de la hidrólisis química indicando difusión de los compuestos de degradación de los polímeros [Fig. 2 b)].

Tabla 1. Hidrólisis química

	0 días	30 días	60 días	120 días	180 días
PF	0	0	0	0	0
LPF10	0	0	0	0	0
KPF10	0	0	0	0	0
KPF20	0	0	0	4,21%	3,34%

En la Fig. 5 se muestran los espectros obtenidos por FTIR para las muestras KPF10 a 0, 60 y 180 días de hidrólisis química y enzimática. El seguimiento de la degradación se hizo a partir de la relación de uniones éter/uniones metileno (relación de áreas bajo los picos a 1219 y 1481 cm^{-1}, respectivamente). La relación de áreas se mantuvo constante en el tiempo para las muestras sometidas a hidrólisis química [Fig. 5 a)] mientras que disminuyó en las muestras correspondientes a hidrólisis enzimática [Fig. 5 b) y c)]. Estos resultados sugieren incipiente biodegradación de los materiales evidenciada por la ruptura de uniones del tipo éter. Resultados similares se observaron para LPF10, KPF20 y PF.

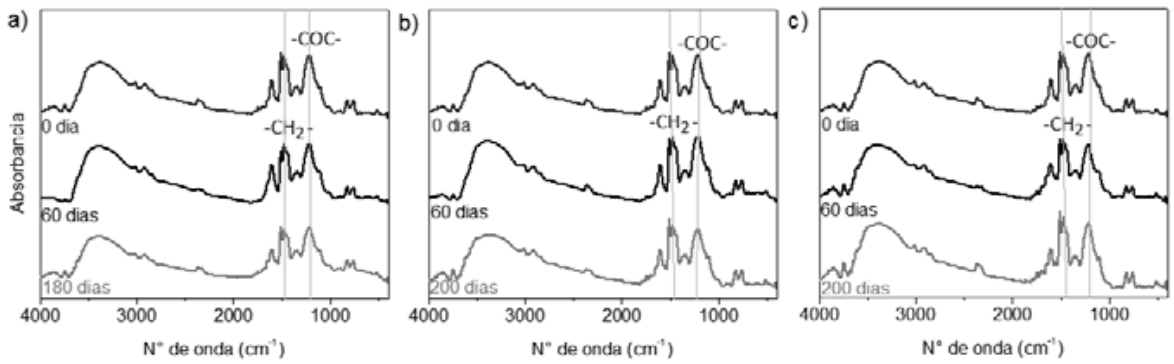


Fig. 5. FTIR para KPF10: a) Hidrólisis química, b) *Aspergillus niger* c) *Alternaria* sp.

Conclusiones

El empleo de ligninas en reemplazo parcial de fenol en la síntesis de resinas de PF del tipo resol, permitió generar nuevas arquitecturas macromoleculares más amigables con el medio ambiente.
El *Aspergillus niger* y la cepa silvestre de *Alternaria* sp. resultaron capaces de degradar los materiales termoestables basados en resoles modificados con ligninas del tipo Kraft y lignosulfonato de sodio en un período de 200 días. El seguimiento del peso del micelio mostró un importante crecimiento durante el proceso. La pérdida de peso de las muestras corroboró la degradación de los materiales que incrementó en el siguiente orden: PF < LPF10 < KPF10 < KPF20. El análisis espectroscópico (FTIR) resultó una herramienta poderosa para dilucidar el mecanismo de degradación de los materiales que involucró hidrólisis de las uniones del tipo éter.
En futuros trabajos se caracterizarán los polímeros antes y después de la biodegradación por microscopía de barrido electrónica (SEM).

Agradecimientos

A UTN, CONICET, y SeCyT por el financiamiento.

Referencias

Alonso, M. V.,"Formulación y Curado de Resinas de Fenol Formaldehido del Tipo Resol con Reemplazo Parcial de Fenol por Lignosulfonato de Amonio", Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, España, (2002).
Chávez-Sifontes, M.; Domine M. E., *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(4), 15-46 (2013).
Forss, K.G.; Fuhrmann, A., *Paperija Puu*, 58(11), 817-824 (1979).
Gardziella, L.A.; Pilato, A.; Knop, A., "Phenolic Resins". Ed. Springer, (1999).
Gusse, A.C.; Millar, P.D.; Volk T., *J. Environ. Sci. Technol*., 40, 4196-4199 (2006).
Laura, J.; Castellanos, P., *Rev. peru. biol*., 16(1), 125-128 (2009).
Poljansek, I.; Krajnc, M.; Sebenik, U., *J. Appl. Polym. Sci.,* 99, 2016-2028 (2005).
Ponce Andrade, G.; Vázquez Duhalt, R.; Rodríguez Vázquez, R.; Medina Ramírez, J.; Jáuregui Rincón, *J. Rev. Int. Contam. Ambie*., 28(2), 159-166 (2012).
Spontón, M.; Casis, N.; Raud, B.; Mazo, P.; Rios, L.; Simonetta, A.; Estenoz, D., *International Biodetereoration & Biodegradation,* 85, 85-94 (2013).

OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL DE ARMADURAS PLANAS POR MEDIO DE ALGORITMOS GENÉTICOS

Autor: Matías Bonelli[(1)]. Tutor: Hugo Begliardo[(2)]
Departamento Ingeniería Civil. UTN-F.R. Rafaela. Acuña 49, (S2300ADA) Rafaela, Santa Fe
[(1)]*matiaskb@outlook.com;* [(2)]*hugo.begliardo@frra.utn.edu.ar*

Resumen

Al resolver una armadura con las técnicas actuales, el calculista diseña y halla una solución que satisface las condiciones establecidas por el método de prueba y error, dependiendo en gran medida de su experiencia. El resultado es una estructura factible desde el punto de vista estructural y de las normas vigentes, pero no necesariamente optimizada.

Este trabajo aplica una nueva técnica de optimización estructural basada en algoritmos genéticos. El método genera un conjunto de soluciones para la misma estructura, que evoluciona hasta llegar al resultado óptimo o cercano al mismo, es decir, el que logra una estructura estable y resistente con minimización del peso.

Los resultados que se presentan evidencian la posibilidad de mejorar significativamente el diseño de las estructuras, a partir de una línea de desarrollo que se impone en el mundo, pero que en nuestro país aún se encuentra poco difundida y estudiada.

1. Introducción

El proceso de diseño estructural es confundido con una de sus etapas: el análisis estructural. Pero el análisis es la etapa final del proceso de diseño y su comprobación [1]. El cálculo no es más que una herramienta para prever si las formas y dimensiones de una construcción son aptas para soportar las cargas a que ha de estar sometida [2]. El objetivo primario del ingeniero estructural es diseñar, no analizar [3].

El profesional corriente, salvo raras excepciones, formado en una escuela que concede exclusiva importancia al análisis, debe encontrar dificultosamente un camino por el procedimiento más lento: prueba y error [1]. Este proceso consiste en definir un diseño inicial cuyo comportamiento es analizado numéricamente. De los resultados de dicho análisis se pueden deducir, por experiencia o intuición, los cambios a realizar para mejorar dicho diseño. Se finaliza el proceso cuando se considera que el diseño es lo suficientemente bueno [4]. El diseño obtenido generalmente no es óptimo desde el punto de vista económico o de ahorro de materiales, ya que se encuentra afectado por una serie de decisiones subjetivas durante el proceso. De este modo, dos proyectistas diferentes llegarán a dos soluciones diferentes perfectamente factibles desde el punto de vista de la resistencia y estabilidad estructural, o del cumplimiento de normas. Sin embargo estas estructuras seguramente tendrán costes y pesos diferentes [5], y muy difícilmente sean el diseño óptimo. El concepto de optimización está en la base de la ingeniería, puesto que la función clásica del ingeniero es diseñar sistemas novedosos, mejores, más eficientes, y menos costosos.

La optimización de peso de las estructuras juega un papel importante en muchos campos de la ingeniería. En algunos aspectos puede ser asociada con la optimización de costes, ya que, obviamente, conduce a un uso óptimo del material [6].

Cuando se trata de armaduras, la optimización se puede dividir en tres categorías; el tamaño, la forma y la optimización de la topología. La optimización dimensional se refiere a la búsqueda de la sección transversal óptima de cada miembro de la estructura; optimización de la forma significa la optimización de la forma exterior de la estructura; y la optimización de la topología describe la búsqueda de la mejor conectividad interna de los miembros [6]; es decir: el número de cavidades [4].

El objetivo de este trabajo es, partiendo una armadura plana predefinida, aplicar un método de optimización de forma, tamaño y topología basado en algoritmos genéticos (AGs). El mismo, por medio de computación evolutiva, permite obtener una estructura de peso mínimo satisfaciendo los requisitos de resistencia y estabilidad.

Los AGs son conjuntos de operaciones altamente paralelas organizadas lógicamente que se inspiran en la evolución biológica y su base genético-molecular. Estos algoritmos hacen evolucionar una población de individuos sometiéndola a acciones aleatorias semejantes a las que actúan en la evolución biológica (mutaciones y recombinaciones genéticas), así como también a una selección de acuerdo con algún criterio, en función del cual se decide cuáles son los individuos más adaptados, que sobreviven, y cuáles los menos aptos, que son descartados [7].En forma general un AG procede de la forma indicada en la Fig. 1.

Fig. 1. Proceso de un AG

2. Metodología

Se tomó como muestra una estructura existente de la ciudad de Rafaela, calculada y ejecutada por un profesional reconocido. Las cerchas correspondientes a la estructura pueden visualizarse en la Fig. 2.

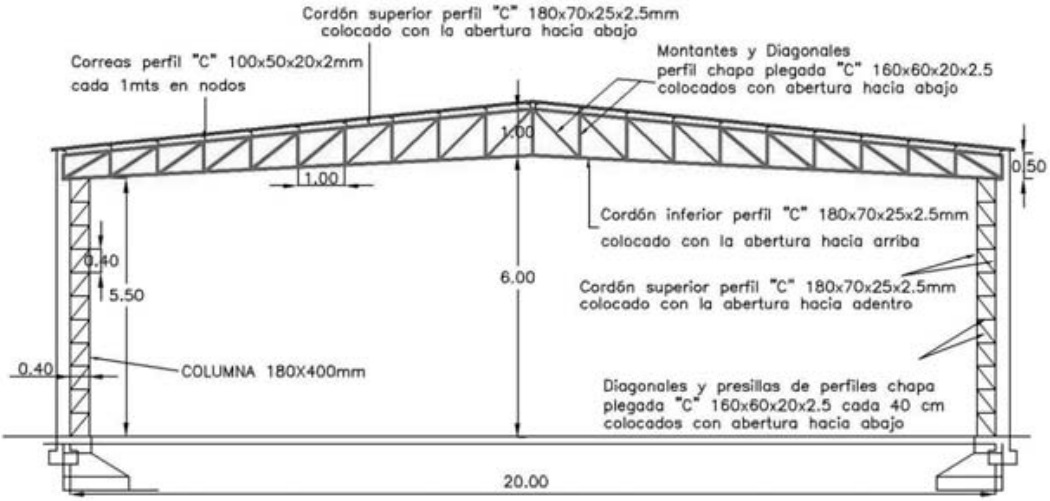


Fig. 2. Corte transversal de estructura existente

La misma posee las siguientes características:

Tipo de celosía: belga (o Howe).
Sección transversal: perfiles conformados en frío tipo “C” galvanizados.
Altura de cantos: laterales: 0,50m; central: 1,00m.
Peso de la celosía (solo perfiles): 456,14kg
Solicitaciones de cálculo: carga muerta (D), sobrecarga (L_r) y viento (W).
Clasificación de vínculos externos: isostática (un apoyo simple y un apoyo doble).
Uniones entre barras: soldadas (nudos rígidos).

A partir de esta armadura de muestra, se buscó la optimización de forma, tamaño y topología (cantidad de cavidades). El objetivo es conseguir la celosía tipo belga que soporte las cargas establecidas haciendo uso de la menor cantidad de material posible, es decir, lograr una estructura de mínimo peso.

En primer lugar se definieron las variables de diseño geométrico y los dominios de las mismas de acuerdo a los parámetros dados por el proyectista para este caso particular. Dichos parámetros pueden observarse en la Tabla 1 y el dominio de la geometría correspondiente, en la Fig. 3.

Tabla 1. Parámetros de diseño

Variable de diseño	Mínimo	Máximo	Observaciones
Altura canto izquierdo (hci)	0.00m	1.00m	Distancia mínima al piso: 5.50m
Altura canto derecho (hcd)	0.00m	1.00m	Distancia mínima al piso: 5.50m
Dif. altura extremos faldón (Δ1)	0.50m	3.00m	Ver Fig. 3
Dif. altura extremos cordón inferior (Δ2)	-1.00m	4.00m	Distancia mínima al piso: 4.50m
Altura canto central	0.00m	4.00m	No es una variable (hci+ Δ1+ Δ2)
Cantidad de segmentos	16	24	Según distancia entre correas
Perfiles	Perfiles C comerciales		Según Normas IRAM – IAS (2002)

Luego se especificaron las condiciones de contorno, es decir, las cargas externas y los vínculos a tierra que tiene la estructura. Los estados de carga se definieron en base a los Reglamentos CIRSOC 101 – 2005 [8], artículo 4.2, CIRSOC 102 – 2005 y CIRSOC 301-2005 [9,10]. De esta manera, se generaron 27 estados de carga que contemplan carga muerta (D), sobrecarga (Lr) y viento (W) en las cuatro direcciones y carga colgada (P). Respecto a los vínculos externos, para coincidir con el cálculo de la muestra, se dispusieron un vínculo doble y un vínculo simple en los extremos de la cercha, como se visualiza en la Fig. 3, resultando una estructura estáticamente determinada por vínculo externo (isostática).

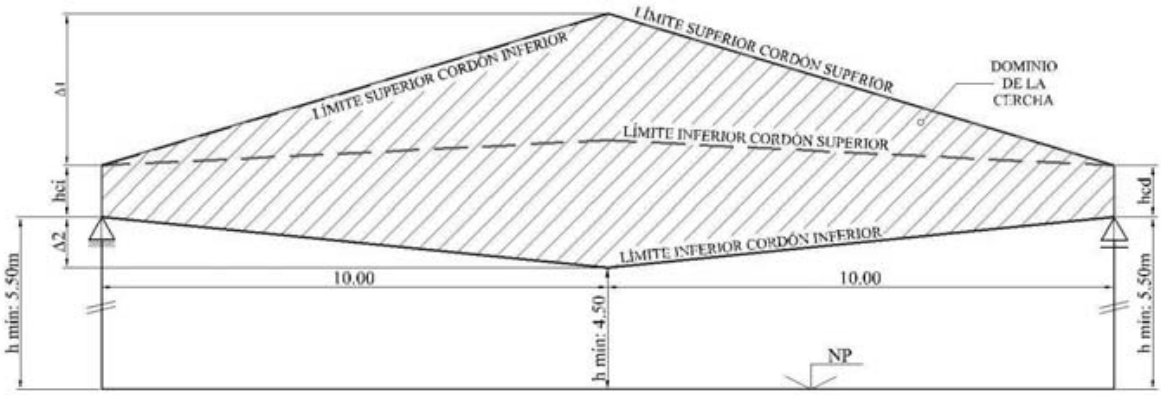


Fig. 3. Dominio geométrico de la cercha

Finalmente se generó una lista de posibles perfiles a utilizar para la materialización de la cercha, teniendo en cuenta geometría y material. La misma corresponde a lo establecido por el Reglamento CIRSOC 302-2005 [11] y las Normas IRAM-IAS 500 205-3 (2002), IRAM-IAS U 500-218 (2002) e IRAM-IAS U 500-2592 (2002) [12,13,14].

Para el empleo de técnicas numéricas de búsqueda y optimización de formas aplicadas a la estructura se recurrió al software de programación visual *Grasshopper 3D* [15] que utiliza para su interfaz gráfica el entorno *Rhinoceros* [16]. A su vez se adaptaron dos plug-in: uno para realizar el cálculo a través del método de los elementos finitos llamado *Karamba 3D* [17], y otro para la optimización a través de AG denominado *Galápagos* [18].

El proceso resolutivo del algoritmo sigue los siguientes pasos:

1. Generación de la geometría: al fijar las variables en un valor específico, el software crea los nodos y las líneas que los unen, es decir: la geometría de la cercha.
2. Creación del modelo: ensamblaje de la geometría con las condiciones de contorno (apoyos, cargas) y los parámetros de entrada (material, secciones utilizables y deflexión máxima).
3. Análisis estructural y optimización de las secciones: el software recorre la lista de perfiles tipo "C" ordenados por peso de menor a mayor y asigna a cada barra el primero que cumple con las condiciones impuestas de acuerdo a los Reglamentos CIRSOC 301-2005 y CIRSOC 302-2005. Este proceso modifica el peso propio de la estructura, generando un nuevo estado de cargas, por lo que el procedimiento se itera cinco veces para lograr un cálculo más preciso.
4. Generación de la estructura: una vez determinadas todas las barras se genera una primera estructura que cumple con las condiciones establecidas, pero con valores de las variables aleatorios. Este constituye el primer individuo de nuestro conjunto de soluciones y la masa de este individuo es la que dará la aptitud del mismo: a mayor masa, menor aptitud y viceversa.
5. Acción del AG: todo el proceso se repite paralelamente al modificar las variables iniciales formando un conjunto de individuos o población denominada "primera generación". Dicha población, que no es más que un conjunto de soluciones al problema, posee individuos de mayor aptitud (menor peso) que otros. Los más aptos son los que se reproducen y mutan creando una segunda generación y así sucesivamente hasta obtener un único individuo que será el óptimo, es decir: el de menor masa propia. Al obtener este individuo óptimo pueden conocerse los valores de las variables que lo definen que son sus parámetros de diseño.

Para validar el AG, se recurrió a cotejar la salida de resultados con ejemplos de la literatura [19, 20].

3. Resultados

Se realizaron distintas ejecuciones del programa, variando los parámetros del AG (población inicial, reproducción inicial y mutación). Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de diseño cerchas de muestra y óptima

Variable de diseño	Cercha de muestra	Cercha óptima
Altura canto izquierdo (hci)	0.50 m	1.00 m
Altura canto derecho (hcd)	0.50 m	1.00 m
Diferencia altura extremos del faldón (Δ1)	1.00 m	0.61 m
Diferencia altura inferior extremos del faldón (Δ2)	0.50 m	-0.99 m
Altura canto central (hci+ Δ1+ Δ2)	1.00 m	2.60 m
Cantidad de segmentos por cordón	20	16
Peso de la estructura	456.14 kg	299.42 kg

La forma óptima obtenida se observa en la Fig. 4 y el detalle de los perfiles en la Fig. 5.

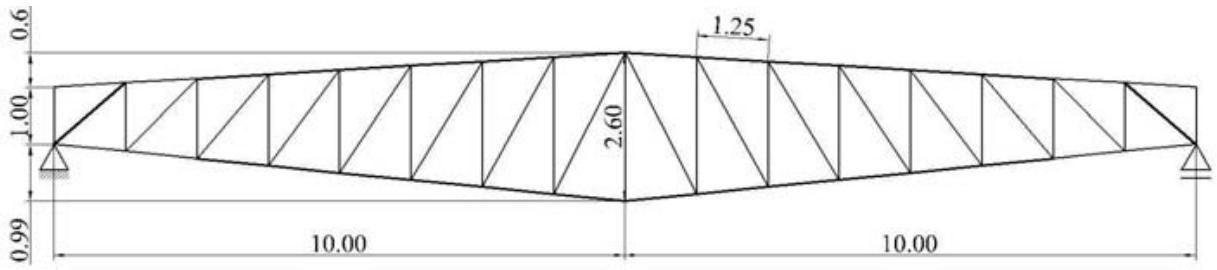


Fig. 4. Geometría tipo belga óptima

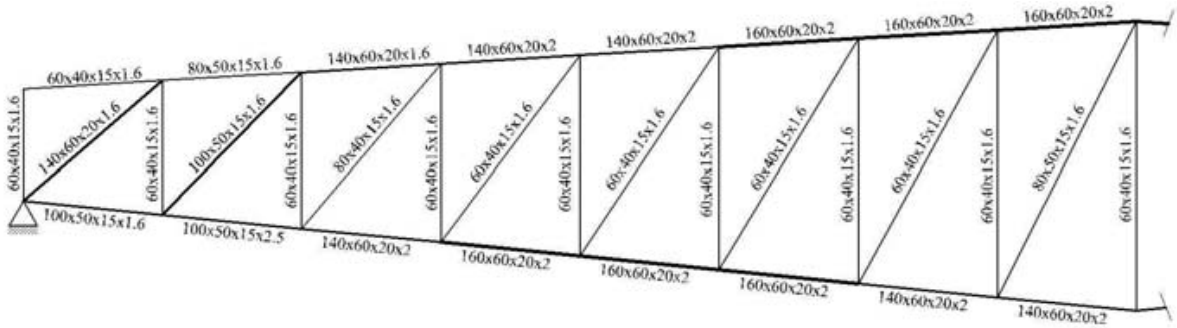


Fig. 5. Detalle de perfiles tipo “C” utilizados (media cercha simétrica)

El AG completa la información con los valores de tensiones axiales y el porcentaje de utilización de cada barra, los momentos flectores y los desplazamientos de cada nudo para cada estado de carga.

4. Discusión

Como punto de partida, la eficiencia del AG es muy alta y se manifiesta a través de la significativa reducción de peso respecto a la muestra (34.4%). El software optimiza el peso de la armadura utilizando el perfil más adecuado de cada sección. Esto es difícil de materializar en casos particulares pero puede ser muy beneficioso en trabajos en serie donde, debido a la cantidad de piezas, el material tiene un papel preponderante.

Sin duda hubiese sido mejor lograr una optimización del coste de la estructura teniendo en cuenta la simplicidad constructiva y la cantidad de mano de obra, entre otros factores. Esto puede lograrse, pero es muy complejo cuantificar dichos parámetros para incluirlos en la función aptitud del AG. Así mismo, en caso de simplificar la estructura utilizando un solo tipo de perfil para los cordones (PCG 160x60x20x2), la cercha sigue teniendo perfiles de menor tamaño y pesaría 331.39 kg, es decir, 27.3% más liviana que la muestra, lo que influye notablemente.

Cada uno de los tres tipos de optimización generados dentro del AG arroja conceptos particulares:

Optimización de tamaño: uno de los parámetros de salida del software es la utilización de la sección transversal, que es el porcentaje de la tensión de trabajo respecto al límite elástico. La utilización de las barras ronda entre el 98.4% y el 99.8%. Esto demuestra la eficiencia de la elección de los perfiles para cada tramo.

Optimización de forma: se aprecia que los cordones adoptan un trazado que se adapta a la ley de momentos flectores. Los cordones se separan en la parte central para obtener un mayor brazo de palanca y, por lo tanto, un mayor momento resistente del conjunto. Esta forma, dentro de las restricciones impuestas, se asemeja a la obtenida en el trabajo “Diseño óptimo de celosías planas con criterios de estado límite último” [21].

En este caso particular, la pendiente de los faldones busca valores bajos porque de esta manera disminuye el área de influencia del viento, aminorando su valor (módulo), además de tener una mayor componente vertical (sentido) que se contrarresta con el peso de la estructura. Cabe recordar que el vector del viento posee un módulo que es directamente proporcional a la superficie de la cubierta, su dirección es perpendicular a la misma (mientras más horizontal el faldón, más vertical el vector viento) y su dirección es hacia arriba (succión).

Optimización topológica: se observa que la cantidad de cavidades tiende al mínimo posible, incluso aumentando el dominio del parámetro (se ejecutó hasta 10 segmentos). Esto demuestra que la estructura es más eficiente cuanto más simple, mientras haya perfiles cuya sección transversal soporte las solicitaciones externas.

5. Conclusiones

La técnica de optimización por medio de AGs logró un comportamiento eficiente, obteniendo una armadura cuyo peso disminuyó significativamente respecto a la conseguida por métodos tradicionales, además de cumplir con las restricciones impuestas y encuadrarse en los reglamentos vigentes. Dicha técnica puede ser empleada en la totalidad de diseños estructurales planos y espaciales, utilizando materiales homogéneos o heterogéneos, y no sólo en este tipo de aplicaciones, sino en muchas otras dentro de la misma ingeniería civil, y en un sinfín de otras disciplinas [22].

Estos nuevos procesos se utilizan desde hace décadas en países desarrollados. Sería de gran importancia estudiarlos y difundirlos ya que le permiten al Ingeniero obtener un potente instrumento de diseño, relegado o confundido en nuestro país por el análisis estructural.

Referencias

[1]. Reboredo, A. (1999). El proceso de diseño estructural. Publicación Centro de Ing., Arq. y Agrim. de Mendoza y de la Sociedad de Arquitectos de Mendoza, Mendoza.
[2]. Torroja Miret, E. (2007). Razón y ser de tipos estructurales. 3ª Ed. revisada: Doce Calles, Madrid.
[3]. Norris, C., Wilbur, J., Utku, S. (1977). Elementary Structural Analysis, 3ª Ed. Mc-Graw-Hill, Singapore.
[4]. Nicolás, M. (2006). Optimización de forma y topología con malla fija y algoritmos genéticos. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.
[5]. Sánchez Caballero, S. (2012). Optimización estructural y topológica de estructuras morfológicamente no definidas mediante algoritmos genéticos. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
[6]. Hultman, M. (2010). Weight optimization of steel trusses by a genetic algorithm. Tesis de maestría, Lund University, Lund.
[7]. Garduño Juárez, R. (2012). Algoritmos genéticos. La Unión de Morelos, 3 /9/12, pp. 36-37. Disponible en: http://acmor.org.mx/descargas/12_sep_03_algoritmos.pdf. Acceso 17-5-16
[8]. Reglamento CIRSOC 101. (2005). Cargas y sobrecargas gravitatorias para el cálculo de estructuras de edificios. Ed. INTI, Buenos Aires.
[9]. Reglamento CIRSOC 102. (2005). Reglamento argentino de acción del viento sobre las construcciones. Ed. INTI, Buenos Aires.
[10]. Reglamento CIRSOC 301. (2005). Reglamento argentino de estructuras de acero para edificios. Ed. INTI, Buenos Aires.
[11]. Reglamento CIRSOC 302. (2005). Reglamento argentino de elementos estructurales de tubos de acero para edificios. Ed. INTI, Buenos Aires.
[12]. Norma IRAM-IAS 500 205-3 (2002). Ediciones IRAM, Buenos Aires.
[13]. Norma IRAM-IAS U 500-218 (2002). Ediciones IRAM, Buenos Aires.
[14]. Norma IRAM-IAS U 500-2592 (2002). Ediciones IRAM, Buenos Aires.
[15]. Grasshopper 3D (Versión 0.9.0076).Disponible en: http://www.grasshopper3d.com/
[16]. Rhinoceros (Versión 5.0). Disponible en: http://www.rhino3d.com
[17]. Karamba 3D (Versión 1.1.0). Disponible en: http://www.karamba3d.com/
[18]. Galápagos. Disponible en: http://www.grasshopper3d.com/group/galapagos
[19]. Argüelles Álvarez, R. (1975). La estructura metálica hoy. Tomo I, 2ª.Ed. Bellisco, Madrid.
[20]. Bonelli, M., Maltagliatti, I., Gudiño, S. (2015). Optimización estructural y topológica de armaduras mediante algoritmos genéticos. JIT 2015. 3ª Jornada de Jóvenes Investigadores Tecnológicos. UTN FRVT. (Revista Tecnología y Ciencia UTN, aceptado).
[21]. Gil L., Andreu, A. (1999). Diseño óptimo de celosías planas con criterios de estado límite último. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería. Vol. 15, No. 4, pp. 447-460, Universidad Politécnica de Catalunya, Cataluña.
[22]. Coello Coello, C. (1994). Uso de Algoritmos Genéticos para el Diseño Óptimo de Armaduras. Congreso Nacional de Informática “Herramientas Estratégicas para los Mercados Globales”, pp. 290-305. Fundación Arturo Rosenblueth, México D.F.

CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

Autores: *Gerardo D. Szwarc[(1)], Nicolás J. Rocchia[(2)],*
Docentes Asesores: *Diego M. Ferreyra[(3)], Ana C. Sarmiento[(4)]*
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo GISEner.
[(1)]gerardoszwarc@gmail.com, [(2)]nicolasrocchia@gmail.com,
[(3)]dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar, [(4)]csarmiento@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

En el presente trabajo, se realiza una caracterización general de la generación de un sistema solar fotovoltaico interconectado con la red eléctrica. Sobre el sistema, instalado en el marco del proyecto IRESUD, se obtuvieron datos medidos a través del equipo inversor, el cual convierte la corriente continua de los paneles en corriente alterna para inyectarla a la red.

La instalación se considera piloto debido a que es la primera en la provincia de Córdoba en funcionar sin baterías y estar interconectada a la red eléctrica. Esto quiere decir que, si la generación de energía del equipo fuera superior al consumo local, la energía restante se entregaría a la red en lugar de almacenarse en baterías o acumuladores.

Para el estudio, se analizaron datos eléctricos recabados durante 6 meses desde agosto de 2015 hasta febrero de 2016.

Palabras clave: Energía solar, paneles fotovoltaicos, interconexión a red, instalación piloto, caracterización.

Introducción

La instalación esta ubicada en la U. T. N. Facultad Regional San Francisco y consta de doce paneles solares fotovoltaicos de 1,65m^2, un peso de 22 kg por panel y una eficiencia del 14,2% (Brandoni Solare Spa, 2012). Esta se ha dimensionado teniendo en cuenta el consumo promedio de un hogar, de aproximadamente 360 kW·h por mes (Righini et ál., 2011).

Analizando visualmente la distribución de los datos brindados por el inversor, se observó que la distribución de potencias generadas durante un día tiene siempre, como es de esperarse, un pico en la región central correspondiente a los horarios de mayor radiación solar, al mediodía y en las primeras horas de la tarde. Esto hizo suponer que una curva de regresión polinomial de grado dos representaría con razonable fidelidad los valores de potencia de generación durante el día.

Además, aun sabiendo que existen variaciones de acuerdo a la hora de inicio y fin de generación y las condiciones climáticas, se previó la posibilidad de encontrar un estadístico que centralice adecuadamente las potencias generadas con respecto al tiempo durante cada mes del año. Esto, para obtener una curva centralizada mensual que permita inferir potencias generadas a determinada hora del día en un mes específico.

Dentro de los objetivos de esta investigación se encuentra la difusión a nivel nacional de esta fuente alternativa de producción de energía eléctrica y la contribución a las discusiones sobre la generación distribuida en la República Argentina (Durán et ál., 2014).

Desarrollo

El equipo inversor, en coordinación con la PC a la que se encuentra conectado, registra los siguientes datos: hora, temperatura del inversor, voltaje de DC, corriente AC, frecuencia, potencia, energía acumulada, y horas de trabajo acumuladas (AEG Power Solutions GmbH, 2012).

Estos valores son sensados por el equipo cada segundo y entregados cada tres minutos a un software provisto por el fabricante, que guarda los valores en una base de datos.

De todos estos datos, se ha seleccionado para su análisis la potencia entregada, prestando también atención a la generación total diaria y a la cantidad de horas de generación por día. Se eligieron estos datos ya que son los más representativos en cuanto al funcionamiento de la instalación.

Considerando el tiempo (horas y minutos) x como variable independiente y la potencia generada y como variable dependiente, acorde a la bibliografía de referencia (Devore, 2012), la ecuación del modelo de regresión polinomial cuadrática es: $Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \varepsilon$ donde ε es una variable aleatoria, normalmente distribuida con media 0 y varianza σ^2.

El valor esperado de Y es una función polinomial de grado 2 en x y la varianza de Y, que controla la dispersión de los valores observados alrededor de la función de regresión, es la misma para cada valor de x.

Para estimar $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ se considera la función de prueba $y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2$ y se utiliza el método de los mínimos cuadrados. La bondad de ajuste de la función a los datos observados se puede medir calculando la suma de los cuadrados de las desviaciones: $f(b_0, b_1, b_2) = \sum_{i=1}^{n} \left[y_i - (b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^2) \right]^2$.

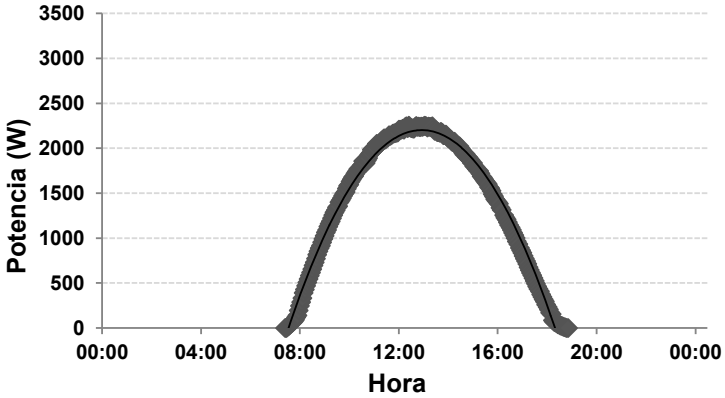
Los estimadores $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$ son aquellos valores de b_0, b_1, b_2 que minimizan esta última expresión. Para hallar esos valores se toman las derivadas parciales $\partial f / \partial b_0$, $\partial f / \partial b_1$, $\partial f / \partial b_2$ y se las iguala a cero, obteniéndose así un sistema de ecuaciones para las estimaciones. Para esto, es importante notar que la función de prueba $b_0 + b_1 x + b_2 x^2$ es lineal en b_0, b_1, b_2 (aunque no lo es en x), por lo que las ecuaciones resultantes son lineales.

Por otra parte, para hacer inferencias acerca de los parámetros de la función de regresión debe estimarse la varianza de error σ^2. Con $\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i + \hat{\beta}_2 x_i^2$, el residuo i-ésimo es $y_i - \hat{y}_i$, y la suma de los cuadrados de los errores (suma de los residuos cuadrados) es: $SSE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$, de lo cual la estimación de σ^2 resulta ser: $\hat{\sigma}^2 = SSE / n-3$ donde n es la cantidad de observaciones a las cuales se resta 3 debido a que se pierden 3 grados de libertad al estimar $\beta_0, \beta_1, \beta_2$.

Haciendo $SST = \sum (y_i - \bar{y})^2$, donde $\bar{y}$ es la media de la variable y, entonces SSE / SST es la proporción de la variación total de las y_i observadas no explicada por el modelo cuadrático. La

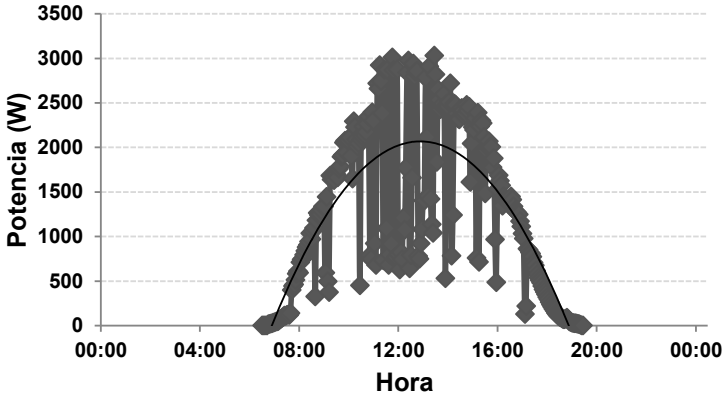
cantidad $R^2 = 1 - SSE/SST$ es la proporción de variación explicada por el modelo y se llama coeficiente de determinación. Dicho valor es $0 \leq R^2 \leq 1$ y cuando más alto sea su valor, el modelo explicará mejor la variación de y.

En las Fig. 1, 2 y 3, se pueden comparar, para tres días muy diferentes, los registros de la potencia de generación y sus respectivas curvas de regresión. En la Fig. 1 se muestran los valores de un día mayormente soleado, en la Fig. 2 se representa un día parcialmente nublado, mientras que, en la Fig. 3 se grafican las potencias generadas de un día mayormente nublado. Los valores de R^2, como es de esperar, difieren notoriamente.



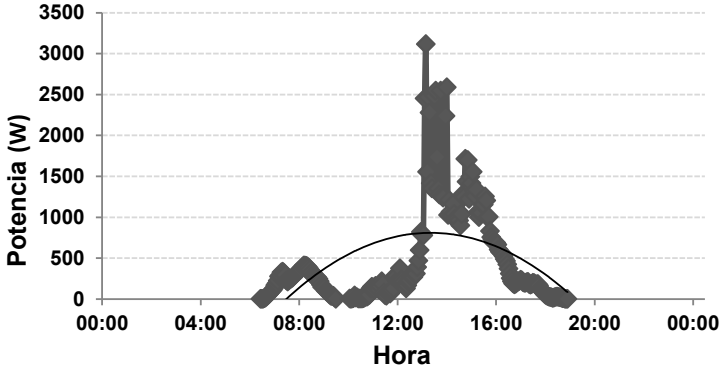
Fecha: 03/09/2015
Generación: 15,6 kW·h
Horas de generación: 11:14:08
Curva de regresión:
$y = -43\,638 \cdot x^2 + 47\,023 \cdot x - 10466$
R^2: 0,986

Fig.1: Gráfica de dispersión de potencia generada un día mayormente soleado



Fecha: 20/02/2016
Generación: 16 kW·h
Horas de generación: 12:36:00
Curva de regresión:
$y = -33\,226 \cdot x^2 + 35\,674 \cdot x - 7507$
$R^2 = 0,629$

Fig. 2: Gráfica de dispersión de potencia generada un día parcialmente nublado



Fecha: 29/10/2015
Generación: 5,8 kW·h
Horas de generación: 12:09:49
Curva de regresión:
$y = -13\,541 \cdot x^2 + 15\,059 \cdot x - 3378$
$R^2 = 0,243$

Fig. 3: Gráfica de dispersión de potencia generada un día mayormente nublado

Se analizaron los registros de generación para todos los días del período considerado, entre el inicio de la toma de datos en agosto de 2015 y el final de febrero de 2016, y se obtuvieron los coeficientes R^2 de sus curvas de regresión. Se pudo determinar que el 50% de los valores de R^2

son mayores o iguales a 0,769, y que el 25% son mayores o iguales a 0,892. Estos valores resultan altamente aceptables para un estudio de estas características (Triola, 2013). En la Fig. 4, se muestran los valores de los coeficientes de determinación R^2 obtenidos.

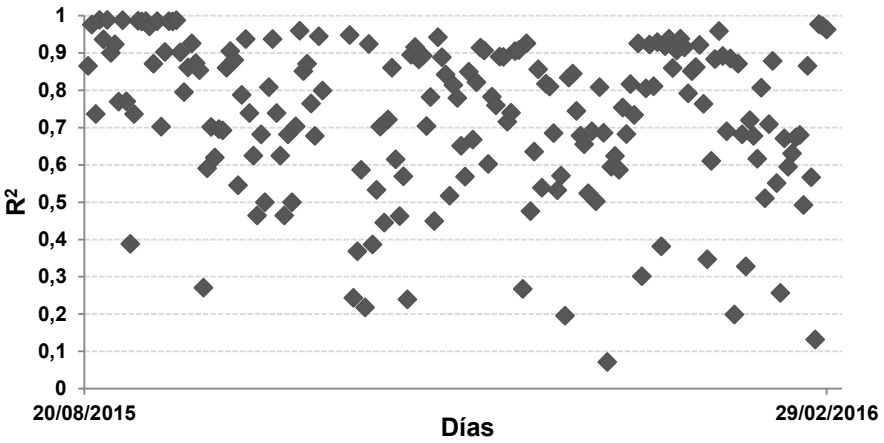


Fig. 4: Valores del coeficiente R^2 en todos los días analizados

Para hacer comparables las curvas de distribución de potencia generada en diferentes días, se dividió cada día en bloques de tres minutos, ya que este es el intervalo de tiempo en el cual el equipo inversor entrega los datos. Estos intervalos se enumeraron y se asignaron los datos de potencia de cada día al bloque correspondiente. Además, se observó que las variaciones en cuanto a hora de inicio y fin de generación y fluctuaciones climáticas, se atenuaban si se consideraban los días de un mismo mes del año. De esta forma, fue posible obtener una medida de centralización estadística acorde a los datos para resumir la información mensual con datos representativos. Luego de analizar todos los meses disponibles hasta el momento, se observó que la mediana de la distribución era la medida de centralización que se ajustaba más fielmente a los datos de generación.

En la Fig. 5a, a modo de ejemplo, se muestran todos los datos de potencia registrados durante enero de 2016, superponiendo los datos de los 31 días. Puede observarse claramente una mayor concentración de datos en torno a la mediana de los valores tomados (Fig. 5b).

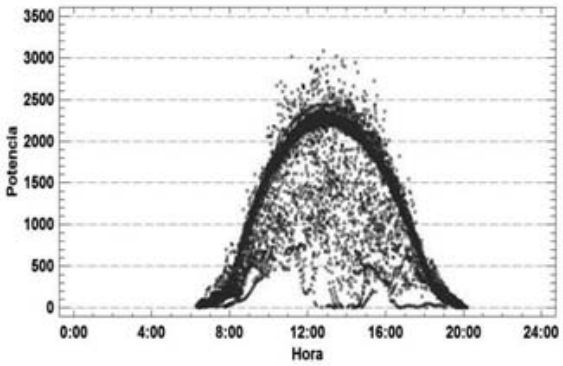


Fig. 5a: Potencias en W generadas durante el mes de enero

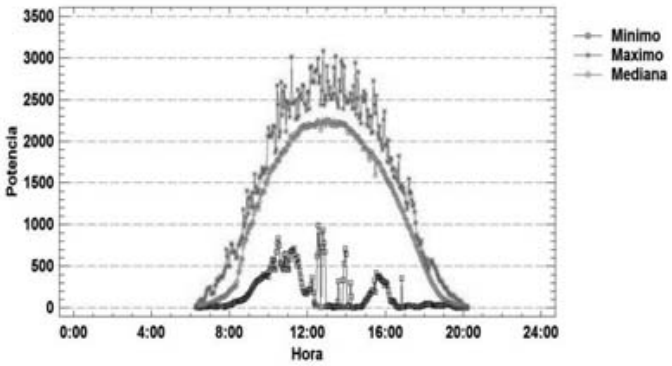


Fig. 5b: Mínimos, máximos y medianas de potencias en W generadas el mes de enero

También, para el período completo, se analizaron los valores totales de generación diaria: como se ve en la Fig. 6, no siguen un patrón determinado sino que varían constantemente. Estas

variaciones surgen naturalmente por la variabilidad climática que influye en la generación. Pese a esto, las curvas de distribución diarias dentro de un mismo mes resultan comparables.

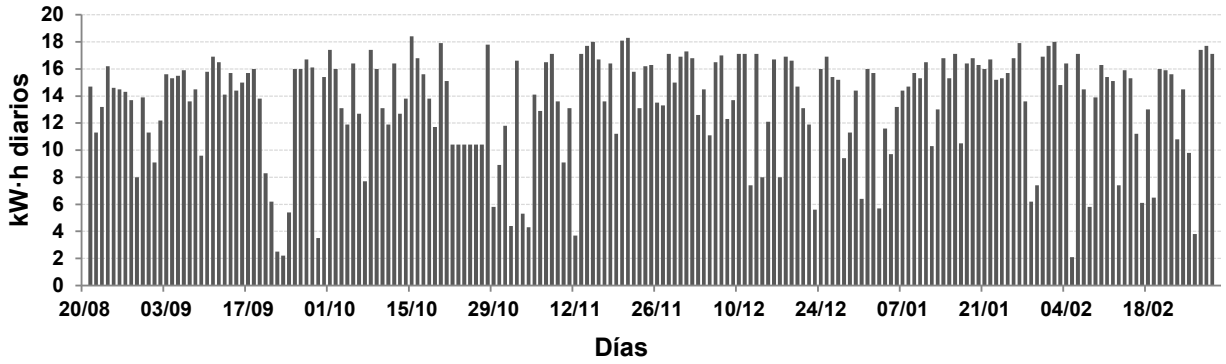


Fig. 6: Energía generada diariamente durante el período considerado

La generación total mensual estimada antes de la realización del proyecto fue de 330 kW·h. En la Fig. 7, puede notarse que, en todos los meses relevados, se ha superado este valor, aunque debe tenerse en cuenta que son los de mayor radiación solar durante el año.

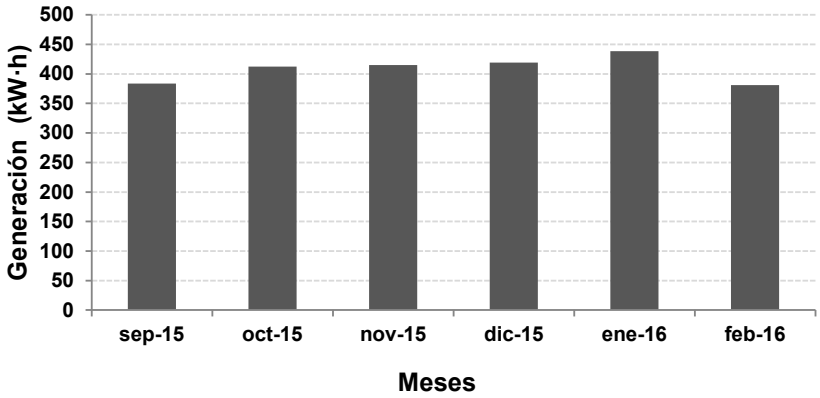


Fig. 7: Generación mensual

En este gráfico no se incluye el mes de agosto de 2015 porque los datos obtenidos en ese mes son parciales y no totales.

Conclusiones

En cuanto a los meses considerados, se concluye que, como es de esperar, se produce mayor generación de energía eléctrica fotovoltaica en los meses de verano, pese a las variaciones climáticas que pudieran ocurrir. Se espera que el nivel de generación sea menor en los meses de otoño e invierno, pero suficiente para alcanzar en promedio el valor de generación estimado.

Luego de haber tomado los datos de potencias generadas cada 3 minutos durante aproximadamente 200 días de generación, y tras calcular las respectivas curvas de regresión cuadrática para cada día conjuntamente con sus coeficientes de determinación R^2, se puede concluir que las curvas cuadráticas de regresión aproximan con suficiente fidelidad la variación de la potencia de generación diaria de una instalación solar fotovoltaica.

Habiendo calculado los valores de las medidas de centralización de la distribución mensual, se puede concluir que, la mediana de la distribución permite estimar puntualmente, de manera

adecuada, la potencia generada en un determinado momento de un día correspondiente a un mes específico.

Referencias bibliográficas

AEG Power Solutions GmbH, "*Protect PV 2000 & 2800 On-Grid Solar Inverter. Operating Instructions*", Warstein-Belecke (Germany), July 2012

Brandoni Solare Spa, "*Modulo FV BRP6360064-XXX. Schedatecnica*", Castelfidardo (Italia), septiembre de 2012, rev.nro. 16

Devore, Jay L. "*Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*", Octavaedición, Cengage Learning, Año 2012, ISBN 9786074816198

Durán JC, Socolovsky HP, Raggio D, Godfrin EM, Jakimczyk J, *et ál.* "*Proyecto IRESUD: interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos. Estado de avance a julio de 2014 y primeras mediciones en sistemas piloto*", Actas de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 2, 2014 (pp. 04.127-04.137), ISBN 978-987-29873-0-5

Righini R, Grossi Gallegos H, "*Mapa de energía solar colectada anualmente por un plano inclinado un ángulo óptimo en la República Argentina*", Actas del IV Congreso Nacional/Tercero Iberoamericano sobre Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía (HYFUSEN), 2011 (pp. 11-161)

Triola, Mario F. *"Estadística"*, Décima edición, Pearson Education, Año 2013, ISBN 9786073217682

HERRAMIENTA DE SOFTWARE PEDAGÓGICA PARA IDENTIFICAR RELACIONES Y COMPORTAMIENTOS EN ENTORNOS DE EDUCACIÓN VIRTUAL

Rodrigo Jacznik, Mariano Tassara, Ivan D'Uva, Guillermo Baldino
Tutores: Roxana Giandini y Leopoldo Nahuel
Grupo de Investigación y desarrollo Aplicado a Sistemas Informáticos - GIDAS
UTN Facultad Regional La Plata
{rjacznik ,mtassara, iduva, gbaldino, lnahuel} @linsi.edu.ar

Resumen:
Los Entornos Virtuales de Educación y Aprendizaje (EVEAs) se encuentran actualmente instalados como un paradigma complementario en la educación universitaria. El uso de este tipo de herramientas tecnológicas, necesitan estrategias y distintos enfoques metodológicos por parte del Docente para llevar adelante el dictado de la clase, generando así una nueva forma de relacionarse, asincrónica y virtual. En base al crecimiento y afianzamiento de la enseñanza mediada por las TICs, trabajamos en el análisis de distintas métricas que nos permitan estudiar las relaciones entre alumnos dentro un curso virtual, y el posible impacto en el desempeño académico a lo largo de la carrera. Para esto se desarrolló un plugin específico para la plataforma Moodle que permite analizar, en una primera etapa, la métrica "centralidad" en un aula virtual. Consideramos que este tipo de herramientas se vuelven imprescindibles para medir y evaluar distintos aspectos sobre el comportamiento y/o desempeño de los alumnos por parte de los docentes, y al mismo tiempo permitir proyectar indicadores para evaluar dichos aspectos del alumnado.

Palabras Claves:
Herramienta software, Rendimiento académico, EVEAs, Moodle, Medidas de Centralidad.

1. Introducción

En un contexto educacional virtual, la evaluación no es un proceso de naturaleza descendente que consiste en controlar y en exigir al evaluado sino que es un proceso de reflexión que exige a todos los miembros de la institución el compromiso con el conocimiento y con la mejora [1].
Un Entorno Virtual de Enseñanza Aprendizaje (EVEA) es un espacio virtual en el que se agrupan las distintas herramientas y servicios para el aprendizaje y donde interaccionan el personal de gestión institucional, el profesorado y los estudiantes [2].
La posibilidad de producción de materiales que proporcionan los EVEA permiten confeccionarlos de distintas maneras, como textos, imágenes, audio y videos. Además acrecientan la fluidez y apertura de la comunicación entre docentes, alumnos y lectores en general. Las relaciones que se establecen a partir del uso de estas herramientas que hoy en día ofrece y hace posible el acceso a internet posibilitan y optimizan en varios casos la interacción entre usuarios (docente y alumnos) ya sea dentro del contexto de la web o fuera de la misma [3].
La educación virtual es un modelo que trata de ser flexible. Está basado en la filosofía de la asincronía y no concurrencia, es decir, no es necesario que coincidan ni en el tiempo, ni en el espacio, tampoco los agentes que participan en el proceso de aprendizaje.
Uno de los problemas que tienen en común tanto la Educación Virtual, la Educación a Distancia, y la Educación Presencial, es el temor de que muchas personas inicien dichos cursos para posteriormente abandonarlos.
Es por eso, que el desarrollo de herramientas que permitan medir las relaciones dentro del aula virtual de un EVEA y sus implicancias en el rendimiento de los alumnos se tornan valiosas en la medida que permiten anticipar acciones a tomar. No solo el desarrollo de contenidos y de herramientas de evaluación se vuelven primordiales en este tipo de

entornos, sino que consideramos que herramientas que permitan darle un estado de situación de los alumnos dentro del curso, son fundamentales para lograr el objetivo en el cual se logre una adecuada transferencia de los conocimientos del profesor a los alumnos. En este trabajo desarrollamos para un curso virtual en Moodle, un prototipo de un plugin para medir las interacciones en un foro del curso, aplicando los criterios de la métrica centralidad. De esta forma el docente tiene una herramienta que le ayuda a reconocer, dentro de ese curso, aquellos alumnos que puedan tener ascendencia o mayor participación que sus compañeros. Como trabajo futuro, esperamos ampliar el plugin para poder calcular otras métricas, útiles para evaluar las relaciones dentro de un curso virtual.

2. Implicancias del proceso de evaluación de alumnos en EVEAs

2.1. Comparaciones entre evaluaciones presenciales o clásica y a distancia

Los procesos de enseñar y aprender revisten de diferencias metodológicas que superan los aportes tecnológicos que se pudieran implementar [4].

En la enseñanza presencial el profesor generalmente comparte el conocimiento guiando a los alumnos durante el transcurso de la clase, trazando los lineamientos y guías que los alumnos deberán seguir. En este paradigma el alumno podría tener un rol mayormente pasivo, siguiendo los ritmos del curso pautados por el docente.

En la enseñanza virtual el profesor puede actuar como tutor y guiar los cursos a través del diseño de situaciones de aprendizaje. Además modela los contenidos de manera tal que estén disponibles en un entorno informático. En estos casos, el alumno podría tener un rol más activo del proceso de aprendizaje. Puede elegir el ritmo de trabajo y es responsable de acceder a los contenidos puestos a disposición por el/los profesor/es durante el desarrollo del curso.

En la enseñanza presencial el método de aprendizaje es primordialmente cooperativo. El desarrollo de actividades es tanto individual como grupal. El profesor actúa como portador del conocimiento, el cual es compartido con los alumnos durante el desarrollo de la clase. Los tiempos de aprendizaje son sincrónicos. El diálogo es cara a cara.

En la enseñanza virtual la metodología de aprendizaje es primordialmente colaborativo. Las actividades pueden ser individuales y grupales. La construcción y transferencia del conocimiento se logra desde la participación activa y responsable del alumno, y de cómo este accede a los distintos repositorios puestos a disposición por el equipo de profesores y tutores. El aprendizaje se puede dar tanto de forma sincrónico como asincrónico.

2.2. El rol del Docente en un EVEA: identificación y tratamiento de conflictos

A través del seguimiento los docentes/tutores pueden estimular, o si es necesario, orientar el aprendizaje de los estudiantes. En algunos incluso permiten realizar un seguimiento estadístico de accesos a los cursos y a los materiales de éstos. Para estos objetivos consideramos importante que los diferentes EVEAs cuentan con herramientas para gestionar contenidos, métodos de aprendizaje, y módulos que permiten ejercer una mediación y seguimiento virtual de los alumnos [5].

El tutor [6] [7] no solo debe funcionar como un proveedor de contenidos sino que debe ser también un facilitador del aprendizaje, guiando a los alumnos a través de una metodología que estimule la participación. Si bien hemos encontrado algunos desarrollos para la facilitación de contenidos y seguimiento del acceso a cursos, no hemos podido encontrar una herramienta que sirva de complemento al docente para el análisis de situaciones problemáticas dentro de los cursos. Es por esto que, a partir de la definición de métricas que nos brinden información a analizar sobre diferentes relaciones entre alumnos dentro del aula virtual , hemos decidido desarrollar un prototipo para el análisis de medidas de centralidad en un curso dictado a través del EVEA Moodle

2.3. Utilización de la plataforma Moodle

Actualmente Moodle es uno de los EVEAS con mayor cuota de penetración en diferentes ámbitos, tanto académicos como no académicos. La herramienta está disponible con la arquitectura actual desde el año 2001 y su última versión estable es la 3.0.4 a Marzo del 2016. De acuerdo a la estadísticas del sitio, cuenta con más de 9 millones de usuarios registrados en más de 75 mil cursos en casi 230 países.

Tabla 1: Estadisticas Moodle (https://moodle.net/stats/)

Registered sites	76
Countries	229
Courses	9.543.239
Users	85.753.956
Enrolments	254.237.738
Forum posts	173.762.689
Resources	87.531.347
Quiz questions	447.365.854

Debido a que es Código Abierto, Moodle puede ser personalizado para adecuarlo a necesidades individuales o específicas para una determinada organización. Su configuración modular permite a los desarrolladores crear plugins e integrar aplicaciones externas para lograr funcionalidades específicas.
En base a las necesidades detectadas en el ámbito de la UTN Facultad Regional La Plata (UTN FRLP), hemos propuesto analizar las ventajas de desarrollar e implementar un plugin propio para analizar y presentar en forma de visualizaciones métricas para los profesores. Este plugin está orientado a analizar interacciones entre alumnos, detectar conflictos, posibles casos de abandono, etc. La necesidad parte de poder facilitar herramientas al profesor de un curso virtual para que pueda desarrollar la clase con éxito logrando el objetivo final de que la mayor cantidad de alumnos finalicen los cursos, detectando y tomando acciones, en lo posible preventivas, y en etapas tempranas.

3. Propuesta de desarrollo del plugin IARSE

3.1 Centralidad

La idea de centralidad aplicada a la comunicación humana fue introducida por Bavelas en 1948 [8]. A él le interesaba en particular la comunicación en los grupos pequeños, y desarrolló la relación entre la centralidad y su influencia en los procesos grupales.
El análisis de un grupo a través de la centralidad está relacionado con el objetivo de poder analizar la capacidad del grupo a la hora de resolver problemas, con la percepción del liderazgo y con la satisfacción personal de los miembros del mismo [9].

Tanto los foros como las discusiones de un curso virtual pueden ser considerados redes, ya que poseen nodos, relaciones y flujos. Se puede considerar a cualquier red como un grupo de individuos que, en forma agrupada o individual, se relacionan con otros con un fin específico, caracterizado por la existencia de flujos de información. El grado de centralidad es el número de actores a los cuales un actor está directamente unido. Se divide en grado de entrada y salida según la dirección que tenga el flujo en la relación [10].

3.2 Plugin IARSE: Arquitectura

En el marco de las tareas de investigación y desarrollo del Proyecto IARSE, perteneciente al Grupo de Investigación GIDAS de la UTN FRLP, se analizaron diferentes plugins de Moodle [11], no encontrándose alguno que resuelva la problemática planteada de acuerdo a las necesidades encontradas en dicha universidad. A partir de esto se decidió comenzar el desarrollo de un plugin propio que, idealmente, determine un amplio conjunto de métricas sociales que proveerán elementos concretos permitiendo, a su vez, al docente a cargo de un curso aplicar mejoras constantes en la calidad de aprendizaje, dedicando especial atención a las características y necesidades de los alumnos.

Para realizar el desarrollo del plugin, se determinó que este sea incremental y que presente resultados utilizables a medida que se le agregan características y análisis de métricas, dependiendo de las líneas de investigación que tome el proyecto en el tiempo.

Como una primera etapa, se decidió que el plugin actúe sobre las discusiones dentro de los foros de un curso virtual de Moodle, y que en ellas se determine la métrica denominada "centralidad".

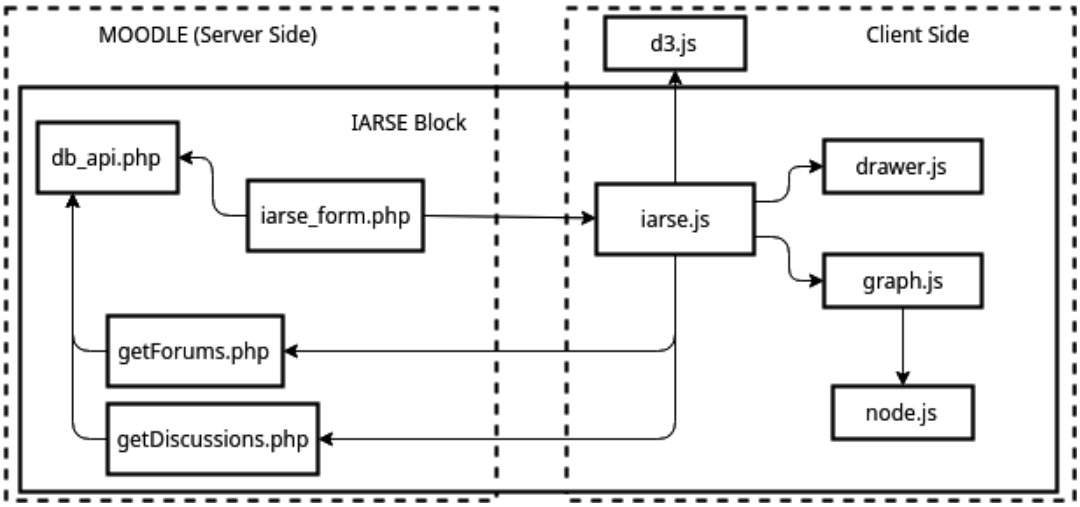


Fig. 1: Arquitectura del plugin IARSE

El plugin dibuja un grafo con la información de una discusión perteneciente a un foro determinado, para luego mostrar visualmente la centralidad. En el grafo, los nodos representan usuarios que participan en la discusión y los arcos representan respuestas de un usuario hacia otro.

Para visualizar el grafo, se utilizó la librería JavaScript d3.js. Dicha librería permite manipular documentos utilizando HTML, CSS y SVG (Gráficos Vectoriales Redimensionables), para crear gráficos, tablas y otros elementos de visualización con gran flexibilidad [12].

3.2 Plugin IARSE: Visualización

El plugin fue desarrollado como un block para Moodle. Este block puede ser añadido por un profesor a la pantalla de administración de un curso y mediante él puede acceder a la selección del foro y luego, de la discusión que quiera analizar. La decisión de que el plugin sea un block se realizó teniendo en cuenta que en el futuro podrá desplegar información relevante acerca del curso en cualquier momento, a modo de notificación. Por el momento, el block sólo contiene un enlace hacia la pantalla de selección de foros y discusiones.

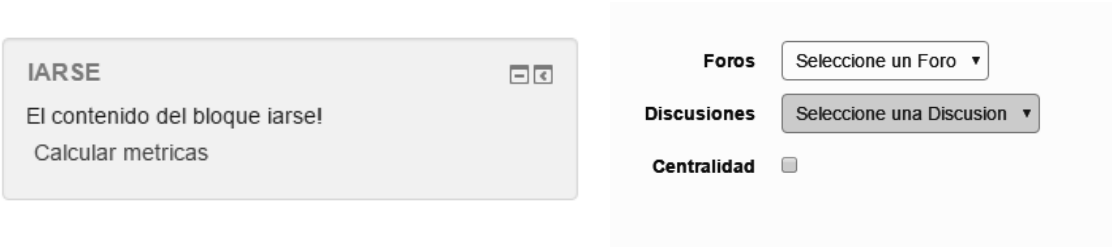


Fig. 2: (a) Bloque IARSE. (b) Selección de foros y discusiones

Seleccionando un foro y luego una discusión, se hará visible el grafo que representa las interacciones entre los usuarios que participan de ella. También se verá una tabla resumiendo estas interacciones.

Fig.3: Interacciones presentes en la discusión seleccionada, para un foro determinado

Luego, seleccionando la casilla “Centralidad” el plugin calculará la métrica, visualizará los cambios en el grafo e indicará mediante un mensaje que alumno es el nodo más central de la discusión. El nodo más central será representado con un color distinto al de los demás nodos.

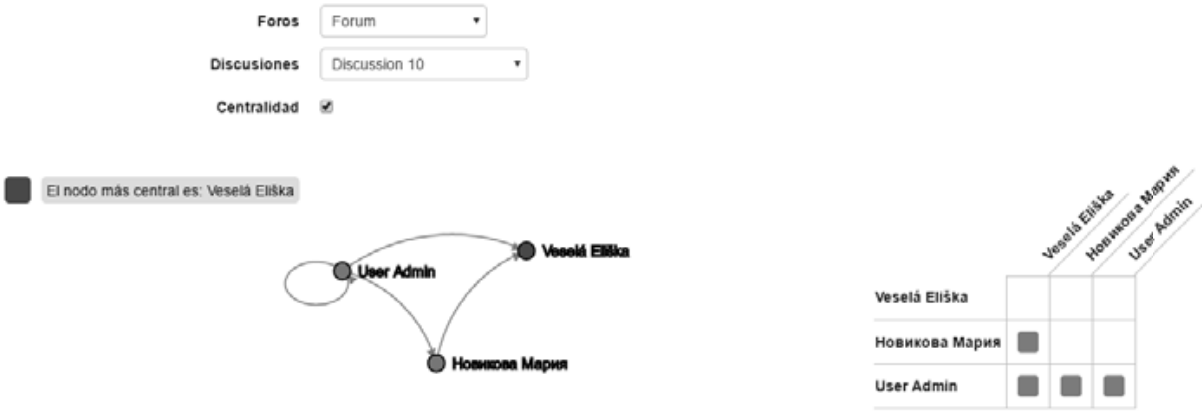


Fig. 4: Resultado de la medida de centralidad en la discusión seleccionada

4. Conclusión

En un entorno de educación virtual, el desarrollo de herramientas informáticas de recolección de información aportan nuevas y mejores características que facilitan la gestión del aula virtual por parte del docente y permiten una oportunidad para la mejora en la transferencia del conocimiento. En este trabajo propusimos, luego de estudiar los plugins

existentes en los repositorios de Moodle, el desarrollo de un prototipo propio de plugin para analizar la centralidad. El trabajo está orientado a la ampliación del prototipo a otras métricas de forma tal de volverse una herramienta valiosa para el docente en su análisis de las relaciones interpersonales dentro de un curso virtual.
Como hemos analizado en trabajos previos [5], la capacidad de interactuar en los EVEA deriva en oportunidades de optimización para la enseñanza universitaria. Conocer la red social formada en un curso y emplearla como objeto de estudio permite, entre otras posibilidades pedagógicas, no solamente evaluar saberes sino también mejorar las heurísticas del evaluador.
Para finalizar hemos utilizado herramientas de visualizacion en la presentacion de las respuestas del plugin, de forma tal de que sean rápidos de interpretar para el docente, y presenten la información de forma práctica, buscando que la herramienta sea amigable en la presentación del resultado

5. Trabajo Futuro

Quedan para las próximas etapas de desarrollo los siguientes ítems:

- Aplicación de nuevas métricas al plugin: existen otras métricas sociales que están siendo analizadas y que serían útiles a la hora de obtener información de calidad para el profesor a cargo de un curso, no sólo para informar acerca del liderazgo como es el caso de “centralidad”, sino también sobre otras cuestiones como aislamiento y probabilidades de deserción.
- Ampliación de los efectos del plugin: la meta es analizar métricas sociales sobre la participación de los alumnos en un curso, teniendo en cuenta tanto foros como tareas individuales y grupales. Por eso, el próximo paso es realizar el grafo de todas las discusiones de un foro y calcular las métricas con respecto a la interacción que se da en ese foro y no solo en una discusión aislada. Una vez realizado esto, el objetivo será obtener el grafo del total de foros que contiene un curso. Por último, se sumará a la visualización del grafo y al cálculo de métricas, las tareas individuales y grupales del curso y la medida en que estas son cumplidas por los alumnos.
- Notificaciones e información en los nodos: el plugin debe brindar información útil que permita a los profesores obtener conclusiones concretas del análisis de las métricas. El objetivo es que estas conclusiones sean presentadas como notificaciones en el block IARSE y en el grafo, desplegando información detallada sobre el alumno al seleccionar un nodo.

Referencias

[1] M. Santos Guerra. Sentido y finalidad de la evaluación en la Universidad. (2001)
[2] L. Castañeda Quintero, P. López Vicent. Entornos virtuales de enseñanza aprendizaje libres: Moodle para profesores. (2007)
[3] L. Simón. Blogs, wiki y EVEAs: Enseñar y aprender una lengua extranjera con el soporte de las nuevas tecnologías. Puertas Abiertas. (2008)
[4] E.Litwin, M Maggio, M Lipsman. Tecnologías en las aulas: las nuevas tecnologías en las prácticas de la enseñanza: casos para el análisis. (2005)
[5] A. Alvarez, G Baldino. Evaluación del proceso de enseñanza- aprendizaje en entornos virtuales de enseñanza aplicando análisis de redes sociales (ARS). CyTal. (2014)
[6] Mª del Carmen Llorente Cejudo. El tutor en E-learning: aspectos a tener en cuenta (2006)
[7] L. Castañeda. Entornos e-learning para la enseñanza superior: entre lo institucional y lo personalizado. (2009)
[8] A. Bavelas: A mathematical model for group structures. Human Organization. (1948)
[9] H. Leavitt. Some effects of communication patterns in group performance. Journal of Abnormal and Social Psychology (1951)
[10] A. Velázquez Álvarez, N. Aguilar Gallegos. Manual introductorio al análisis de redes sociales - Medidas de centralidad. (2005)
[11] https://moodle.org/plugins/
[12] https://d3js.org/

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UN MOTOR COHETE DE PROPULSANTE SÓLIDO A BASE DE SACAROSA

Nallem Ceredin. José María Moyano. Matías Nicolás Sánchez.
Santiago Esteban Tais. Tomás Tubero
Tutor: Dr. Ing. Eldo José Lucioni

Departamento de Ingeniería Mecánica – Laboratorio de Metalurgia y Materiales
Facultad Regional Villa María – Universidad Tecnológica Nacional
Avda. Universidad 450 – (5900) Villa María (Córdoba)

Resumen

En la cohetería se pueden utilizar una gama muy amplia de *propulsantes* sólidos, entendiendo a este como una mezcla intima de combustible y comburente. El trabajo está basado en esta parte de la cohetería, donde se elaboraron y compararon diferentes tipos de propulsantes sólidos, a base de sacarosa, variando los porcentajes combinados combustible-oxidante.

Se construyó un motor cohete de combustible sólido, donde el quemado del propulsante genera una alta presión obtenida por expansión de los productos de combustión los cuales, luego de atravesar la tobera, producen empuje que es el efecto físico que hace posible que un cohete se desplace.

La medición de la eficiencia del propulsante se llevó a cabo en nuestro banco de pruebas estático.

El motor cohete desarrollado se enmarca en el ámbito de la *cohetería experimental*, la cual se caracteriza por el diseño y construcción de todas sus partes a cargo de los usuarios.

Palabras clave: Propulsantes. Cohetería Experimental. Diseño.

1. INTRODUCCIÓN

Los primeros antecedentes de la cohetería datan de hace aproximadamente unos 900 años en China; los guerreros ataban a sus flechas y lanzas, tubos de papel llenos de pólvora con un estrechamiento en el orificio de salida que actuaba como tobera. El papel (recámara), la pólvora (propulsante) y el estrechamiento (tobera) son los elementos básicos de cualquier cohete.

Si bien al área de la cohetería experimental se la considera como un hobby, en ella están involucrados fenómenos idénticos a los presentes en la cohetería profesional a gran escala; esto refleja la importancia de emplear propulsantes básicos, que aseguren un ámbito de trabajo seguro [1,2].

Para el diseño y construcción del motor cohete se efectuaron meticulosos cálculos teóricos a fin de asegurar su perfecto funcionamiento y lograr la máxima eficacia del sistema. Requirió el empleo de técnicas y conocimientos relacionados con la mecánica, la física y la química. En el diseño de la cámara de combustión, del motor cohete y del combustible se hallan implicados cálculos propios de la ingeniería mecánica, mecánica de los fluidos y termodinámica.

La combustión del propulsante produce una gran cantidad de gases calientes a alta presión, los cuales se evacúan por la tobera convergente-divergente que transforma la energía de los gases cuasi-estáticos a alta presión en energía cinética, donde dichos gases alcanzan altas velocidades lineales en el rango supersónico [3].

El empuje generado por esos gases a alta velocidad se explica mediante la aplicación de la tercera ley de Newton (“Acción y Reacción”). La performance del propulsante se determina a través de la *curva de empuje* obtenida en un ensayo estático mediante una celda electrónica

adosada a la cabeza del motor cohete [4]. Para ello se diseñó y construyó un banco de prueba donde es posible anclar el motor a un sistema de eje desplazable sin impedirle completamente el movimiento longitudinal.

Los resultados obtenidos son similares a los logrados en la cohetería profesional; la diferencia reside principalmente en el tipo de combustible empleado y en la precisión de los sensores empleados.

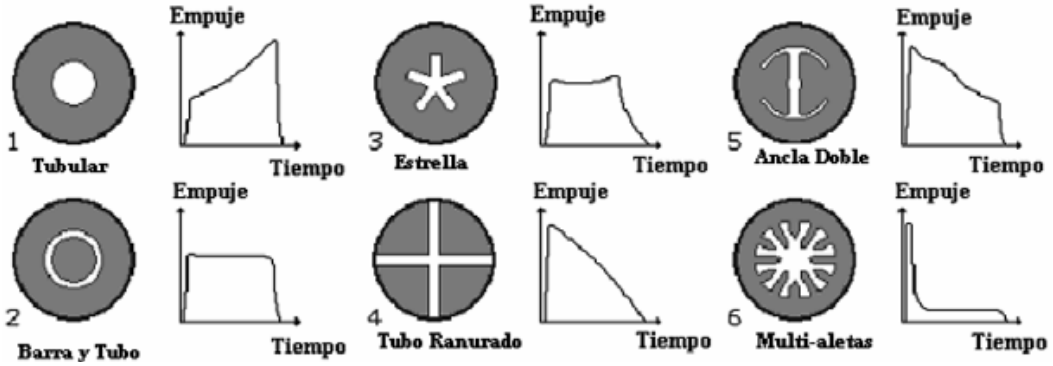


Figura 1 - Geometría de grano y curvas de empuje [7]

(1. Progresivo 2. y 3. Neutral 4. y 5. Regresivo 6. Empuje dual)

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Propulsantes

Se entiende por propulsante a una íntima combinación entre combustible y oxidante, pudiendo estar en estado sólido ó líquido ó, una combinación de ambos, denominado propulsante híbrido

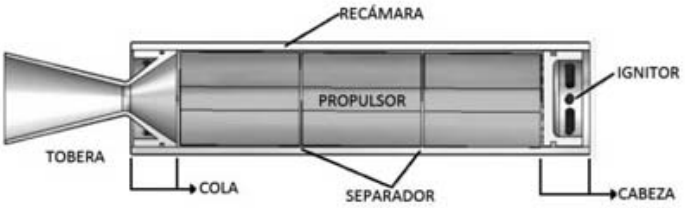


Figura 2 - Esquema de un motor cohete [8]

(combustible y oxidante en diferente estado entre ellos).

Estos propulsantes reaccionan en la cámara de combustión, generando gases a alta presión y gran temperatura (reacción exotérmica), los cuales salen por la tobera, generando el empuje necesario para elevar y acelerar el cohete.

Los propulsantes sólidos -que son los que se utilizan en este trabajo- contienen sus componentes en forma sólida. No necesitan de presencia de oxígeno ambiental para la combustión; esto es porque tanto el combustible y como el oxidante están presentes en la masa propulsante. Es decir, pueden "arder sin presencia de aire" [3,5,6].

El propulsante se conforma en diferente formas geométricas denominadas ***grano propulsante***. Como regla general, los granos son de forma cilíndrica para conseguir un mejor alojamiento dentro del motor cohete y maximizar la eficiencia volumétrica. Puede ser un único segmento o varios segmentos; generalmente con una perforación central, núcleo, que se extiende a lo largo de todo el grano para acrecentar la *superficie de quemado*, que es un parámetro clave en el rendimiento del motor[4]. La forma del núcleo posee profunda influencia en la forma de la función empuje-tiempo (Figura 1) y puede tener varias formas geométricas (circular, estrella, cruz, hueso, etc.).

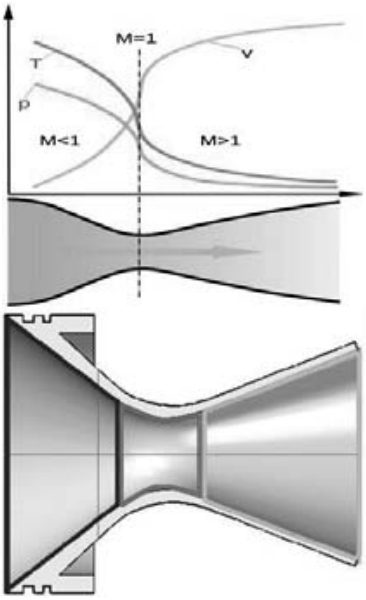


Figura 3 – Secciones y regímenes sónicos en la tobera. [8]

(M<1: Subsónico. M=1: Sónico. M>1: Supersónico)

Convergente (azul). Garganta (rojo). Divergente (verde)

Los propulsores de azúcar o combustible de caramelo, emplean azúcar como combustible y nitrato de potasio como oxidante.

Son propelentes de moderado rendimiento en el que el aglutinante del combustible es uno de los azúcares comunes (sacarosa, dextrosa, maltosa, etc.) o uno de los llamados "alcoholes de azúcar", tales como el sorbitol.

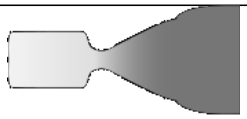
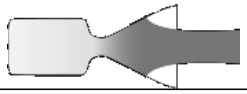
Se preparan fundiendo los ingredientes y colándolos en un molde de geometría esperada. El colado puede hacerse directamente en la cámara de combustión [2].

Su versatilidad y facilidad de elaboración los hacen realmente útiles para el desarrollo de tareas experimentales. Son baratos y se fabrican a partir de ingredientes disponibles localmente, no requieren extensa maquinaria o herramientas. [9]

1.2 Tobera

La tobera conforma la parte trasera del motor cohete, llamada “Cola”; allí se expanden y aceleran los gases de modo que estos salgan a velocidades supersónicas ó hipersónicas. Esto se logra diseñando el perfil geométrico de la tobera de manera tal de minimizar los efectos del rozamiento, las turbulencias de flujo y las condiciones que puedan llevar a pérdidas por ondas de choque [9,12].

Tabla 1- Comportamiento de los gases en la sección de salida de la tobera [5,6,11,17]

Sub-expandido	$P_{salida} > P_{ambiente}$ Presión de salida mayor que la ambiental	
Perfectamente Expandido	$P_{salida} = P_{ambiente}$ Presión de salida es igual a la temperatura ambiente	
Sobre-expandido	$P_{salida} < P_{ambiente}$ Presión de salida menor que la ambiente; diamantes de choque fuera de la tobera	
Super-expandido	$P_{salida} << P_{ambiente}$ Se forma una onda de choque dentro del divergente	

A medida que el gas ingresa en el convergente se desplaza a velocidades subsónicas, puesto que por la geometría de la garganta el gas es forzado a acelerar hasta que ingresa en la garganta (área de menor sección transversal); la velocidad lineal se convierte en sónica. Como la sección transversal aumenta desde la garganta hacia el final de la cola, el gas se expande y la velocidad lineal se hace progresivamente más supersónica.

La relación entre el área de garganta (A^*) y el área de salida (A_e) es la que determina la eficiencia en la expansión de los gases de escape. El ángulo que une garganta con plano de salida de la tobera debe ser tan agudo como sea posible para minimizar las posibilidades de separación del chorro (Tabla 1). [13,14]

La eficacia del sistema aumenta cuando mayores son las presiones en la cámara de combustión y en combinación con la relación A_e/A^* influyen en la presión estática delos gases en el plano de salida.

Considerando la variación de la presión existente en el plano de salida respecto de la presión ambiental (atmosférica), la tobera puede encontrarse en alguno de los regímenes que se muestran en la tabla1. [15]

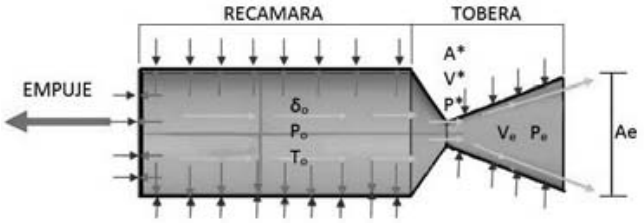


Figura 4 - Parámetros de un motor cohete [8]

(P_o: Presión de Recámara. V_e: Velocidad de salida. P_e: Presión de salida. A_e: Área de salida)

En la práctica, la expansión perfecta sólo se consigue con una tobera con área de salida variable, y no es posible por encima de una cierta altitud cuando la presión ambiente se aproxima a cero.

Si la tobera no está perfectamente expandida se produce pérdida de eficiencia. [11,16]

1.3 Empuje

El empuje que genera un motor cohete es una clave fundamental en su rendimiento; constituye el parámetro más importante en el diseño de motores cohete. El empuje es la fuerza que impulsa al cohete.

La presión y la temperatura son máximas en la cámara de combustión y decrecen hacia la salida de la tobera. El *empuje* es función de la presión de cámara y área de garganta.

A^* Área de la garganta [m^2]
P_0 Presión interna de la cámara [N/m^2]
F Empuje [N]
C_f Coeficiente de empuje

$$F = C_f \cdot A^* \cdot P_o \qquad (1)$$

1.4 Impulso Total E Impulso Específico

El *impulso* se define como el producto del empuje producido durante la combustión por la duración de la misma.

t Duración de la combustión [s]
I Impulso [N·s]
F Empuje [N]

$$I = F \cdot t \qquad (2)$$

Un parámetro más significativo es el *impulso específico* que cuantifica la cantidad de impulso logrado por unidad de masa. Constituye un valor que define la calidad del propulsante [3,15].

I_{sp} Impulso específico [s]
m Masa del propulsante [kg]

$$I_{sp} = \frac{I}{m} = \frac{F \cdot t}{m} \qquad (3)$$

2. DESARROLLO

2.1 Banco de pruebas

Básicamente, el banco de pruebas consiste en un soporte para motor cohete con un sistema de bujes de sujeción donde se desliza el motor cohete, un sistema de eje deslizante para trasmisión del empuje y una celda de carga.

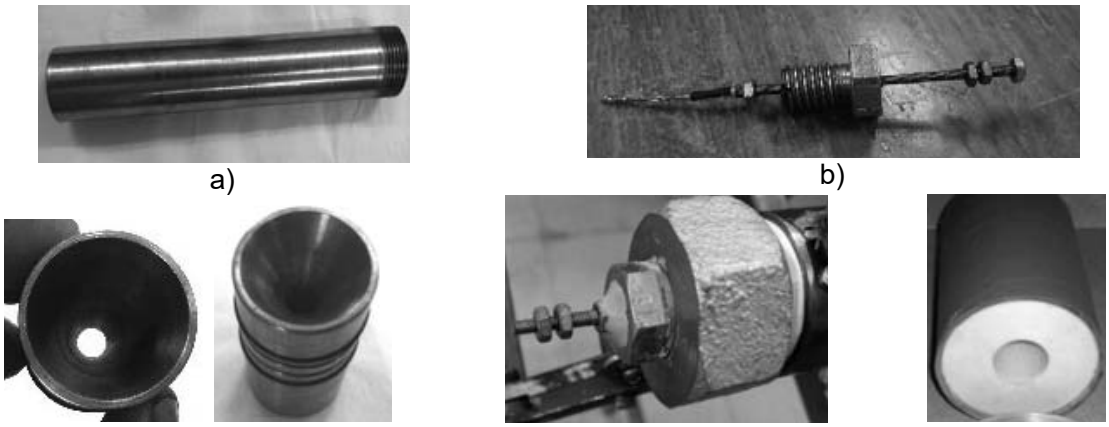
2.2 Construcción Motor Cohete

La construcción del motor cohete consiste en un tubo cuidadosamente mecanizado en la parte interior y exterior; esto permite un encaje exacto del grano propulsor y un adecuado deslizamiento sobre los bujes de sujeción que minimiza la fuerza de rozamiento.

El conjunto motor cohete está formado por la cámara de combustión donde, en primer lugar, se insertó la tobera mecanizada, luego el grano propulsante y finalmente la tapa de cabeza con el ignitor roscado en la misma.

A fin de evitar la fuga de gases a alta temperatura, en la tapa de cabeza y la tobera se colocan aros de obturación de material polimérico.

En la Figura 5 se muestran las partes principales del motor cohete.



a) b) d) c) e) [43]

Figura 5. Componentes del motor cohete. a) Cámara de combustió. b) Tornillo ignitor. c) Ignitor montado en la tapa de cabeza. d) Tobera. e) Grano propulsante.

El tubo, que funciona como cámara de combustión y contiene la tobera, fue construido a partir de un caño para instalaciones de gas natural; fue mecanizado a las medidas surgidas de cálculos previos.

El extremo llamado “Cabeza” se roscó para permitir la colocación de la tapa, la cual consta de un orificio central donde se aloja el ignitor. En el otro extremo, denominado “Cola”, se le realizó un ranurado en el que se aloja un anillo que impide que la tobera salga expulsada.

La tobera, componente más importante, se mecanizó en un torno CNC a partir de un macizo cilíndrico de acero SAE 1045.

El contacto entre cabeza y celda de carga se efectúa mediante una válvula de motor adaptada; dicha celda, unida a un brazo de palanca, es el sensor empleado para adquirir los datos de empuje.

2.3 Ignitor

El ignitor, también llamado iniciador, está organizado en forma de un pequeño alojamiento cilíndrico metálico (tornillo con orificio central) en cuyo interior se halla situado un alambre de nicrom en contacto con el propulsante y unido a una fina varilla roscada ubicada en el centro del orificio.

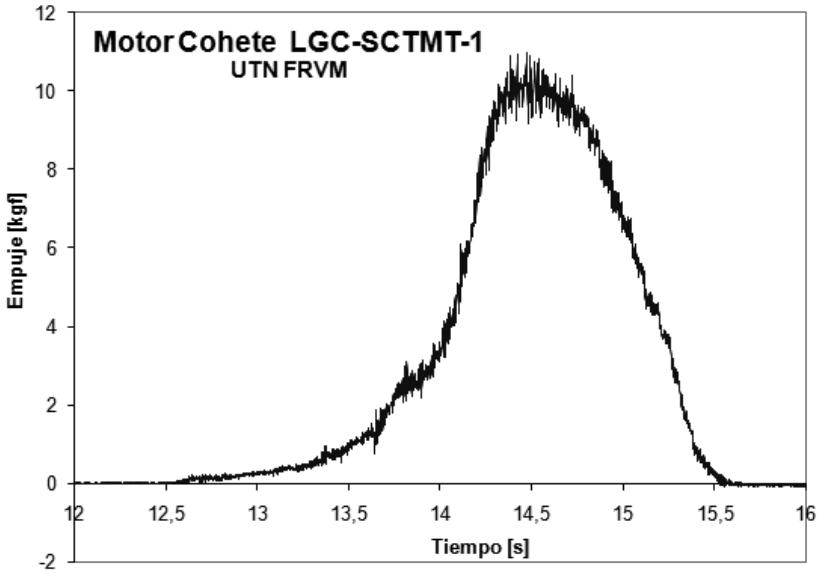
El inicio de combustión se produce por efecto del calor generado por incandescencia del alambre al ser conectado a una fuente de energía eléctrica.

El diseño del sistema de ignición es lo suficientemente pequeño para ser introducido por el núcleo del grano propulsor y no producir taponamiento del flujo de gases. [1]

2.4 Validación

La validación del banco de ensayo y del motor cohete construido se efectuó mediante varios disparos con y sin tobera. En la figura 6 se muestra la curva de empuje original (sin tratamiento de datos) del disparo final y, en la figura 7, la imagen del ensayo correspondiente al punto de máximo empuje.

El peso del grano propulsante fue de 0,115 kg a base de 65% de nitrato de potasio (KNO_3) y 35% de sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$).



Masa propulsante:
0,115 kg
Impulso específico:
98,49 s
Impulso total:
111 N·s
Empuje máximo:
10,95 kgf
Cantidad de puntos muestreados:
21286
Intervalo de muestreo:
0,001 s

Figura 6. Curva de empuje

3. CONCLUSIONES

Este trabajo registra la fase de diseño, construcción y validación de un motor cohete y de los elementos requeridos para su ensayo experimental.

El resultado obtenido ha sido exitoso no solo por la concreción del objetivo final sino más bien porque se ha adquirido la capacidad teórico-técnica de estudiar, desarrollar y construir motores

cohetes. La importancia de este hecho radica en que para alcanzar dicho objetivo es necesario recurrir al aporte de varios campos de conocimiento que incluyen, entre otros, la termodinámica, aerodinámica, ciencia de materiales, química, física, métodos numéricos, estadística, resistencia de materiales, etc.

No se tiene información de antecedentes previos en el diseño de propulsantes de este tipo en el ámbito de la Universidad Tecnológica Nacional; así, el motor cohete LCG-SCTMT-1 sería el primero que se desarrolla y dispara completamente en el ámbito de la institución.

Figura 7. Ensayo en banco estático.

AGRADECIMIENTO

Dedicamos un agradecimiento exclusivo a los cuatro ingenieros que nos han ayudado a realizar el mismo.

Al Ing. Eduardo Cerutti por su colaboración en el conocimiento de materiales de construcción del cohete. Al Ing. Pedro Giraudo por su trabajo en la lectura de impulso del cohete a través de la celda de carga, el ignitor, parte de la filmación y obtención de material gráfico. Al Ing. Martín Lisandrón por abrirnos la puerta de su taller para emplear las máquinas herramienta. Finalmente a nuestro tutor, Dr. Ing. José Lucioni, por darnos la iniciativa de emprender el camino de la investigación y desarrollo del proyecto y guiarnos en el desarrollo del mismo.

REFERENCIAS

[1] Garzón Alvarado, D.A.; Duque Daza, C.A.; Roa Garzón, M.A. *Introducción General a la Tecnología de Propulsión.* Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2004.

[2] Nakka, R. *Solid Propellant Rocket Motor. Design and Testing.* University of Manitoba. Winnipeg, 1984.

[3] Barrère, M.; Jaumotte, A.; De Veuveke, B.F.; Vandenkerckhove, J. *Rocket Propulsion.* Elsevier. Amsterdam, 1960.

[4] D. Abhijeet Singh. *Sugar Based Rocket Propulsion System- Making, Analysis & Limitations.* International Journal of Engineering Trends and Applications (IJETA) Volume 2 Issue 5, Sep-Oct 2015

[5] Evered, D.S.; Kit, B. *Rocket Propellant Handbook.* Macmillan Company. New York, 1960.

[6] Humble, R.W.; Henry, G.N.; Larson, W.J. *Space Propulsion. Analysis and Design.* McGraw-Hill. New York, 1995.

[7] Sánchez Cruz, J.A. Diseño *de una tobera para vehículos propulsados a base de combustible sólido.* Instituto Politécnico Nacional. México, 2013.

[8] Pérez Reina, E.A.; Bermeo Pérez, N.; Fúquen, D.A. *Diseño y construcción de un motor cohete que produzca 800 newton de empuje.* Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería. Bogotá, 2010.

[9] Pérez Crusells, S. *Estudio de Propulsores Sólidos para Cohetes.* Academia de Artillería. Segovia, 1970.

[10] Brito calleja, J.F. *Diseño y Evaluación Conceptual de un Motor Cohete de Combustible Sólido*. Universidad Simón Bolívar. Sartenejas, 2011.

[11] Huzel, D.K. and Huang, D.H. - *NASA SP-125 - Design of liquid propellant rocket engines.* 2nd. Ed. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Washington, 1971.

[12] Pérez Crusells, S. *Cálculo de Motores Cohete con Propulsor Sólido.*Madrid, 2000.

[13] Motor Cohete. Sitio web (2016): www.es.wikipedia.org.

[14] Sitio web (2016): www.**nakka**-rocketry.net

[15] Sutton, G.P.; Biblarz, O. *Rocket Propulsion Elements*. 7th Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, 2001.

[16] Olaoye, O. S.; Abdulhafeez, O. A.*Design and Performance Characteristics of a Rocket Using Potassium Nitrate and Sucrose as Propellants*. International Journal of Engineering Trends and Applications (IJETA) Volume 3 Issue 8, Aug 2014

[17] Sitio web (2016): www.efn.uncor.edu

CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE EROSIVO EN SECO DE MATERIALES DE INGENIERÍA

Diego Fraire, Neuen Gaño, Lautaro Bozzer, Esteban Lerda, Rubén Gastaldi
Tutor: Dr. Ing. Eldo José Lucioni

Departamento de Ingeniería Mecánica – Laboratorio de Metalurgia y Materiales
Facultad Regional Villa María – Universidad Tecnológica Nacional
Avda. Universidad 450 – (5900) Villa María (Córdoba)

Resumen

El fenómeno de erosión está dado por la pérdida progresiva del material original a partir de una superficie sólida debido a la interacción mecánica entre esa superficie y un fluido, un fluido de componentes múltiples, un líquido que choca o partículas sólidas.

En los diferentes ensayos de erosión, se somete a una probeta a distintos tipos detamaños de partículas, velocidades, ángulos de ataque, entornos, etc.; que pueden variar en un amplio intervalo.

El trabajo realizado consistió en diseñar y construir un dispositivo para apreciar la resistencia al desgaste erosivo en seco de materiales de ingeniería.

Palabras clave: *Erosión. Desgaste erosivo seco. Tribómetro. ASTM G76.*

1. INTRODUCCIÓN

La erosión es un tipo de desgaste que genera grandes pérdidas económicas y reduce las prestaciones de estos; el desgaste por abrasión en seco se encuentra presente en casi todas las ramas de la ingeniería, minería, hidráulica, agrícola, alimenticia, etc. Para evitar o reducir estos efectos es necesario conocer el comportamiento de cada material ante tal fenómeno, mediante la realización de ensayos en un ambiente controlado.

El dispositivo para evaluar la erosión en seco de materiales replica de manera controlada y acelerada las condiciones de erosión a las cuales están sometidos los materiales.

La norma ASTM G76-95 (*Standard Test Method for Conducting Erosion Test by Solid Particle Impingement Using Gas Jets*) [2] establece el modo de realización del ensayo y los parámetros a medir. Esta norma ha sido aceptada como el método estándar para ensayos de erosión y es ampliamente utilizada como patrón a la hora de realizar la verificación verificaciones de desgaste erosivo.

En este trabajo se describe las características de diseño y construcción de un dispositivo capaz de cumplir con los estándares de la norma para posteriormente realizar ensayos verdaderos. [1]

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Erosión

El desgaste erosivo es la pérdida de material provocado por impactos repetitivos de partículas que pueden ser de diferente naturaleza tamaño y forma. Figura 1.

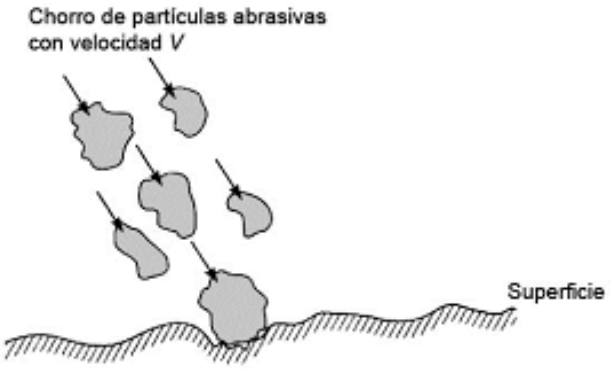


Figura 1

Como el desgaste en general es un fenómeno que depende considerablemente de factores propios del ambiente en donde se presente, es posible evaluarlo a través de parámetros diferentes a los estandarizados y los resultados continúan siendo válidos en aquellas situaciones reales similares a las del ensayo en laboratorio. [2]

El mecanismo básico para producir el desgate es el que se muestra en la figura 2.

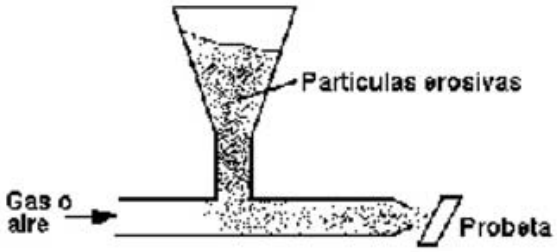
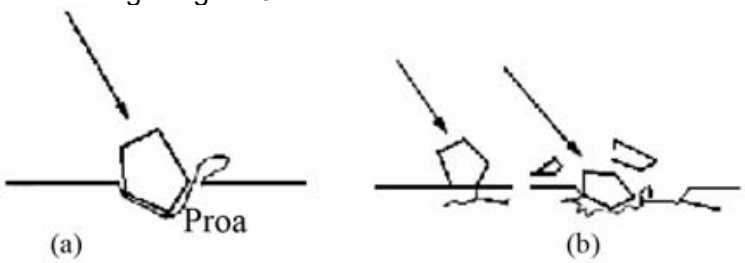


Figura 2

2.2 Factores característicos que intervienen

Hay varios factores propios del material que influyen en los resultados obtenidos.

Mecanismos de remoción de material que actúan durante desgaste erosivo cuando una partícula sólida colisiona sobre una superficie plana, difieren según el material sea dúctil o frágil. Figura 3.



a) Metales dúctiles; y b) Metales frágiles
Figura 3.

2.2.1 Dureza.

La dureza es una de las propiedades esenciales de la partícula en relación a la cantidad de desgaste obtenido. Partículas con mayor dureza que la superficie a impactar causarán un mayor desgaste que aquellas partículas con menor dureza que la superficie. [1,3]

2.2.2 Forma

Los rangos de desgaste dependen fuertemente de la forma de la partícula; donde partículas angulares causarán mayor desgaste que partículas redondeadas [6].

Algunas de las formas en las que pueden ser presentadas las partículas erosivas son mostradas en la figura 4. [1]

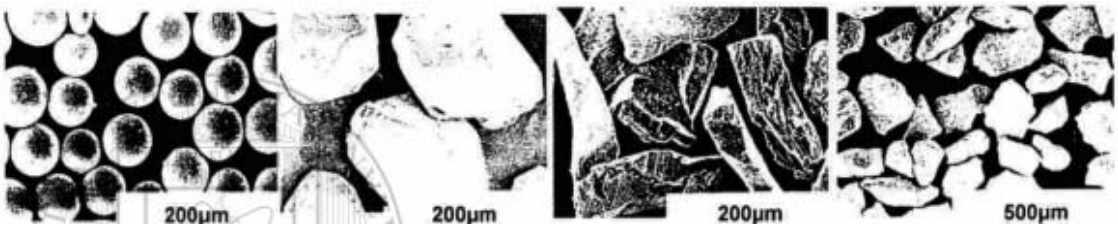


Figura 4
(a) Esfera de vidrio, (b) Carburo de Tungsteno, (c) Alúmina, (d) Diamantes.

2.2.3 Tamaño de la partícula

Se han encontrado diferentes patrones de comportamiento en el desgaste por partículas sólidas en erosión de materiales dúctiles, donde está involucrado el tamaño de las partículas. Finnie [5] demostró que la cantidad de desgaste es menor cuando el tamaño de las partículas es menor a 100 µm.

2.2.4 Angulo de impacto

En la erosión de los materiales dúctiles el ángulo de impacto es un factor que influye fuertemente en los resultados obtenidos. En la figura 5 podemos observar como el desgaste para materiales dúctiles muestra un máximo cuando los ángulos de impacto se encuentran entre 20 y 30°, y posteriormente para ángulos de impacto de 90° el desgaste se encuentra en valores de una tercera parte del máximo. [1,3,4,6]

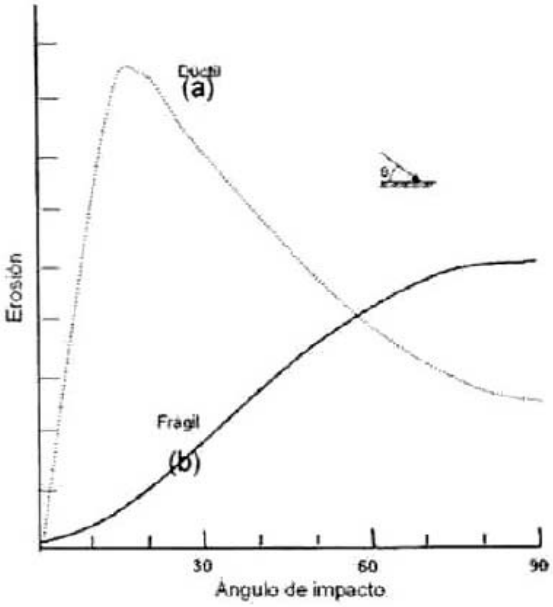


Figura 5
a) Dúctiles b) Frágiles

3. LA MAQUINA

3.1 Funcionamiento

El tribómetro construido permite determinar la resistencia al desgaste erosivo en seco de diversos materiales, para replicar a una velocidad elevada el deterioro de estos.

El dispositivo posee tres movimientos, dos en el pico inyector y uno en el porta probeta. El pico tiene un movimiento ascendente y descendente para modificar la distancia de impacto, a su vez tiene un movimiento de traslación. El porta probeta tiene un eje de giro que nos permite variar el ángulo de impacto de un ensayo a otro, que va desde los 0^0 a 90°.

La secuencia para la realización del ensayo consta de los siguientes pasos:

- Elección del material a ensayar, se le da una terminación superficial adecuada a nuestra necesidad.
- Determinación del peso de la probeta en una balanza de precisión.
- Selección del ángulo, distancia y profundidad de impacto; colocamos la probeta en el porta probeta.
- Carga del material abrasivo (arena, leche en polvo, oxido de aluminio, etc.) en la arenadora.
- Conexión del compresor a la arenadora y ensamblado de la arena al tribómetro.
- Verificación de la estabilización de la presión.
- Apertura al material abrasivo.
- Medición del tiempo (Los ensayos varían de 1 a 10 minutos).
- Finalizado el tiempo, se retira la probeta y se limpia correctamente.
- Determinación del peso de la probeta en una balanza de precisión, a fin de obtener de esta forma la cantidad de material perdido por desgaste.
- Construcción del gráfico (Por ejemplo: Tiempo-Desgaste, Velocidad de partícula-Desgaste, Angulo de impacto- Desgaste).

Figura 6

3.2 Construcción

3.2.1 Sistema de inyección

La inyección del material abrasivo se realizó mediante una arenadora de alta presión, la cual posee una capacidad 65 kg. Figura 7.

Para suministrar la presión se utilizó un compresor eléctrico de 2 cilindros, 5,5 HP y una presión máxima de 11 bar – 159 psi.

Otro componente es el pico inyector con una boquilla de dispersión característica de 3 mm de diámetro, el cual ingresa por la parte superior del mismo. Ver figura 7.

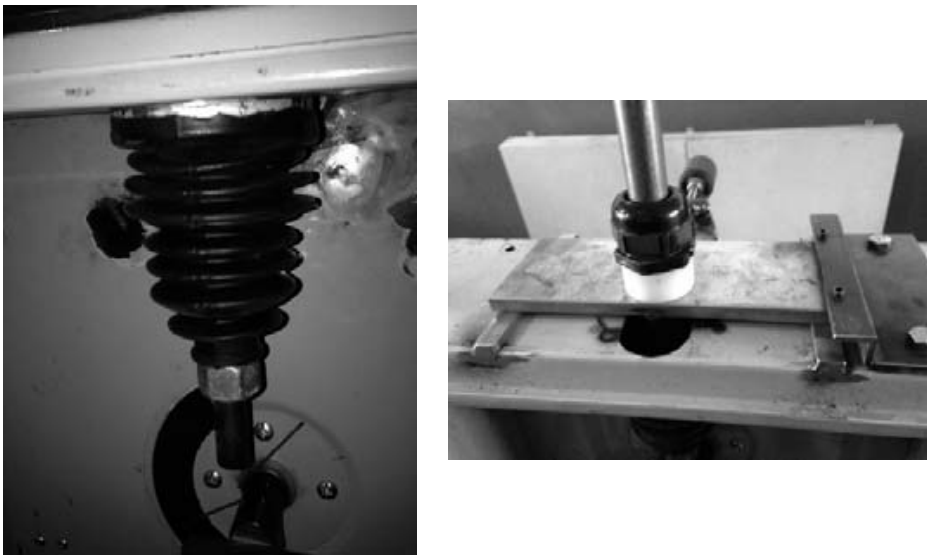


Figura 7

3.2.2 Caja hermética porta probetas.

Para la construcción de la caja hermética porta probetas, se partió de una caja metálica mayormente utilizada para instalaciones eléctricas, a la cual se le realizaron las correspondientes modificaciones para obtener el producto deseado.

El sistema de sujeción del portaprobeta consta de un sistema de tipo “morsa”. La probeta queda totalmente apoyada con el fin de evitar algún movimiento de esta.

Dicho sistema tiene la particularidad de poder girar sobre su eje según sea la necesidad del ángulo requerido.

Se efectuó la medición de diversos ángulos en una placa metálica la cual se acoplo en la parte posterior del recinto para de esta manera poder observar el movimiento del porta probeta. Figura 8.

Por último se dispuso de una puerta vidriada la cual permite observar el proceso en todo momento.

Figura 8

4. CONCLUSION

En este trabajo se procedió al diseño y construcción de un dispositivo (figura 9) para determinar la resistencia al desgaste erosivo en seco de materiales de ingeniería, a fin de cumplir con los parámetros generales establecidos en la Norma ASTM G76-95.

La construcción de esta máquina contribuirá a la capacitación de alumnos y a establecer la posibilidad de realizar ensayos de desgaste por erosión de calidad

profesional para ser utilizados en futuros proyectos de investigación dentro de nuestra institución, además se podrá estudiar el fenómeno de erosión en orden a adquirir herramientas conceptuales para enfrentar situaciones típicas de la industria local y regional.

Figura 9

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Ing. Eldo José Lucioni (UTN-FRVM) y Claudio Cavalchini por el apoyo prestado para la elaboración del trabajo.

REFERENCIAS

[1] Treviño Acevedo, A.M. *Desarrollo de un metodología para pruebas de abrasión*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. México, 2004.

[2] Norma ASTM G76-95 - *Standard Tests Method for Conducting Erosion Test by Solid Particle Impingement Using Gas Jets*

[3] NEILSON, J.H. and A.GILCHRIST, A. *Erosion by a stream of solid particles*. 1967.

[4] Erosion by solid particle impact - A.W. RUFF and S.M WIEDERHORN – 1979.

[5] Finnie, I. *Some Reflections on the Past and Future of Erosion*. Wear, 1995.

[6] Bitter, J. G. A. *A study of erosion phenomena: Part I.* Wear, 1963.

RESINAS DE MELAMINA-FORMALDEHÍDO DESTINADAS A LA PRODUCCIÓN DE LAMINADOS DECORATIVOS: CAMBIOS ESTRUCTURALES Y CINÉTICA DE GELIFICACIÓN DURANTE LA ETAPA DE IMPREGNACIÓN

F. B. Hofstetter [(1)], M. P. Gutierrez [(1)], V. V. Nicolau [(1),(2)]

[(1)] *GPol, UTN Regional San Francisco, Av. de la Universidad 501, (2400) San Francisco, Córdoba, Argentina.*
[(2)] *INTEC (UNL-CONICET), Güemes 3450, (3000) Santa Fe, Argentina.*

E-mail: *flavia.hofstetter@gmail.com*

Resumen

En la industria existe una continua presión en mejorar la calidad de los productos, incrementar la productividad de los procesos y disminuir costos. En este sentido la producción de laminados decorativos requiere ciclos de prensa más cortos para reducir costos sin sacrificar calidad. A tales efectos, las resinas deberían ser cada vez más reactivas y los papeles deberían ser estructurados para aumentar su permeabilidad.

En este trabajo se estudiaron los cambios estructurales que sufre la resina de melamina-formaldehído en distintos estadios del proceso industrial de obtención de laminados decorativos (salida del reactor y de la impregnadora) de la empresa Centro S.A. (San Francisco, Córdoba). Se observó una disminución en la relación de uniones éter/metileno con incremento de las masas molares y pérdida de formaldehído durante la etapa de impregnación. Además, se estudió la cinética de gelificación empleando una solución de cloruro de amonio 25% p/p y una solución de ácido *p*-toluensulfónico 50% p/p como catalizadores y se correlacionó estadísticamente el efecto de la temperatura y concentración de los catalizadores sobre el tiempo de gelificación del prepolímero usando un modelo de regresión lineal múltiple. La actividad catalítica del cloruro de amonio resultó superior a la correspondiente al ácido *p*-toluensulfónico.

Introducción

Un laminado decorativo está formado por una superficie decorativa y un sustrato. La superficie decorativa consiste en un papel de α-celulosa impregnado con resina de melamina-formaldehído (MF); y el sustrato consiste en un conjunto de papeles del tipo Kraft impregnados con resina de fenol-formaldehído del tipo resol.

El proceso de manufactura de laminados decorativos involucra básicamente tres etapas (Fig. 1): *i*) síntesis de la(s) resina(s) base; *ii*) impregnación de los papeles con la resina y posterior secado; y *iii*) curado de las hojas o "sándwich" de papeles impregnados empleando presión y temperaturas elevadas.

Fig. 1. Proceso industrial de obtención de laminados decorativos (Centro S. A., San Francisco, Córdoba).

La resina base o prepolímero es una mezcla líquida de monómeros, dímeros y trímeros metilolados; obtenidos por hidroximetilación-condensación entre la melamina (M) y el formaldehído, CH_2O (F), en medio alcalino. Durante la etapa de hidroximetilación, el F reacciona con los grupos amino sin sustituir (—NH_2) y monosustituidos (—$NHCH_2OH$) para producir las correspondientes mono- y di-hidroximetilaminas [—$N(CH_2OH)_2$] (Nastke et al., 1986; Kumar y Katiyar, 1990; Hofmann, 1997; Nicolau et al. 2009):

$$—NH_2 + CH_2O \rightleftharpoons —NHCH_2OH \quad (1)$$

$$—NHCH_2OH + CH_2O \rightleftharpoons —N(CH_2OH)_2 \quad (2)$$

Las reacciones de condensación involucran la formación de uniones metileno (–CH_2–) y uniones metilen éter (–CH_2OCH_2–) (Kumar y Katiyar, 1990; Scheepers et al., 1995; Nicolau et al., 2009):

$$—NH_2 + —NHCH_2OH \rightleftharpoons —NHCH_2NH— + H_2O \quad (3)$$

$$2\,—NHCH_2OH \rightleftharpoons —NHCH_2OCH_2NH— + H_2O \quad (4)$$

Anderson et al. (1969) demostraron que a temperaturas por encima de 135 ºC se generan uniones metileno a expensas de las uniones éter con pérdida de F.

$$—CH_2OCH_2— \rightleftharpoons —CH_2— + CH_2O \quad (5)$$

La etapa de impregnación y secado consiste en impregnar los papeles con la resina base y secarlos en un secadero tipo túnel para eliminar los volátiles, tales como agua y F. Si bien esta segunda etapa involucraría en principio sólo a transformaciones físicas, existe evidencia de que ocurren también reacciones de policondensación [ecs. (3) y (4)], con crecimiento de las masas molares. Así, el producto es un papel impregnado de oligómeros parcialmente ramificados. Durante la impregnación y secado la extracción de los volátiles provoca la separación de fases. Es de suma importancia que el secado finalice antes que comience la gelificación de la resina para que conserve su fluidez en la etapa de prensado (Hofmann, 1997). La resina rápidamente gelifica y luego vitrifica debido al aumento de la velocidad de reacción ocasionada por la elevada temperatura y presión. El polímero se entrecruza o “cura”, generándose una red tridimensional de peso molecular infinito. En esta instancia el polímero alcanza sus óptimas propiedades mecánicas.

En este trabajo se estudiaron: *i*) los cambios estructurales que sufre la resina de MF durante la etapa de impregnación industrial, y *ii*) el efecto del tipo de catalizador (cloruro de amonio y ácido p-toluensulfónico, APTS) sobre la cinética de gelificación de una resina de MF industrial a 100 °C, 120 °C y 130 °C.

Materiales y Métodos

Materiales

Resina de MF industrial (Centro S.A.), solución de ácido *p*-toluensulfónico 50% p/p (APTS) y solución de NH_4Cl 25% p/p.

Equipamiento y toma de muestra en la etapa de impregnación

La impregnadora de Centro S.A. está formada básicamente por 3 cuerpos: batea de impregnación, secadero tipo túnel y guillotina.

El primer cuerpo de la impregnadora consta de un sistema de rodillos que permiten el desbobinado y desplazamiento del papel y una batea de impregnación calefaccionada a 30 ºC donde se carga la resina que sale del reactor adicionada con el catalizador. La impregnación del papel se realiza mediante un sistema de “roller-coating” donde el papel pasa entre dos rodillos o “rolos dosificadores” que permiten la regulación manual de la carga de resina, y entra

horizontalmente a un secadero tipo túnel con flujo de aire transversal. A la salida, el papel es enfriado mediante toberas que soplan aire a temperatura ambiente evitando que las hojas lleguen demasiado calientes a la guillotina y causen problemas en el cortado. Además, se controla el contenido de materia volátil en el papel impregnado seco que indirectamente refleja la cantidad de materia insoluble.

Para la impregnación se empleó una resina de MF catalizada a 6,67 min. con una solución de APTS 50%. La carga y volátiles durante la impregnación fueron de 47% y 5-6%, respectivamente; y la velocidad de máquina de 24 m/min. A fin de evaluar los cambios estructurales que sufre el prepolímero durante la impregnación se adhirió un trozo de film de polipropileno de aproximadamente 15 x 15 cm sobre la bobina de papel a ingresar en la impregnadora con el objeto de obtener un recubrimiento de prepolímero de fácil desprendimiento sobre la superficie del polipropileno y evitar la interferencia del papel. La temperatura de los 3 cuerpos del secadero fue de 165 ºC y 130 ºC para los dos últimos)

Caracterización de la resina de MF antes y después de la impregnación

Las muestras de los prepolímeros a la salida del reactor y de la impregnadora se secaron en estufa de vacío a 40 ºC y se analizaron por cromatografía de exclusión por tamaños (SEC) y espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (FT-IR).

Las mediciones por SEC se obtuvieron empleando un cromatógrafo Waters Breeze Modelo 1525, con inyector automático Waters Modelo 717, detector de índice de refracción W2414 y una columna Shodex KD-802.5 (8 × 300 mm) calefaccionada a 40 ºC. Se empleó dimetilformamida (DMF) como solvente a 1 mL/min. Las muestras se disolvieron en DMF (0,1% p/p), y los volúmenes de inyección fueron de 80 µl.

Para el análisis espectroscópico se prepararon pastillas de bromuro de potasio conteniendo 2-3% de muestra seca. Se empleó un espectrofotómetro Shimadzu FTIR-8201 PC de transformada de Fourier en la región de frecuencia de 4000-400 cm^{-1} y el software del equipo (Hyper IR).

Cinética de gelificación

Se estudió la cinética de gelificación del prepolímero a 100 ºC, 120 ºC y 130 ºC empleando una solución de APTS 50% p/p y NH_4Cl 25% p/p como catalizadores. Se midió el tiempo de gelificación o “gel time” de muestras con distintas concentraciones [0,5%; 1%; 1,5%; y 2% (g solución de catalizador/100g de resina)].

Para el ensayo de “gel time” se colocaron 5 ml del prepolímero catalizado en un tubo de ensayo bajo agitación manual con varilla de vidrio y se sumergió en un baño a la temperatura del experimento. Para los ensayos a 100 ºC se empleó agua como fluido del baño calefactor y para mayores temperaturas silicona. Se cronometró el tiempo hasta formación del gel.

Resultados y Discusión

En la Fig. 2 se muestran los cromatogramas obtenidos por SEC y los espectros de FT-IR de los prepolímeros a la salida del reactor y de la impregnadora. La asignación de bandas en FT-IR se hizo de acuerdo a Yuang Wang (2012) y Merline et al. (2013).

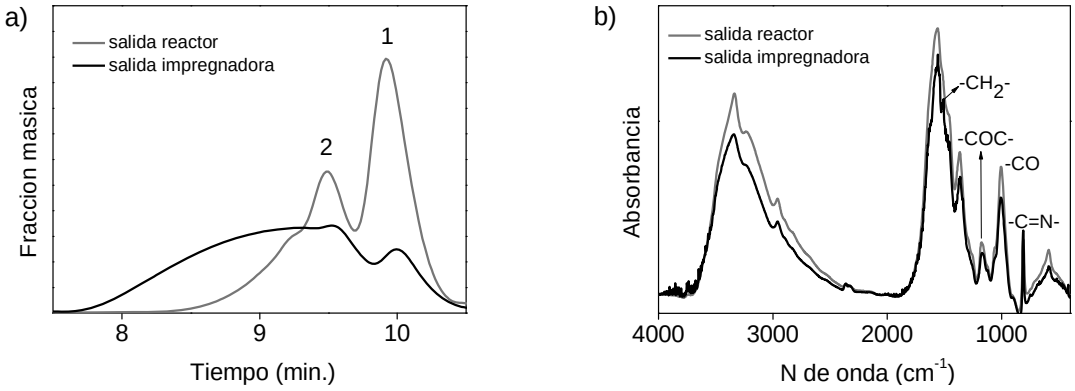


Fig. 2. Caracterización estructural del prepolímero: a) SEC, y b) FT-IR.

En la Fig. 2 a) se observa que a la salida del reactor el prepolímero es una mezcla rica en monómeros (1) y dímeros (2) y que durante la impregnación hay un incremento de las masas molares evidenciado por la disminución de (1) y el incremento y ensanchamiento del pico (2) correspondiente a dímeros y oligómeros. En la Fig. 2 b) se muestran las bandas características a a 1504 cm^{-1} y 1173 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones de flexión y tensión de las uniones —CH_2— y —CH_2OCH_2—; así como la banda a 1006 cm^{-1} correspondiente a la tensión de —CO alifáticos y la señal de vibración de flexión del anillo triazínico –C=N- a 810 cm^{-1}. Nótese que el anillo triazínico no sufre cambios durante el proceso de polimerización con lo cual su señal característica no se modifica y puede ser adoptada como señal de referencia. Por el contrario se observa una disminución de las uniones —CH_2OCH_2—, así como un incremento de las uniones —CH_2— . Estos resultados sugieren progreso de la condensación [ecs. (3) y (4)] con pérdida de F [ec.(5)] como consecuencia de la temperatura del secadero de la impregnadora (T>135 ºC) y concuerda con el incremento de las masas molares observado en SEC.

En la Fig. 3 y Tabla 1 se muestran las curvas de catálisis y las correspondientes mediciones de "gel time". Como era de esperar se observa una dependencia exponencial de la concentración del catalizador con el tiempo de gelificación. Los valores de "gel time" disminuyen con el incremento de la concentración de catalizador y la temperatura. La actividad catalítica de la solución de NH_4Cl 25% resultó superior a la correspondiente a la solución de APTS 50%.

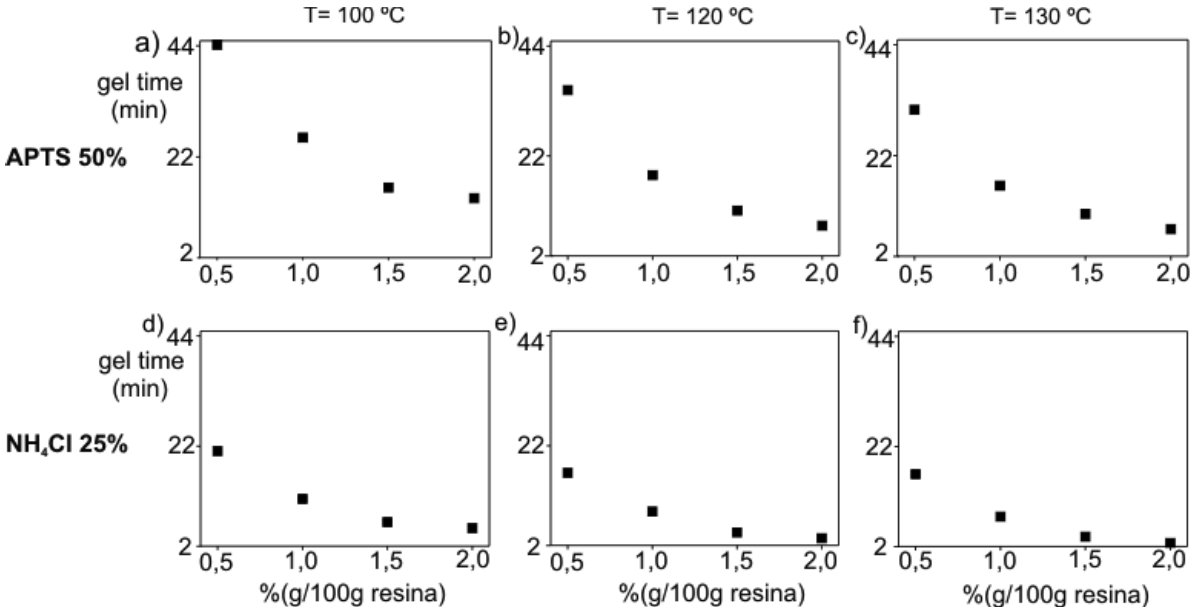


Fig. 3. Curvas de catálisis.

Tabla 1. Mediciones de tiempo de gelificación en min.

Temperatura (ºC)	APTS 50%				NH_4Cl 25%			
	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%
100	44,2	25,8	16,0	13,9	21,0	11,5	6,81	5,63
120	35,2	18,2	11,1	8,05	16,6	8,82	4,62	3,45
130	31,1	16,0	10,4	7,42	16,5	7,97	3,95	2,63

*g catalizador/100g prepolímero

Modelo estadístico

La correlación estadística entre las variables temperatura, concentración de catalizador y tiempo de gelificación se realizó usando un modelo de regresión lineal múltiple (Montgomery, 2002).
Teniendo en cuenta la dependencia exponencial del "gel time" con las concentraciones de catalizador y con la temperatura (Tabla 1 y Fig. 3) se adoptó el siguiente modelo de regresión lineal múltiple previa linealización de la función exponencial:

$$\ln(\text{gel time}) = a + b\,C + c\,T \qquad (6)$$

donde a, b, y c son constantes de ajuste, C es la concentración de catalizador y T es la temperatura. El modelo se ajustó con las mediciones experimentales de la Tabla 1, empleando el software R-project, R x64 3.2.5.

Los parámetros del modelo, el error estándar residual con 9 grados de libertad, los correspondientes coeficientes de regresión múltiple y ajustado R^2 y $R^{2\prime}$ (ajustado para los grados de libertad) se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros del modelo.

Catalizador	a	b	c	Error estándar	R^2	R2´
APTS 50%	5,85	-0,909	-0,0162	0,1223	96,38	95,58
NH_4Cl 25%	5,21	-1,07	-0,0160	0,1474	96,05	95,15

En la Tabla 3 y Fig. 4 se muestran los resultados teóricos calculados a partir de la ec. (6) y las mediciones derivadas de la Tabla 1. Se observa una muy buena concordancia entre los valores predichos por el modelo y las mediciones.

Tabla 3. Logaritmo natural del tiempo de gelificación en min. Los valores entre paréntesis corresponden a los predichos por la ec. (6).

Temperatura (ºC)	APTS 50%				NH_4Cl 25%			
	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
100	3,78	3,25	2,75	2,63	3,04	2,43	1,91	1,72
	(3,37)	(3,32)	(2,87)	(2,41)	(3,07)	(2,53)	(2,00)	(1,46)
120	3,56	2,90	2,40	2,08	2,81	2,17	1,53	1,23
	(3,45)	(3,01)	(2,54)	(2,09)	(2,75)	(2,22)	(1,68)	(1,15)
130	3,43	2,77	2,34	2,00	2,80	2,07	1,37	0,97
	(3,29)	(2,84)	(2,38)	(1,93)	(2,59)	(2,05)	(1,52)	(0,99)

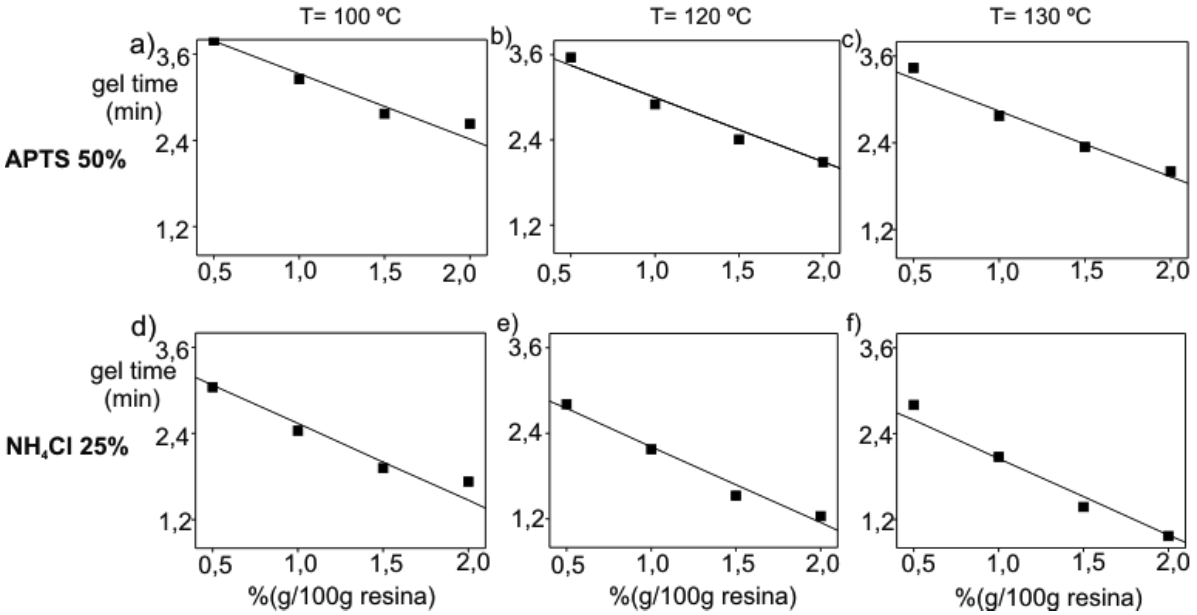


Fig. 4. Logaritmo natural del tiempo de gelificación. Los puntos corresponden a las mediciones derivadas [Tabla 3] y las líneas al modelo [ec. (6)].

Conclusiones

Durante la etapa de impregnación de papeles con resinas de MF en la producción de laminados decorativos se eliminan los volátiles y ocurre un lento progreso de la polimerización. Se observó un incremento de las masas molares con disminución de las uniones éter, incremento de las uniones metileno y pérdida de F.

Además, se correlacionó estadísticamente el efecto de la temperatura y la concentración del catalizador (APTS 50% y NH_4Cl 25%) sobre el tiempo de gelificación. La actividad catalítica de la solución de NH_4Cl 25% resultó superior a la correspondiente a la solución de APTS 50%.

Agradecimientos

A U.T.N., CONICET, y SeCYT por el financiamiento.

Referencias

Anderson, I. H.; Cawley, M.; Steedman, W., *Br. Polym. J.*, 1, 24-28, 1969.

Hofmann, K., “Molecular Changes of Impregnating Resins During the Production Cycle”, Forum Zukunft 1997, Berlin, Sept. 12th., 29-46, 1997.

Kumar, A.; Katiyar, V., *Macromolecules,* 23, 3729-3736, 1990.

Merline, D; Vukusic, S.; Abdala, H., *Polymer Journal,* 45, 413–419, 2013.

Montgomery, D., “Diseño y Análisis de Experimentos”, D., Limusa-Wiley, México, 2002.

Nastke, R.; Dietrich, K.; Reinish, G.; Rafler, G., *J. Macromol. Sci.-Chem*., A23(5), 579-596, 1986.

Nicolau, V.V.; Eestenoz, D.A.; Meira G.R., *J. Appl. Polym. Sci*., 113, 1017-1029, 2009.

Scheepers, M. L.; Adriaenses, P. J.; Gelan J. M.; Carleer, R. A.; Vanderzande, D. J.; De Vries, N. K.; Brandts, P. M., *J Polymer Sci, Polym Chem*, 33, 915-920,1995.

Yuang Wang, Real Time NMR Analysis of Melamine Formaldehyde Reactions, University of Waikato, 2012.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CUERPOS DE SIEMBRA CON SISTEMAS DE RESORTE PARA COMPARACIÓN FUTURA CON SISTEMAS DE PULMÓN NEUMÁTICO

Autor: Iturralde Juan Salvador. Legajo UTN 8585.
Contacto: juansalvadoriturralde@gmail.com - UTN FRVM – Av. Universidad 450 Villa María. Cba.
Tutor: Ing. Huber G. Fernández – Depto. Ing. Mecánica.

Resumen

Las tecnologías utilizadas en el campo de la siembra y principalmente las aplicadas a máquinas sembradoras, han avanzado de manera considerable [1], [2]. Al proceder al estudio del área temática que se aborda en el marco del proyecto "Desarrollo de un Sistema a Presión Constante de Siembra Directa" (Proyectos Federales de Innovación Productiva – PFIP – Cód. 232/2011), como resultado de una primera fase de investigación se pudo determinar la falta de análisis en los sistemas mecánicos de transferencia de carga al suelo en los distintos sistemas constructivos existentes en cuerpos de siembra como así también de opciones tecnológicas alternativas, como es el caso de la neumática aplicada a estos.
Para abordar este problema, se construyo un prototipo (fig. N°1) para trabajar en laboratorio y analizar mediante ensayos estáticos distintas configuraciones en cuerpos de siembra, tipos de resortes y posiciones de trabajo. Comparando estos datos con estudios previamente realizados en distintas máquinas agrícolas existentes en el mercado y con valores obtenidos de la aplicación de software diseñado ad hoc, apareciendo interesantes oportunidades de mejoras.
Se lograron así, avances en el conocimiento de los estados de fuerza con resortes en distintas situaciones de trabajo, estableciendo puntos de partida para valorar también la hipótesis de reemplazarlos por pulmones neumáticos y poder comparar el comportamiento entre ambos sistemas e inferir sobre el efecto de tales innovaciones cuando las sembradoras se encuentran operando a campo.

Palabras claves

Resortes, Sistemas neumáticos, Siembra de precisión, Sembradoras

Introducción

En la siembra directa a la hora de la labranza se distinguen tres operaciones básicas, apertura de surco, dosificación de semillas, y por último el tapado del surco con rastrojo y tierra [3], [4]. Estas operaciones las realiza el cuerpo de siembra, el cual es nuestro objeto de estudio.
En este trabajo hubo varias etapas de indagación, primeramente se hicieron ensayos de campo, se analizaron con el fin de optimizar los diseños de producción y así encontrar alternativas tecnológicas. Luego deviene esta etapa del trabajo de investigación, es el estudio en el laboratorio, donde se pudieron profundizar los análisis y lograr ensayos mediante un prototipo simulando las operaciones de un cuerpo de siembra.
Para esto fue necesario construir un prototipo del cuerpo, con equipamiento de medición para llevar a cabo el estudio y por otro lado se diseñó un dispositivo adaptador para colocar resortes y lograr el objetivo, que es conocer el esfuerzo del resorte frente a diversas situaciones de trabajo.
El soporte diseñado para analizar el comportamiento del resorte en las distintas posiciones que puede tener un cuerpo de siembra y poder llevar a cabo la toma de datos se construyó en el taller de la Facultad.
Además se creó un sencillo software (base matlab) para simular el estado de fuerzas de acuerdo con cada situación geométrica y poder trazar un paralelo teórico – práctico, real – virtual.

Figura N°1 – Prototipo de cuerpo de siembra directa.

Luego para analizar el comportamiento de un resorte, en las distintas posiciones que puede tener un cuerpo de siembra, se debió crear un soporte para poder sostener y llevar a cabo la toma de datos. El soporte se construyó en el taller de la universidad.

Desarrollo

El desafío principal fue ensayar diferentes posiciones del cuerpo y por medio de una celda de carga tomar los datos, llevándolos a una tabla de Excel, ver su variación y graficar. Cada medida se tomo con una tensión diferente del resorte, por una parte cambiando el ángulo del mismo con las cuatro posiciones que tiene el soporte para resorte diseñado y por otra parte modificando la posición del cuerpo, mediante un criquet hidráulico elevándolo del estado normal de reposo a una altura deseada, en la punta del criquet se colocó la celda de carga, en contacto con el disco abridor.
Se incorporó al equipo un sistema adaptador para ensayar el comportamiento del cuerpo de siembra con cuatro posiciones distintas del resorte. Este adaptador fue configurado de acuerdo con los resultados obtenidos mediante el software de simulación. La Figura Nº2 muestra el dispositivo con el resorte instalado, en la misma se indican las cuatro posiciones en las cuales puede colocarse el extremo superior del resorte. Estas posiciones relativas al centro de rotación superior del paralelogramo deformable se especifican en la Tabla Nº1.

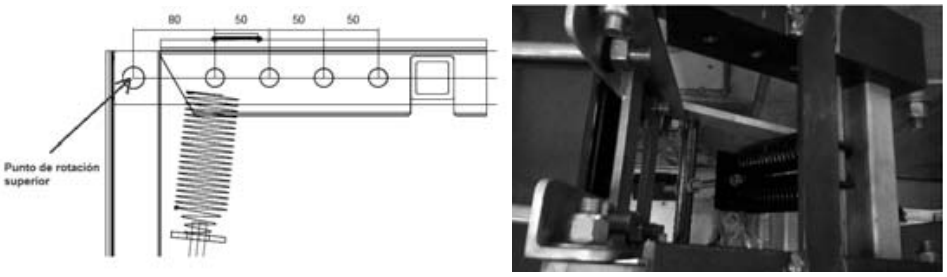


Figura Nº2 - Vista y foto de soporte con sus 4 posiciones.

Tabla Nº1 - Distancia del eje de rotación al eje de la varilla soporte del resorte

Caso	Longitud [mm]
Posición 1	80
Posición 2	130
Posición 3	180
Posición 4	230

Elaboración del soporte del resorte

Para la construcción del dispositivo (figura Nº3) se necesitó los materiales siguientes: perfil L (80 x 80) de acero, planchuelas y una barra de acero D=25,4 mm. Primero se cortaron en una sierra, dos laterales de 230 mm del perfil, luego se les hizo 4 perforaciones de 17 mm, a cada uno, con una perforadora de banco, (esto es para poder variar la posición del resorte), y por último se le dio forma con herramientas de corte, para poder insertarlo en el cuerpo quedando ambas piezas simétricas.
Por otro lado se corto la planchuela a una distancia de 250mm aproximadamente, que solamente sirve para separar ambos perfiles. Luego de esta operación se aplico soldadura para unir la planchuela y perfiles a una distancia deseada para poder insertarse correctamente al cuerpo. También se cortaron dos ejes, uno para la parte superior (que se coloca en las perforaciones de los perfiles y sostiene un extremo del resorte) y otro para la parte inferior del resorte que se coloca en el cuerpo de siembra, sus medidas son de (17 x 200) mm y (25,4 x 220) mm respectivamente.
La medida del material en bruto de donde se partió para los mismos fue de 25,4 mm de diámetro, por lo que respecto al eje superior, para llegar a su medida final (17 mm) se utilizó un torno y al inferior se le hizo un perforación transversal (13 mm), en la mitad para la toma de resortes.

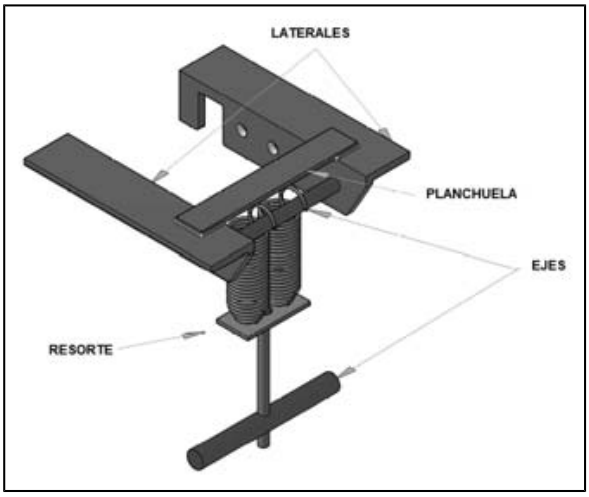


Figura N°3 – Dibujo esquemático del dispositivo soporte.

Equipamiento para ensayo

Para los ensayos de laboratorio y obtención de datos se utilizó el siguiente equipamiento:
Criquet hidráulico tipo carrito extra chato, capacidad 2000 kg, celdas con display de salida en serie, 700kg/100gr en gabinete tipo maletín de aluminio.

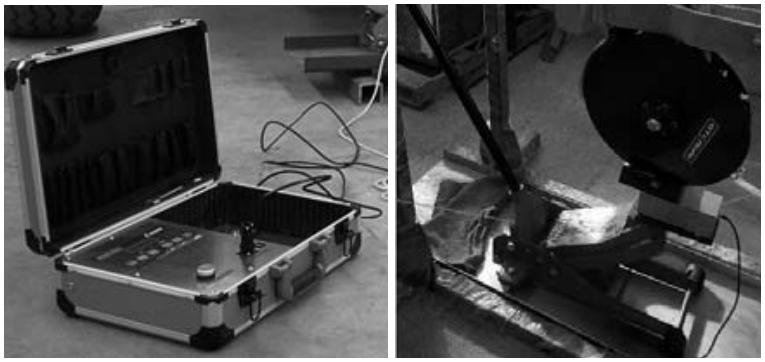


Figura N°4 – equipamiento utilizado en ensayo de laboratorio.

La celda de carga se coloca sobre un elevador hidráulico y el conjunto se coloca por debajo de los doble discos abre surcos. Se realiza un recorrido sin los resortes y se mide el peso del cuerpo. Se registró la fuerza que indica el display de la celda en intervalos de 20 mm. Luego se repite la operación con los resortes instalados en su posición original.
Con los datos obtenidos se caracteriza el comportamiento de la carga durante el recorrido ascendente del cuerpo de siembra.

Ensayos en el laboratorio, obtención y procesamiento de datos

Con el equipamiento y dispositivos necesarios, se comenzaron los ensayos en el laboratorio:
Se ensayó el resorte en las cuatro posiciones permitidas por el adaptador (figura Nº2) y se probaron distintas condiciones precarga para cada posición. Las distintas condiciones de precarga se lograron variando la longitud inicial del resorte mediante el ajuste de una tuerca en la parte inferior del soporte del resorte. La tabla Nº2 a continuación muestra la correspondencia entre las longitudes de precarga y la fuerza inicial del resorte:

Tabla Nº2 – Fuerza inicial en el resorte en función de la longitud de precarga

Longitud precarga	Fuerza del resorte
[mm]	[kg]
0	0
20	120
30	180
40	240
60	360

Los resultados son los siguientes:
Los resultados de los ensayos se muestran en la Figura Nº5. Los ensayos en la Posición 1 indicaron un comportamiento con poca variación del esfuerzo a lo largo del recorrido, en particular cuando el resorte actuaba sin precarga. Similar situación se observa para una precarga de 40 kg.

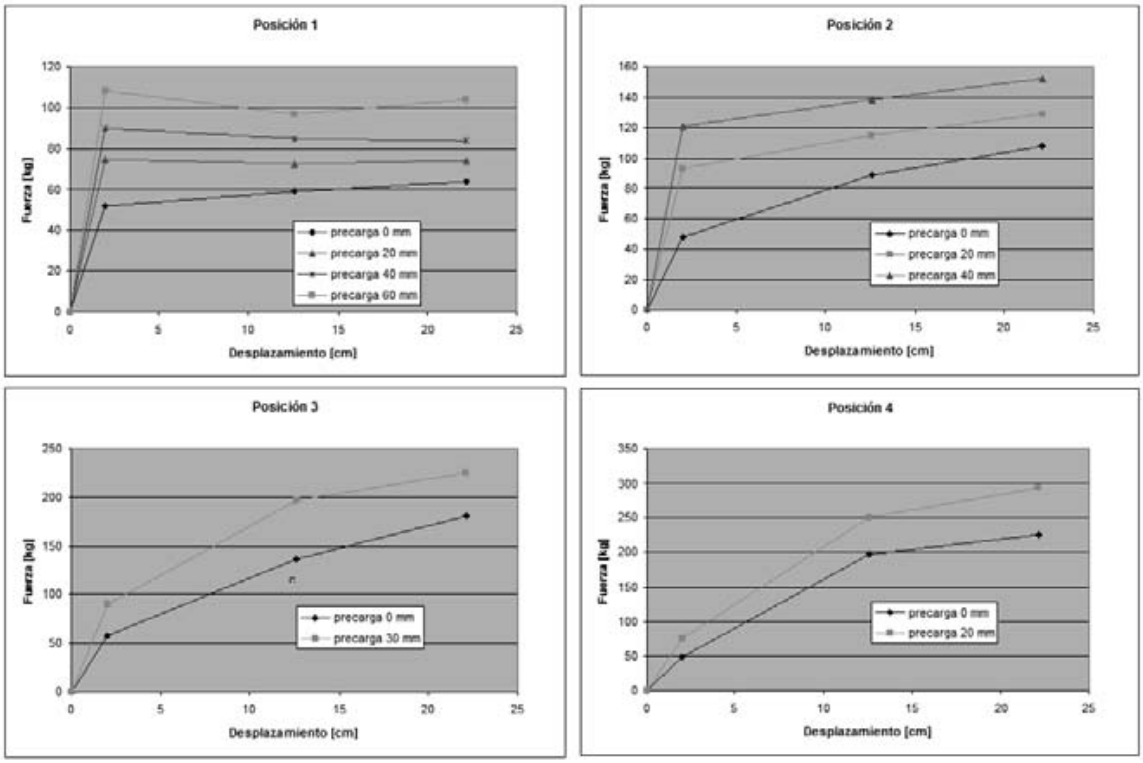


Figura N°5 - Fuerza del cuerpo de siembra - Posición 1; Posición 2; Posición 3; Posición 4.

Conclusiones y comentarios finales

Se puede concluir que los resortes se comportan de acuerdo a lo esperado y en coincidencia con los datos obtenidos con el software. El incremento en la distancia entre el punto de sujeción del resorte y el punto de rotación superior generó mayores deformaciones en el resorte y como consecuencia mayores esfuerzos en el mismo.

El último ensayo con 20 mm de precarga en la posición cuatro produjo deformaciones permanentes en el resorte. Es interesante mencionar que los ensayos en la posición uno indicaron un comportamiento con poca variación del esfuerzo a lo largo del recorrido (figura Nº5); esta condición deberá ser estudiada con más detalle a futuro.

Se dejó establecido un punto de partida para ensayar la aplicación de tecnología neumática, a partir del uso del dispositivo adaptador sobre el prototipo y la adquisición de pulmones (fuelles) neumáticos de alta gama diseñados específicamente (en la figura nº8 se puede observar el dispositivo neumático que va a reemplazar al resorte mecánico para realizar los ensayos y poder trazar un paralelo entre ambas tecnologías), que constituirán el próximo paso en el avance de la investigación, pretendiéndose el trazado de curvas similares a las obtenidas para el caso de resortes helicoidales.

Se presume y el objetivo será confirmarlo en laboratorio, que el fuelle neumático brindará posibilidades de mayor facilidad en la regulación de la carga (lo puede hacer automáticamente)

Figura N°6 - Resorte neumático

La evaluación de los cuerpos de siembra muestra que el productor agropecuario no regula la carga sobre los cuerpos de siembra para cada lote y menos para cada ambiente. Generalmente la carga, o sea, la posición de los resortes se fija una vez y luego ya no se corrige.

Los cuerpos de siembra existentes tienen limitadores de recorrido tanto para la posición más baja como para la carrera ascendente, se han observado algunos topes golpeados debido a que el recorrido o rango de flotación es insuficiente para ese ambiente.

La carga variable, en lotes ondulados, hace que las ruedas limitadoras de la profundidad sean las primeras en romperse.

Para contemplar esta situación, los equipos se proveen con ruedas anchas para disminuir la compactación del suelo, aunque es deseable que posean ruedas limitadoras de la profundidad angostas para un mejor copiado del terreno y la profundidad de siembra se mantenga uniforme [5], [6], [7].

Mediante este trabajo se obtuvo una alternativa a los equipos de mercado que logra mejorar la condición respecto de mantener la carga constante con todos los beneficios que ello implica respecto de lo detallado supra.

El dispositivo que se propone instalar muestra su mejor performance en la posición uno y podría ser utilizado en la mayoría de las sembradoras que se observan en el mercado con simples adaptaciones mecánicas (la desarrollada en este trabajo es un ejemplo) a partir de ajustes para cada caso determinados a partir de resultados provistos por el software de simulación.

Referencias bibliográficas

[1] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Uruguay. Guía de Siembra Directa. AUSID - Producción responsable, (2009)

[2] Crovetto, C. Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria, Santiago Chile, (1992)

[3] Derpsch et al., 1986: Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no- tillage techniques in Paraná, Brazil. Soil & Tillage Research, 8, p 253-263

[4] Martínez Vilela, Gil Rives, Prado. Ruiz-Santaella, Torres, González Fernández. Asociación Española Agricultura De Conservación/Suelos Vivos. Ficha técnica N°4. Córdoba España. 1999.

[6] ASAE Estándar S477 DEC93. Terminology for soil engaging components for conservation tillage planters, drill and seeders. St Joseph. Michigan EEUU. ASAE Standars 1995

[7] Gil Ribes, J. La maquinaria agrícola en el laboreo de conservación. Capítuo IX. En: Agricultura de Conservación: Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Eco. 1997

DISEÑO PARAMÉTRICO DE ESTEREO ESTRUCTURAS CON OPTIMIZACIÓN DE SECCIONES

Autor: Ignacio Maltagliatti
ignaciomaltagliatti@gmail.com

Tutor: Hugo Begliardo
hugo.begliardo@frra.utn.edu.ar

Departamento Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica Nacional-F.R. Rafaela
Acuña 44, (2300) Rafaela, Santa Fe

Resumen.

Las estéreo estructuras son reticulados espaciales particularmente útiles para cubrir grandes espacios sin columnas intermedias, como los que se presentan en naves industriales. Su empleo ha ido en permanente aumento con motivo del alto desarrollo alcanzado en el proceso de su prefabricación y montaje. Asimismo, la sistematización del análisis mediante computadoras ha contribuido a restarle complejidad a su dimensionamiento, mejorando su competitividad frente a otras formas estructurales.

El presente trabajo tiene por objetivo mostrar una nueva forma de realizar el análisis de este tipo de estructuras, procurando eficiencia y menor costo. Con tal fin, se aborda el análisis y optimización de una estéreo estructura de acero, de doble capa plana, mediante el empleo de un software de diseño paramétrico que implementa métodos evolutivos de optimización estructural aplicando algoritmos genéticos, con lo que es posible obtener armaduras de mínimo peso en función de variables prefijadas.

Los resultados evidencian la ventaja de la técnica propuesta, al permitir obtener estructuras más económicas sobre la base de premisas preestablecidas, seleccionadas desde la genética computacional entre un numeroso conjunto de posibilidades.

Palabras clave: Diseño paramétrico; Estéreo estructuras; Optimización; Algoritmos genéticos.

1. Introducción

Las nuevas corrientes de la ingeniería estructural se apoyan en el diseño paramétrico y en la computación evolutiva. La base del diseño paramétrico consiste en la generación de geometrías a partir de la definición de una familia de parámetros iniciales y la programación de las relaciones formales que guardan entre sí. Para ello, mediante la utilización de variables y algoritmos se genera un árbol de relaciones matemáticas y geométricas lo cual no sólo posibilita llegar a un diseño, sino que también provee todo el rango de posibles soluciones que hagan posible la variabilidad de los parámetros iniciales [1,2].

Con el manejo de estas nuevas herramientas se logra una técnica que facilita el diseño estructural permitiendo lograr estructuras eficientes y de menor costo, por cuanto el objetivo primario del ingeniero estructural es diseñar, no analizar [3]. Diseñar correctamente una estructura implica optimizarla, esto es seleccionar la mejor estructura cambiando sus secciones transversales, su forma geométrica o la distribución topológica del material [4]. No basta, por lo tanto, satisfacer sólo los requerimientos de resistencia, estabilidad y morfológicos de determinada propuesta arquitectónica inicial.

Optimizar una estructura siempre debería ser el objetivo, pero habitualmente no se lleva a cabo en la práctica por razones diversas, sobre todo debido al ingente esfuerzo que demanda. En la actualidad, softwares basados en diseño paramétrico han allanado significativamente este camino.

Sobre dicha base, en el presente trabajo se aborda el análisis y optimización de una estéreo estructura de acero mediante el empleo de un software de diseño paramétrico que implementa métodos evolutivos de optimización estructural aplicando algoritmos genéticos, a fin de obtener armaduras de mínimo peso en función de variables prefijadas.

Los algoritmos genéticos (AG) son procedimientos que se inspiran en la evolución biológica y su base genético-molecular, comprendiendo a un conjunto de operaciones organizadas de manera lógica y ordenada que permiten solucionar un problema determinado. Estos algoritmos hacen evolucionar una población de individuos sometiéndola a acciones aleatorias semejantes a las que actúan en la evolución biológica (mutaciones y recombinaciones genéticas), y a una selección por la cual se decide cuáles son los individuos más aptos que sobrevivirán, y cuáles los menos aptos que se serán descartados [5].

2. Metodología

Se desarrolló una celosía espacial de doble capa plana y planta cuadrada de 12 m de lado, compuesta de semi octaedros alternados (pirámides de base cuadrada), conformados por tubos de sección circular articulados en los encuentros nodales. La estructura se apoyó sobre rótulas en los cuatro nodos extremos del plano superior y fue sometida a la acción de cargas gravitatorias (peso propio, peso de la cubierta y sobrecarga útil), según se ilustra en la Figura 1.

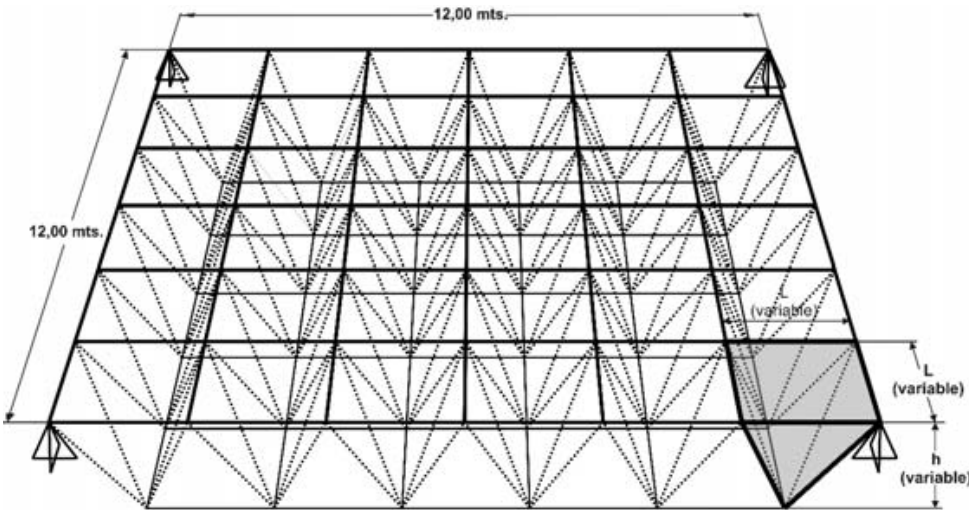


Fig.1: Geometría de la estéreo estructura

Como en cualquier tipo de armadura, algunas de las variables que definen las celosías espaciales pueden quedar impuestas por la funcionalidad del edificio a cubrir, como lo son la carga unitaria a soportar, la luz libre, etc. Sin embargo, existen otras de repercusión trascendental sobre el costo, que pueden ser elegidas con bastante libertad, entre ellas el tipo de malla o poliedro (semioctaedros, tetraedros, etc.) aunque, conforme lo indica Martínez Apezteguia [6], mayor trascendencia tienen los parámetros que la determinan: el módulo *L* (longitud del lado de la base) y su altura *h*, también llamada canto o espesor.

Este trabajo retoma el objetivo planteado por Rivas et al. [7] y Navarro Díaz et al. [8] para la resolución de casos similares, buscando establecer la mejor relación *h/L* que conduzca a una estructura de mínimos desplazamientos lo cual, en estructuras metálicas, está asociado a pesos mínimos y, en general, a un menor costo. Ello no implica desconocer que en el costo final también inciden otros factores que aquí no fueron considerados, entre ellos la materialización de los nudos y el procedimiento de montaje.

Se tomaron como variables la cantidad de módulos de lado *L*, la altura *h* y la sección de las barras de acuerdo a los criterios mencionados a continuación:

El módulo suele ser el parámetro de mayor repercusión económica. Lados de valores inferiores a los 2 m son, casi siempre, antieconómicos; cuando las dimensiones generales y luces son importantes, puede acercarse a los 3 m, quedando ello supeditado a los cerramientos comercialmente disponibles para la cubierta [6]. Otros sugieren valores superiores a 1 m y menores a 1/5 de la luz libre [9]. En este trabajo para ampliar las posibilidades de análisis se han adoptado longitudes de módulos variables entre 1 m y 3 m. Como la longitud debe ser la misma a lo largo de ambos lados de la estructura de 12 m de luz, las alternativas evaluadas han sido las indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Módulos (L)

Longitud L	Tramos en el plano superior
1,00 m	12
1,20 m	8
2,00 m	6
2,40 m	5
3,00 m	4

La altura *h* del canto suele estimarse entre un 7% y un 12% de la longitud total del emparrillado. Como el algoritmo permite trabajar con un rango sin límites, tanto superior como inferior, se estableció su variación entre 1,00 m y 3,00 m, con pasos de 0,10m.

Las secciones transversales utilizadas para las barras responden al Reglamento Cirsoc 302-2005 [10] y a las normas IRAM-IAS U 500-218 y U 500-2592 [11,12].

Para el dimensionamiento se empleó acero al carbono para tubos tipo TE-22, cuya tensión límite de fluencia es F_y= 215 Mpa. Los perfiles se mantuvieron de sección constante dentro del conjunto de barras que componen el reticulado. Es decir, se asignó una única sección por cada estéreo estructura generada de módulo *L* y altura *h*.

Las cargas aplicadas han sido el peso propio de las barras y una sobrecarga mínima de cubierta determinada de acuerdo al Reglamento Cirsoc 101-2005 [13], de valor:

$$L_r = 0{,}96\, R_1\, R_2\, [kN/m^2] \tag{1}$$

Siendo:
L_r: sobrecarga de cubierta por metro cuadrado de proyección horizontal en kN/m^2
R_1: factor de reducción de carga debido a la superficie de incidencia. $R_1=0{,}60$
R_2: factor de reducción de carga debido a la pendiente de la cubierta. $R_2=1$

$$L_r = 0{,}576\, kN/m^2 \tag{2}$$

La sobrecarga se repartió en cargas puntuales aplicadas sobre los nodos del plano superior del emparrillado, con valores asignados según el área de influencia de cada uno.

Se impuso como restricción una deflexión máxima *f* según lo establece el Reglamento Cirsoc 301-2005 [14], conforme se determina en (3):

$$f = \frac{l}{250} \Rightarrow f = \frac{12{,}00\, m}{250} \Rightarrow f = 0.048\, m \tag{3}$$

Diseño geométrico y resolución

La geometría del emparrillado fue diseñada paramétricamente con el software de programación visual *Grasshopper* [15] el cual utiliza para su interfaz gráfica el entorno *Rhinoceros* [16]. Luego, con el *plug-in* de resolución por elementos finitos *Karamba* [17], se impusieron las condiciones de

contorno (apoyos, cargas) y se asignaron los parámetros de entrada (material, sección inicial) para finalmente obtener la respuesta estructural en función de esas especificaciones.

Para encontrar el mínimo peso de la cubierta se recurrió al *plug-in Galápagos* [18], el cual aplica métodos de optimización por algoritmos genéticos. Básicamente, el AG da lugar a un proceso cíclico que modifica las variables iniciales (sección de los tubos, altura de la celosía y número de módulos) y genera un conjunto de soluciones para la misma estructura que evoluciona hasta llegar al resultado óptimo, es decir, alcanza la función objetivo de lograr la estructura estable, de mínimo desplazamiento, que cumple con la premisa de control de flecha lo cual, como se indicó, se corresponderá con la del mínimo peso.

3. Resultados y discusión

Tras numerosos procesos cíclicos llevados a cabo por *Galápagos,* la optimización del análisis arrojó los resultados ilustrados en la Figura 2 y consignados en la Tabla 2. Los parámetros obtenidos indican que la relación *h/L*=1,5 ha sido la óptima para el caso analizado.

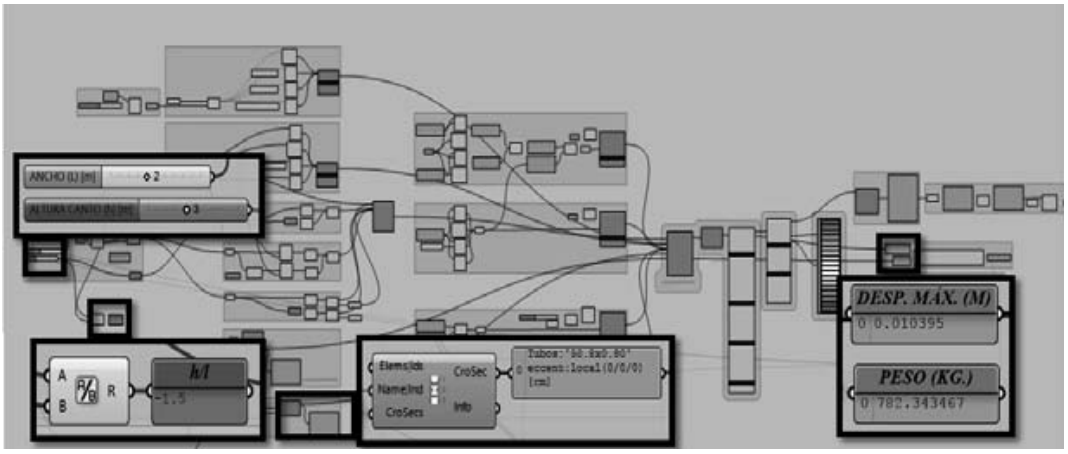


Fig. 2. Resultados en Grasshopper

Para un emparrillado similar en dimensiones y modelo de malla, Rivas et al. (2014) hallaron una relación óptima *h/L* comprendida entre 1,50 y 1,75, empleando una técnica de optimización basada en Desplazamientos y Tensiones Volumétricas. Navarro Díaz et al. [8], por su parte, ampliando el trabajo de los anteriores analizaron bajo las mismas técnicas estructuras de planta rectangular, concluyendo en que la relación óptima *h/L* tiende a incrementarse con el aumento de la razón largo/ancho de la planta, en tanto que la relación *h/L* para obtener el peso mínimo es menor que la óptima hallada por aplicación de los métodos indicados.

Tabla 2. Resultados de la optimización

Variables	
Altura del canto (*h*)	3 m
Módulo (*L*)	2 m
Sección (tubular redonda)	Diámetro: 5,8 mm (2”)
	Espesor: 0,8 mm
Peso de la estructura	782,34 kg
Deflexión	
Máxima deflexión (*f*)	0,010 m < 0,048 m (luz/250)

En la Figura 3 se observa, de acuerdo a los colores de referencia, que la mayoría de las barras traccionadas alcanzaron un importante porcentaje de utilización (hasta el 94,4 %), mientras que las barras comprimidas utilizaron un bajo porcentaje de su capacidad (por debajo del 50 %). Este hecho sugiere que la optimización resultante aún podría mejorarse si la sección de los perfiles que componen la cubierta no se mantiene constante en el conjunto de la estructura. En el caso de

secciones tubulares redondas, sería posible utilizar el mismo diámetro en todas las barras por razones constructivas y variar su espesor de acuerdo a las necesidades de cada elemento.

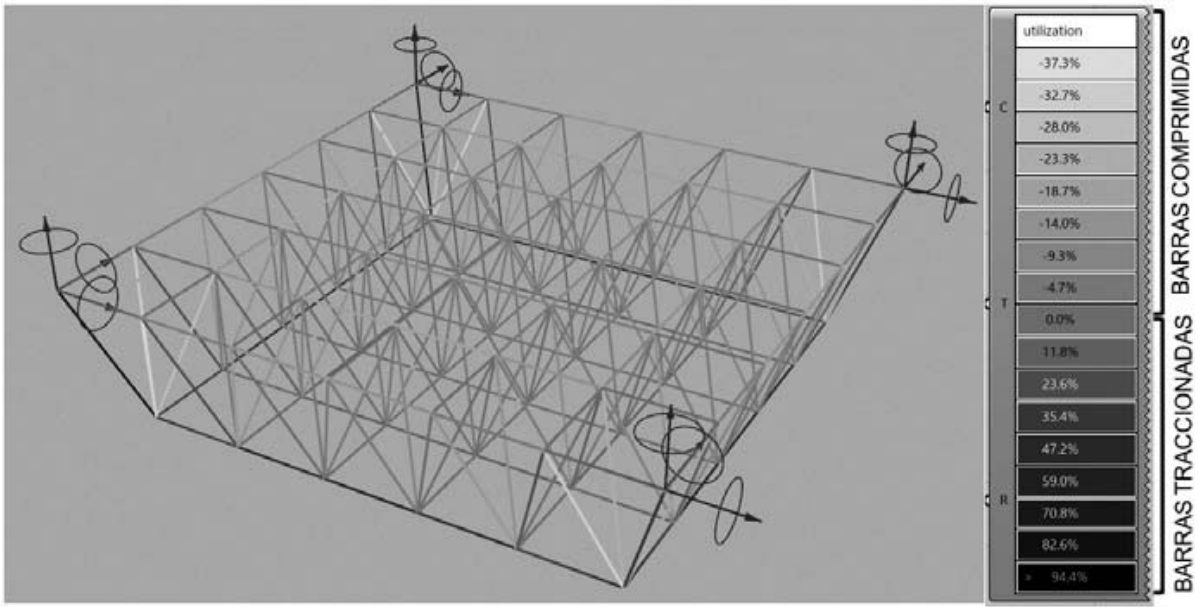


Fig. 3. Porcentaje de utilización (barras traccionadas: porcentajes positivos, barras comprimidas: porcentajes negativos).

Conforme a lo expresado y a los resultados hallados, se puede afirmar que el AG desarrollado ha cumplido satisfactoriamente con el objetivo planteado de obtener la estructura más ligera posible, dentro de los parámetros establecidos y las condiciones de contorno dadas.

Como se mencionó, la capacidad de las barras traccionadas es considerablemente superior respecto a los esfuerzos recibidos. Intuitivamente es factible pensar que pueden generarse mejores resultados en el proceso de optimización al variar la sección de las barras, tomadas como elementos individuales, dentro del conjunto de la armadura definida. Ello implica un desarrollo más complejo que excede el alcance de este trabajo.

Es importante destacar que para el análisis estructural se utilizó la versión educacional del Software *Karamba,* la que impone algunas limitaciones. La versión completa cuenta con la opción de optimizar cada barra en forma independiente, a través de la cual se podría conseguir un diseño mejorado que reduzca el peso global de la cubierta. En ese caso, se asume que podría encontrarse otra relación óptima *h/L*.

El fin de optimizar el peso de la estéreo estructura radica básicamente en reducir el costo del material empleado para su construcción. En ese sentido, en este trabajo no se tuvo en cuenta la densidad de nudos generados, otra variable que sin duda debe contemplarse, porque un mayor número repercutirá negativamente en la economía. No obstante, a través de la flexibilidad de las herramientas informáticas expuestas aquí es posible incorporar al estudio dicha variable apelando a algún tipo de función de penalización o aptitud, según sea el caso; por supuesto, su correcta aplicación requerirá de un análisis más profundo y queda pendiente su desarrollo.

Otra importante ventaja a resaltar del AG desarrollado es su capacidad de resolver miles de combinaciones con bajo costo computacional. En el caso presentado se tenían sólo tres variables cuyos dominios poseían cinco valores para el ancho modular, veintiuno para la altura y cincuenta secciones distintas tomadas de la biblioteca de la norma reglamentaria. Para obtener el mismo resultado manualmente se tendrían que haber resuelto miles de combinaciones, lo que requeriría un incontable tiempo de trabajo, mientras que con el software empleado se llegó a la mejor solución en pocos minutos.

4. Conclusión

La técnica de optimización por AG produce en forma satisfactoria un rango de posibles soluciones óptimas que minimizan el peso de reticulados espaciales como el analizado. Asimismo, el diseño paramétrico permite introducir un número importante de variables y, por lo tanto, es posible evaluar una gran cantidad de configuraciones geométricas sobre la base de un mismo algoritmo.

Finalmente, la investigación propuesta aquí debe entenderse sólo como una primera aproximación al diseño paramétrico de estructuras y a los métodos de optimización evolutivos, en busca de una mejora de los aspectos productivos que incumben al desarrollo de estructuras sofisticadas. Estas nuevas herramientas informáticas permiten unificar procesos de diseño e ingeniería y lograr formas estructurales complejas y dinámicas, así como más precisas y eficientes.

Agradecimientos

El trabajo expuesto se inserta dentro del PID homologado UTN 2298 “Modelado y diseño de estructuras de naves industriales mediante técnicas de form-finding y algoritmos de inteligencia computacional”. Se agradece a la Universidad Tecnológica Nacional, y a la SCyT de la Facultad Regional Rafaela, por el apoyo brindado para el desarrollo de estas investigaciones.

Referencias

[1]. Salcedo Lagos, P. (2011). Análisis Paramétrico de Volúmenes Arquitectónicos con Algoritmos Genéticos. Revista Hábitat Sustentable. Vol. 2 (1). Disponible en: http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/412 . Acceso: 15-1-2016.
[2]. Morales Pacheco, L. (2012). Arquitectura Paramétrica Aplicada en Envolventes Complejas en Base a Modelos de Experimentación en el Diseño Arquitectónico. Revista de Arquitectura e Ingeniería. Vol. 6 (3), 1-11.
[3]. Norris, C., Wilbur, J. y Utku, S. (1977). Elementary Structural Analysis (3rd ed.). Singapore: Mc-Graw-Hill.
[4]. Christensen P., Klarbring A. (2009). An Introduction to Structural Optimization. Linköping: Springer.
[5]. Garduño Juárez, R. (2012). Algoritmos genéticos. La Unión de Morelos, 3 /9/12, pp. 36-37. Disponible en: http://acmor.org.mx/descargas/12_sep_03_algoritmos.pdf. Acceso 17-5-16.
[6]. Martinez Apezteguia J.M. (1981) Las mallas espaciales y su aplicación en cubiertas para estadios. Informes de la construcción. Vol. 33, págs. 27-37.
[7]. Rivas I., Montanaro M., Ortega N. (2012). Diseño de estéreo estructuras considerando su comportamiento mecánico. Mecánica Computacional. Vol. XXXI, págs. 1072-1083.
[8]. Navarro Díaz G., Rivas I., Montanaro M. (2014). Diseño de estéreo estructuras de planta rectangular. Mecánica Computacional. Vol. XXXIII, págs. 1421-1431.
[9]. Basset Salom L. (2012). Mallas espaciales. Dpto. M.M.C. y T.E. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: https://riunet.upv.es/handle/10251/16498. Acceso: 10-5-16.
[10]. CIRSOC 302-2005. Reglamento argentino de elementos estructurales de tubos de acero para edificios. Disponible en: http://www.inti.gob.ar/cirsoc/reglamentos_area300.htm.
[11]. Norma IRAM-IAS U 500-218. Tubos de acero sin costura para uso estructural y aplicaciones mecánicas en general.
[12]. Norma IRAM IAS U 500-2592. Tubos de acero al carbono con costura para uso estructural.
[13]. CIRSOC 101-2005. Reglamento argentino de cargas permanentes y sobrecargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras. Disponible en: http://www.inti.gob.ar.
[14]. CIRSOC 301-2005. Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Edificios. Disponible en: http://www.inti.gob.ar/cirsoc/reglamentos_area300.htm.
[15]. Grasshopper (Versión 0.9.0076). Disponible en: http://www.grasshopper3d.com.
[16]. Rhinoceros (Versión 5.0). Disponible en: http://www.rhino3d.com.
[17]. Karamba (Versión 1.1.0). Disponible en: http://www.karamba3d.com.
[18]. Galápagos. Disponible en: http://www.grasshopper3d.com/group/galapagos.

VARIACIÓN EN LA CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DEL RÍO TERCERO O CTALAMOCHITA

Autores: V. Frossasco(1), C. Masciotta(1)
(1) Estudiantes de Ingeniería Química

Tutor: Mg. Graciela Marín, Director Técnico de Laboratorio de Servicios,
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María.
Av. Universidad 450 - (5900) Villa María (Cba).
Email:veronicafrossasco@hotmail.com.

Resumen

El agua subterránea es mundialmente importante para el consumo humano e industrial, es el sustento de hábitats y el flujo base que alimenta los ríos, dependiendo para que se utilice, variara los requisitos que deba cumplir en cuanto a su composición química. Los cambios en su calidad pueden tener serias consecuencias, por lo que es importante detectar las variaciones tempranamente.
Para ello se realizó el seguimiento de algunos parámetros físico químico (arsénico, nitrato, nitrito y flúor) del agua de los pozos subterráneos correspondientes a los acuíferos alojados dentro del paquete de sedimentos semiconfinados correspondientes a la región de la Cuenca del Río Tercero o Ctalamochita, evaluando la peligrosidad para la salud, basándose en límites fijados por el Código Alimentario Argentino y las Normas Provinciales de Calidad y Control de Aguas para Bebida Norma 608/93 de la Dirección Provincial de Agua y Saneamiento de la Provincia de Córdoba (D.I.P.A.S.).
Se calculan para los parámetros físico químicos considerados, las desviaciones estándar con respeto a los valores establecidos por las normas durante el periodo de 15 años. Se verifica que las mismas se encuentran debajo de los límites tolerables, lo que no implicaría problemas para la salud de la población.
Teniendo en cuenta las características del sistema geohidrológico de la zona y la profundidad de los pozos en estudio, se concluye que el agua de estos cuatro grandes acuíferos presentan características similares, siendo la concentración media de algunos iones menor en el acuífero que se encuentra a mayor profundidad (130m -170m), el cual se desarrolla en arenas con granulometría de fina a media, presentando una mayor calidad del agua mantenida en el período evaluado en este trabajo.

Introducción

Zona en estudio

La ciudad de Villa María está inserta en la Región de la Pampa Central que ocupa la parte centro-oriental de la provincia de Córdoba, República Argentina.
En el presente trabajo se realizó una caracterización del multiacuífero confinado hallado entre los -30 m y -200 m aproximadamente.
Las muestras fueron tomadas de las perforaciones (pozos) existentes destinadas a abastecer de agua potable a la localidad de Villa María, las cuales explotan los acuíferos confinados del sector aprovechando su alta productividad y buena calidad [1]. Dichas perforaciones se encuentran ubicadas en la margen izquierda del río Ctalamochita en la localidad de Villa María.

Caracterización de la zona en estudio

En lo que respecta al curso del Río Ctalamochita, podemos decir que es el más caudaloso de los cinco ríos que cruzan nuestra provincia, presenta una reducida pendiente, con un cauce meandroso con pequeños bancos de arena y una vegetación arbustiva [1].

En la Cuenca del Río Tercero, dentro de la cual se encuentran las actuales captaciones de la zona estudiada, la circulación del agua subterránea a nivel regional es hacia el sudeste coincidiendo con la pendiente del terreno. De acuerdo a la geología y teniendo en cuenta el comportamiento hidrogeológico del área, se han podido diferenciar una capa libre (freática) y tres grandes acuíferos alojados dentro del paquete de sedimentos correspondientes al Cuaternario, cuyas profundidades pueden verse en la Tabla 1.

Tabla 1: Profundidades medias del techo de los acuíferos y su espesor medio [1].

Acuífero	Profundidad Media del Techo (m)	Espesor Medio (m)
Libre y / o Freático	5-7	2
II	51 – 60	25
III	95-110	10
IV	130-140	40

El primero de ellos que se desarrolla sobre material psamítico, es de carácter libre, su techo acompaña la morfología de la superficie. La primera capa semiconfinada (II acuífero) está limitada, en su techo y base por sedimentos acuitardos. Se encuentra a profundidades de entre -50 m y -80 m dependiendo de la topografía del terreno. El tercer acuífero de tipo semiconfinado, se halla a una profundidad promedio entre los -100 m y -115 m, desarrollándose en arenas con una granulometría de fina a media con un porcentaje menor de arcilla que los anteriores; esto nos dice que dichos sedimentos han sido depositados por el río. El acuífero (V acuífero) más importante en cuanto a calidad y caudal ubicado en un paquete cuya profundidad promedio estaría entre los -130 m y -170 m, en el cual la fracción arena está presente en un alto porcentaje. Cabe destacar que la potencia y profundidad de los acuíferos está en íntima relación con la evolución del cauce del río [1].

La calidad de los acuíferos de acuerdo a los antecedentes que se disponen, presenta una composición apta para el consumo humano. [2].

MATERIALES Y METODOS

Muestras

Las muestras fueron tomadas de las perforaciones (captaciones) existentes destinadas a abastecer de agua potable a la localidad de Villa María, agrupados según sus profundidades máximas, considerando que cada pozo posee captaciones a distintas profundidades

Tabla 2: Clasificación de los pozos según las profundidades de los acuíferos semiconfinados y las profundidades máximas de las captaciones de los pozos evaluados.*(rango aproximado)

Acuífero confinado		**Pozo N° *(profundidad m)***						
N°	**Profundidad techo (m)**							
II	*51-60*	6 *(58)*	9 *(90)*					
III	*95-110*	11 *(110)*	13 *(100)*	14 *(117)*	15 bis *(106)*	101 *(90)*	103*(100)*	104 *(120)*
IV	*130-140*	4 *(143)*	7 *(130)*	10 *(130)*	105 *(140)*	16*(120)*	17 *(111)*	18 *(116)*
V	*130-170*	8 bis *(196)*	17 bis *(185)*	19 bis *(170)*				

Métodos analíticos

En la determinación de los parámetros físico químicos analizados, se utilizaron los métodos del Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 18th y 21st, Edition 1992 y 2005 respectivamente [2].

Metodología

Se evaluaron los datos pertenecientes al paquete de acuíferos confinados, tomando dos pozos representativos de cada acuífero, mostrados en la Tabla 2, evaluando sus características según los parámetros físico-químicos más significativos, respecto de la normativa provincial vigente (Normas Provinciales de Calidad y Control de Aguas para Bebida), de la Dirección Provincial de Agua y Saneamiento de la Provincia de Córdoba (DIPAS).
Se realizó la selección de datos teniendo en cuenta las profundidades máximas de los pozos y las características de algunos valores físico-químicos indicadores del acuífero de mayor aporte, dando una clasificación tentativa de dichas muestras ya que cada pozo posee captaciones a distintas profundidades.
Para la evaluación de la calidad del agua se realizó el seguimiento en el período definido de los parámetros físico químicos, Nitratos, Nitritos, Flúor y Arsénico.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Aspectos físico químicos

Se evaluaron los parámetros físico-químicos para los pozos elegidos de cada acuífero calculando las medias y desviaciones estándar. Pudiéndose observar en la Tabla 3 que los mismos no superan los límites fijados por la legislación provincial (DIPAS).

Tabla 3: Límites de la DIPAS y promedios obtenidos de cada acuífero para los parámetros evaluados (μ =Media y σ= Desviación estándar).

Parámetro	Límites de DIPAS (mg/l)	Promedios (mg/l)							
		acuífero II		acuífero III		acuífero IV		acuífero V	
		μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Nitratos	Máximo 45	7,973	4,590	33,988	14,740	3,171	1,256	7,958	4,840
Nitritos	Máximo 0,1	0,005	0,000	0,006	0,005	0,023	0,170	0,005	0,000
Flúor	Mín. 0,7-Máx 1,2	1,075	0,115	0,969	0,173	1,200	0,173	0,825	0,161
Arsénico	Max 0,1 Aceptable 0,05 Aconsejable 0,01	0,024	0,010	0,022	0,009	0,029	0,013	0,020	0,008

A continuación se analizan las medias geométricas para cada acuífero y para cada uno de los parámetros mostrados en la Tabla 3, en el periodo evaluado.

Se observa que los acuíferos II, III y V presentan valores de flúor por debajo del límite superior de especificación, lo que se muestra en la Figura 1, en la cual se observa que el acuífero IV presenta valores por encima del límite superior de especificaciones, encontrándose además que la media coincide con este límite.

En cuanto al arsénico todos los acuíferos presentan sus medias por debajo del límite aceptable (0,05 mg/l), pero por encima del límite aconsejable para este parámetro según DIPAS (0,01 mg/l), observando en la Figura 2 que el acuífero IV presenta valores por encima del aceptable, pero debajo del tolerable, mientras que en el resto de los acuíferos los valores se encuentran por debajo del límite aceptable por DIPAS para este parámetro.

Al analizar las medias del parámetro nitrato en la Tabla 3, se encontró que todas se encuentran por debajo del límite máximo. En la Figura 3, se puede observar que los valores de los acuíferos II, IV y V están dentro del límite de especificación, a diferencia del acuífero III que presenta valores por encima del límite máximo determinado por DIPAS.

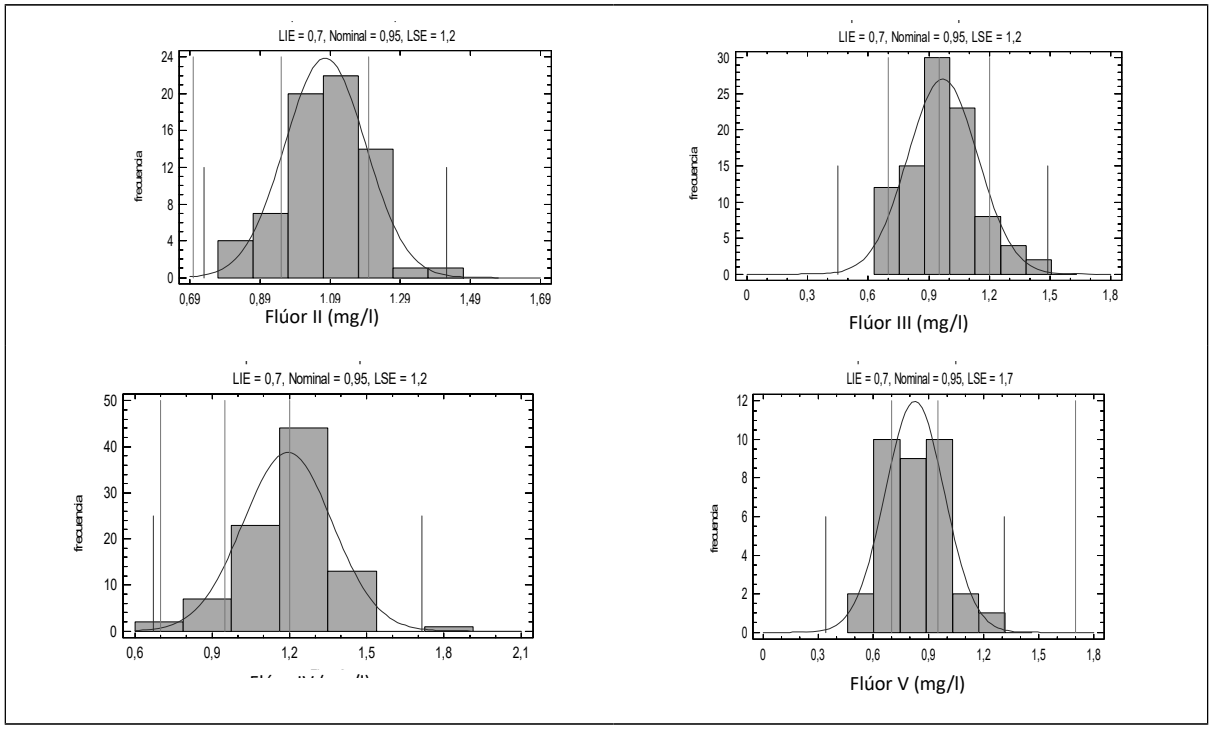


Figura 1. Análisis de Flúor en los acuíferos

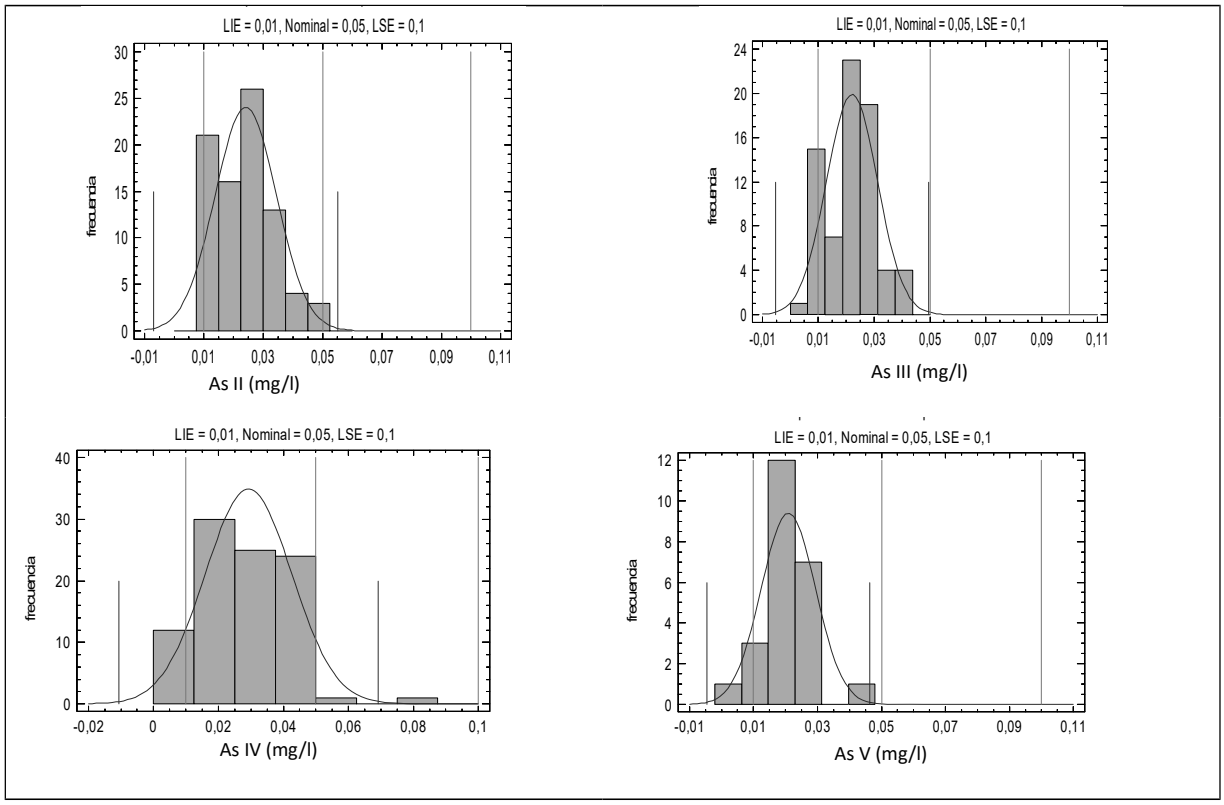


Figura 2. Análisis de Arsénico en los acuíferos

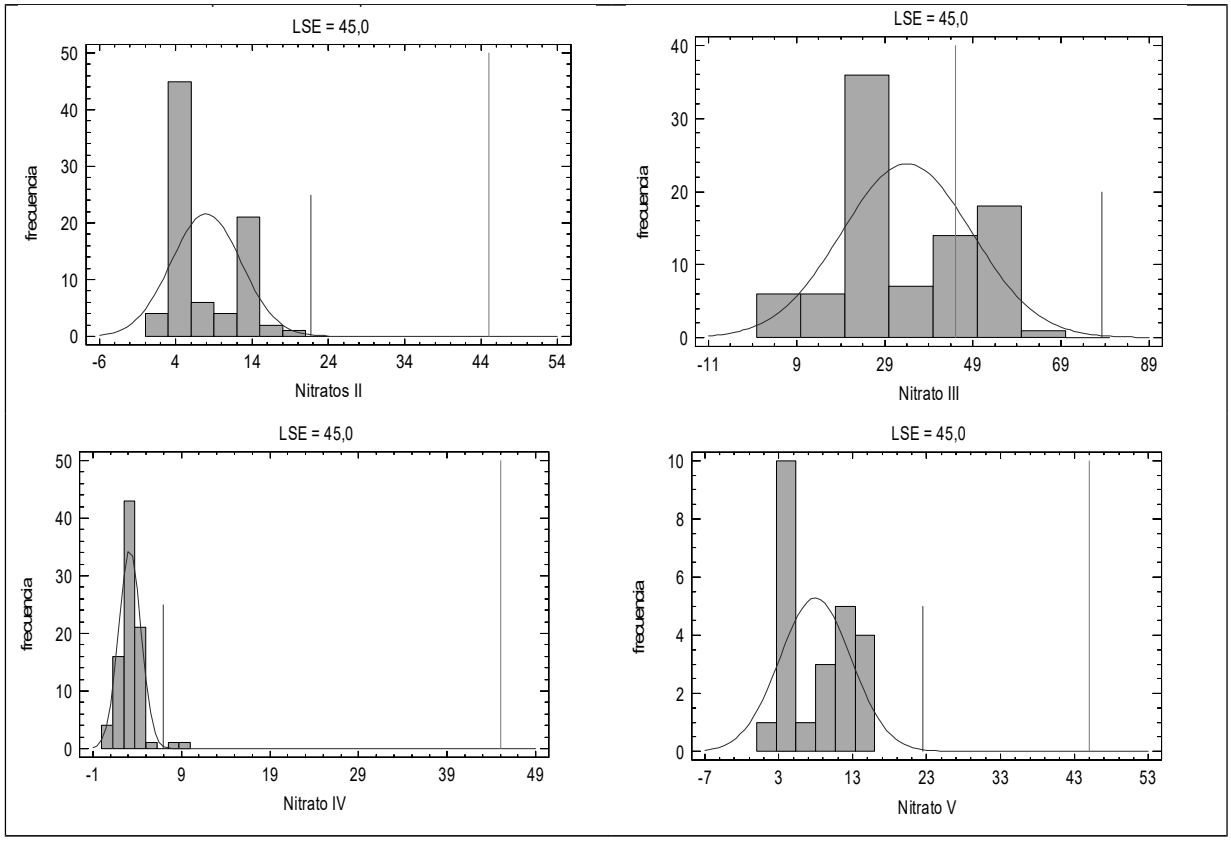


Figura 3. Análisis de Nitrato en los acuíferos

En cuanto a los Nitritos se puede ver en la Figura 4 que todos los valores se encuentran por debajo del límite máximo de especificación.

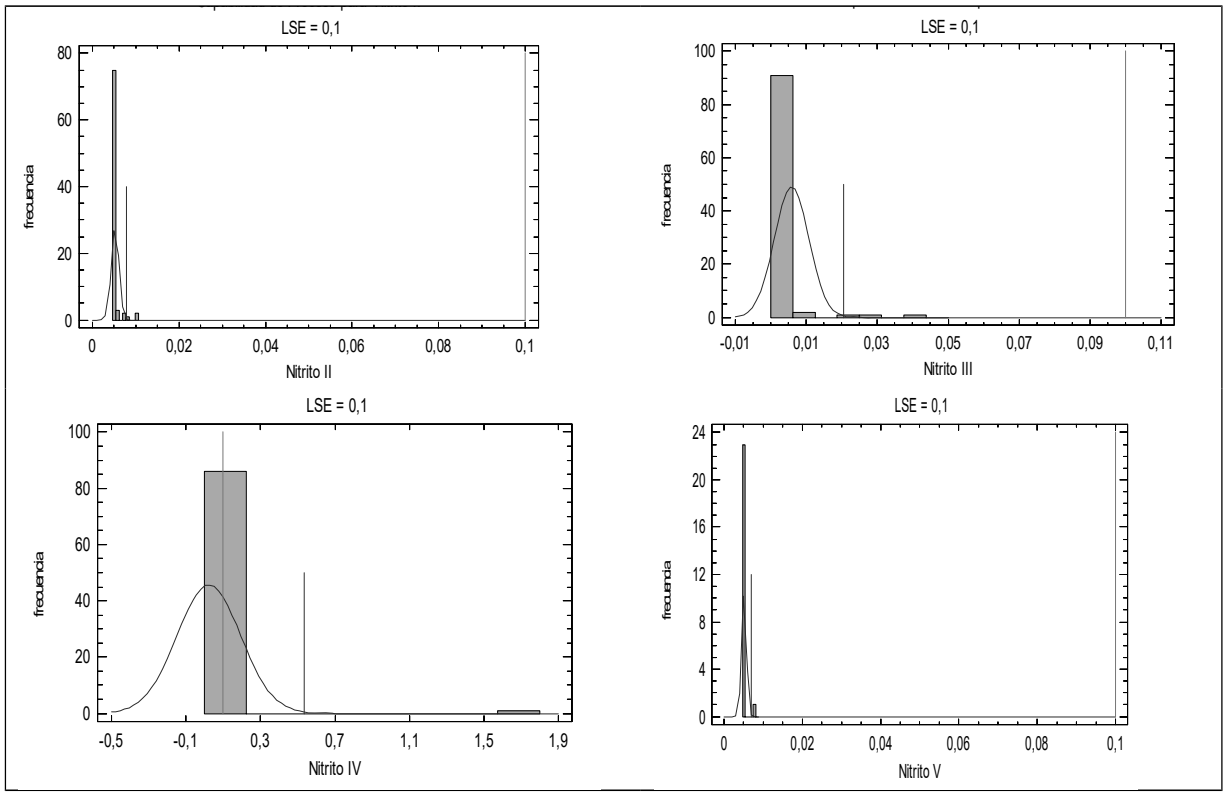


Figura 4. Análisis de Nitrito en los acuíferos

Conclusiones:

- Para la evaluación de la calidad del agua se realizó el seguimiento en el período definido de los parámetros físico químicos, Nitratos, Nitritos, Flúor y Arsénico de pozos elegidos de cada acuífero, calculando las medias y desviaciones estándar, cuyos valores no superan los límites fijados por la legislación provincial (DIPAS) [3].
- Se observa que los acuíferos II, III, IV y V presentan valores de flúor por debajo del límite superior de especificación, siendo 1,075; 0,969; 1,200; 0,825 mg/l respectivamente. Se observa entonces que el acuífero IV presenta valores por encima del límite superior de especificaciones, encontrando que la media coincide con este límite.
- En cuanto al arsénico, al analizar las medias se observa que todos los acuíferos presentan sus medias por debajo del límite aceptable (0,05 mg/l), pero por encima del límite aconsejable para este parámetro según DIPAS (0,01 mg/l). El acuífero IV presenta valores por encima del aceptable, pero debajo del tolerable, mientras que en el resto de los acuíferos los valores se encuentran por debajo del límite aceptable por DIPAS para este parámetro.
- Los valores de la media del parámetro nitrato se encuentran en todos los casos por debajo del límite máximo. Asimismo se observa que los valores de los acuíferos II, IV y V están dentro del límite de especificación, mientras que el acuífero III presenta valores por encima del límite máximo determinado por DIPAS.

En cuanto a los Nitritos se puede ver en la Figura 4 que todos los valores se encuentran muy por debajo del límite máximo de especificación.

Referencias

[1] *Evaluación Del Recurso Hídrico Subterráneo en las Proximidades de Villa María,* Dirección de Agua y Saneamiento de Córdoba, D.A.S., (1998).

[2] APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th y 21st, (1992 y 2005).

[3] Dirección Provincial de Agua y Saneamiento de la Provincia de Córdoba, *Normas Provinciales de Calidad y Control de Aguas para Bebida*, vol.1 (1993).

PROPIEDADES SUPERFICIALES Y COMPORTAMIENTO TRIBOLÓGICO DE RECUBRIMIENTOS EN BASE CARBONO DEPOSITADOS SOBRE DIFERENTES ACEROS

Francisco A. Delfín [(1)], Nicolás Jaquet [(1)]

Tutores: Sonia P. Brühl [(1)], Christian Forsich [(2)]

(1) Grupo de Ingeniería de Superficies. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay. Ing. Pereira 676, 3260 Concepción del Uruguay, Argentina.
(2) Departamento de Materiales. Facultad de Ciencias Aplicadas de la Alta Austria, Campus de Wels. Stelzhammerstraße 23, 4600 Wels, Austria.

Resumen

Los recubrimientos hidrogenados en base carbono tipo DLC ("Diamond Like Carbon"), poseen un interesante atractivo por su excelente comportamiento tribológico, bajo coeficiente de fricción, alta dureza superficial y buena resistencia al desgaste, además son químicamente inertes en ambientes agresivos y muy resistentes a la corrosión. Se obtienen mediante técnicas PACVD y pueden ser depositados en diferentes espesores, logrando recubrimientos finos con alta dureza o bien recubrimientos gruesos pero no tan duros. La capacidad de carga aumenta con el espesor, por lo que los recubrimientos gruesos pueden ser depositados en aceros más blandos.
Durante la deposición de estos recubrimientos se generan defectos en la superficie que representan un problema principalmente para su resistencia a la corrosión. En el presente trabajo se utilizaron diferentes substratos metálicos (AISI 4140, AISI D2 y AISI 316L) sobre los que se depositaron recubrimientos de varios espesores, a diferentes temperaturas y variando el contenido de silicio. Se observó una incidencia de la posición de las muestras en el interior del reactor (vertical, horizontal o boca abajo) en la cantidad y geometría de los defectos, además de una relación directa entre la cantidad de defectos y el espesor del recubrimiento y una relación inversa con la temperatura.

1. Introducción

Las películas delgadas de carbono amorfo hidrogenado (a-C:H) están compuestas por una mezcla de carbono con uniones del tipo sp2 (grafito) y sp3 (diamante) y un cierto contenido de hidrógeno. Esto forma una película de alta dureza, con muy bajo coeficiente de fricción y buena resistencia al desgaste. Además son químicamente inertes en la mayoría de los ambientes agresivos y proveen una buena resistencia a la corrosión, lo que lo hace atractivo para muchas aplicaciones tecnológicas: mecánicas, electrónicas, biomédicas, petroquímica y en la industria alimentaria [1-5]. Como desventaja, estos films poseen altas tensiones intrínsecas que resultan en una baja adhesión. La incorporación de silicio como dopante del recubrimiento y el agregado de un capa intermedia de silicio amorfo contribuyen a mejorar en gran medida este problema, permitiendo aumentar la capacidad de carga del sistema y dando lugar a lo que se conoce como recubrimiento a-C:H:Si. Además, una mayor cantidad de hidrógeno y el descenso del porcentaje de uniones del tipo sp3 conllevan a disminuir las tensiones intrínsecas y evitar la delaminación de la capa [4-6].
Una forma de depositar estas películas es mediante técnicas asistidas por plasma como CVD (Chemical Vapor Deposition), utilizando acetileno y HMDSO como precursores de carbono y silicio, obteniéndose tasas de deposición promedio de 1 µm/h. Algunos estudios revelan que se han podido obtener capas de hasta 58 µm [4].
La ventaja que presenta el método PA-CVD es poder utilizar un sistema similar al de nitruración iónica, lo que permite hacer recubrimientos dúplex (nitruración iónica y DLC) sin mover las piezas del interior de la cámara. [3, 4, 7].
Sin embargo los DLC presentan defectos en superficie que pueden incidir negativamente en sus propiedades, principalmente en la resistencia a la corrosión y al ataque químico, debido a que los defectos comunican la superficie de la película con el substrato, permitiendo que sustancias corrosivas ataquen al substrato. Se han encontrado algunas publicaciones que tratan sobre los defectos en diferentes películas DLC, pero aún no se ha realizado un análisis sistemático que permita caracterizarlos y eventualmente definir su mecanismo de aparición y crecimiento [8-10].

2. Procedimiento experimental

Se utilizaron tres diferentes tipos de acero como sustrato en este estudio: acero de baja aleación DIN 42CrMo4 (Símil AISI 4140), acero para trabajo en frío Böhler K110 (Símil AISI D5) y acero inoxidable austenítico AISI 316L. Para cada uno de los materiales se prepararon probetas en forma de discos (ver Tabla 1 de descripción de probetas) y se pulieron a espejo con el sistema Tegra de Streuers, utilizando paño con solución de diamante de 3 µm.

Tabla 1. Descripción de probetas a ensayar.

Acero	Denominación	Diámetro [mm]	Espesor [mm]	Dureza [HRc]
DIN 42CrMo4	C	40 mm	10 mm	30 HRc
K110	A	36 mm	10 mm	60 HRc
AISI 316L	SS	25 mm	5,5 mm	20 HRc

Deposición PA-CVD

Se recubrieron las muestras con películas a-C:H:Si por medio de la técnica PA-CVD (Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition), utilizando un reactor de nitruración comercial modificado de la firma Rübig, con una descarga DC pulsada que genera y sostiene el plasma. Las piezas a tratar actúan como cátodo y el reactor asegura una temperatura uniforme en todo el espacio por medio de un sistema de calefacción externo (reactor de pared caliente). Se utilizó acetileno como precursor de carbono, se incorporó silicio utilizando HMDSO y se realizó previamente nitruración iónica de 1h. Posteriormente se depositó una capa intermedia o interlayer de silicio a temperatura de trabajo que posee un espesor promedio de 300 nm y sirve de base para la deposición de la capa de DLC.

Para controlar la incidencia de los diferentes parámetros, se realizaron procesos sistemáticos en los que se varió solamente un parámetro por vez: la temperatura de proceso, el contenido de silicio y el tiempo de tratamiento. Este último parámetro está ligado directamente al espesor de la capa obtenida, con una tasa de deposición promedio superior a 1 µm/h.

Tabla 2. Ensayos de deposición CVD.

Ensayo	Tiempo	Temperatura	HMDSO
Grueso	35 h	450ºC	0.5%
Fino	3 h	450ºC	0.5%
Medio	15 h	450ºC	0.5%
Alta Temp.	35 h	550ºC	0.5%
Baja Temp.	35 h	400ºC	0.5%
Alto Silicio	35 h	450ºC	1%
Sin Silicio	35 h	450ºC	0%

En el interior de la cámara de deposición se colocaron cuatro muestras de cada acero y se dispusieron en diferentes posiciones relativas: horizontal (acostadas, simplemente apoyadas sobre el plato), vertical (paradas) y boca abajo (sostenidas con suplementos, donde se toma en cuenta la cara inferior que queda enfrentada a la base del reactor).

Espesor de recubrimiento: Se midió a través del ensayo de calotest [11].

Cuantificación de defectos: Utilizando un microscopio óptico se tomaron micrografías de cinco zonas al azar de cada probeta, donde se pudo observar que la superficie tiene defectos que se ven generalmente como círculos negros. Utilizando un software de análisis de imágenes se cuentan y se miden estos defectos y se los clasifica por su tamaño, lo que permitió comparar la cantidad de defectos y su tamaño en cada condición de recubrimiento.

Análisis de la geometría de los defectos: Se utilizó un microscopio confocal que permite obtener imágenes topográficas en 3D para medir diferentes tipos de defectos encontrados en los recubrimientos. Luego se complementó con un análisis por microscopía electrónica (SEM) de la marca Tescan Vega, que además posee un detector EDX que se utilizó para conocer la composición química de los defectos del recubrimiento o determinar si estos comunicaban la superficie directamente con el substrato.

Mecanismo de crecimiento de los defectos: Se utilizó un microscopio electrónico con tecnología FIB. Con este instrumento se cortó y analizó la sección transversal de algunos defectos, con el objetivo de estudiar su morfología subsuperficial. Además se llevó a cabo un análisis con el detector EDX para conocer en detalle la composición química de los defectos.

Comportamiento tribológico: Se midió el coeficiente de fricción y la tasa de desgaste utilizando un tribómetro de la marca TRIBOtechnic, con carga de 12N, recorrido de 3000 m y bolilla de acero 100Cr6 como contraparte. Una vez obtenido el coeficiente de fricción de estado estable se midió la huella en la probeta por medio de microscopía confocal y se analizaron los resultados de desgaste en la muestra por medio de un software especializado.

3. Resultados y discusión

3.1. Espesor de Recubrimiento

En la Tabla Nº 3 se muestran los espesores de los recubrimientos en las diferentes condiciones de proceso, medidos mediante calotest.

Tabla 3. Espesores de recubrimiento.

Ensayo	Tiempo	Temperatura	HMDSO	Espesor [µm]
Grueso	35 h	450ºC	0.5%	40 µm
Fino	3 h	450ºC	0.5%	4 µm
Medio	15 h	450ºC	0.5%	20 µm
Alta Temp.	35 h	550ºC	0.5%	41 µm
Baja Temp.	35 h	400ºC	0.5%	38 µm
Alto Silicio	35 h	450ºC	1%	38 µm
No Silicio	35 h	450ºC	0%	42 µm

Se puede calcular una tasa de deposición un poco mayor a 1 µm/h, dentro de los rangos esperados. A mayor temperatura se obtiene mayor espesor de película y el contenido de silicio hace disminuir este espesor para el mismo tiempo de proceso.

3.2. Cuantificación de defectos

Se contó la cantidad de defectos en cada muestra por medio de análisis de las micrografías. A continuación se disponen los datos en forma comparativa, describiendo los parámetros que han tenido mayor incidencia sobre la densidad de defectos.

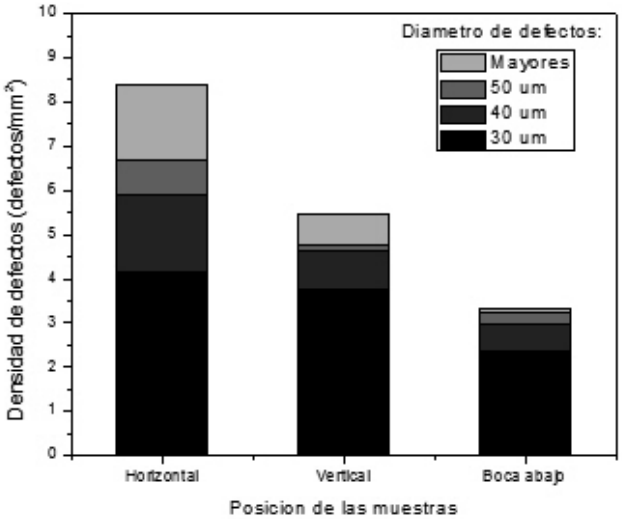
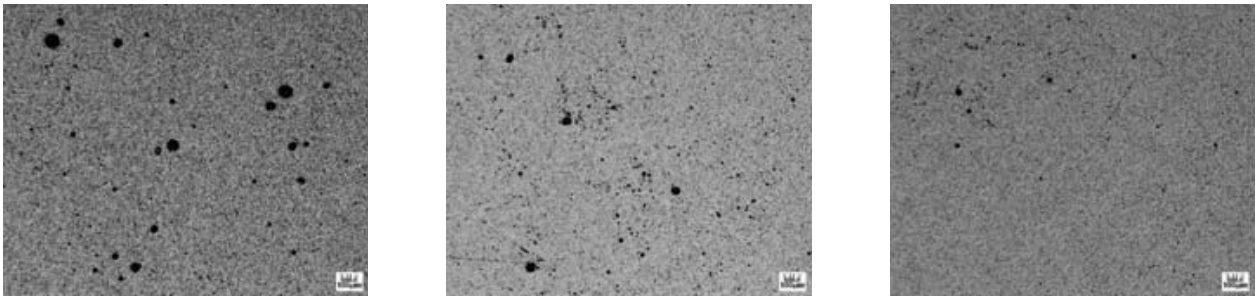


Fig.1 – Densidad de defectos de las muestras con recubrimiento grueso sobre AISI 4140 en diferentes posiciones en el interior de la cámara.

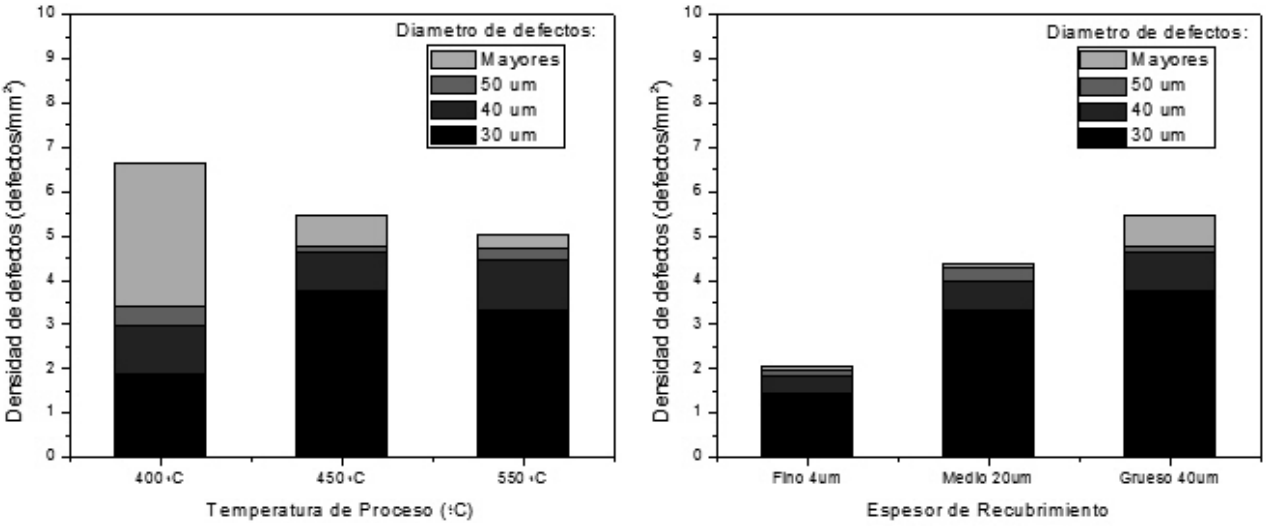
En la Fig. 1 se observa la variación de la densidad de defectos cuando se cambia la posición de la muestra en el interior de la cámara de deposición. Se muestra el resultado de la probeta de AISI 4140 con recubrimiento grueso, pero se observó el mismo comportamiento en todos los casos.
En la Fig. 2 se muestran micrografías representativas de la superficie de cada muestra según su posición en el interior del reactor. Puede observarse claramente una mayor cantidad de defectos en la muestra horizontal (Fig. 2 (a)) y una mucho menor en la muestra colocada boca abajo (Fig. 2 (c)), como los resultados cuantitativos.



(a) (b) (c)

Fig.2 – Micrografías de diferentes muestras con recubrimiento grueso sobre AISI 4140 en diferentes posiciones en el interior de la cámara. (a) Horizontal, (b) Vertical y (c) Boca abajo.

Otro parámetro que incide en la formación de defectos es la temperatura de proceso, como se muestra en la Fig. 3 (a). Se pudo observar una reducción de cantidad y tamaño de defectos con el aumento de la temperatura de proceso.
También se encontró una fuerte incidencia en la cantidad y tamaño de defectos cuando se varió el espesor de las muestras, como se ve en la Fig. 3 (b), aumentando notablemente con el espesor.
En estos dos casos se observó el mismo comportamiento en todos los materiales usados como substrato, aunque se muestra sólo el resultado de las probetas de AISI 4140.
Luego de analizar los resultados, surge una hipótesis que relaciona la formación de defectos con la conductividad del recubrimiento. Se encuentran más defectos cuando disminuye la conductividad, ya sea por un incremento del espesor o por una disminución de temperatura. Si bien no se ha medido efectivamente la conductividad del recubrimiento, esto es plausible dada la forma en que crece durante el proceso. Es una descarga eléctrica unipolar que requiere la conexión entre el substrato (cátodo) y el ánodo. Entonces, a medida que crece el recubrimiento, que teóricamente tiene menor conductividad que el substrato, se generan puntos donde se concentra el plasma y permite la correcta conducción, pero esto causa un defecto de crecimiento en dicho lugar.



(a) (b)

Fig.3 – (a) Densidad de defectos en muestras recubiertas a diferentes temperaturas sobre AISI 4140. (b) Densidad de defectos variando el espesor de recubrimiento sobre AISI 4140.

3.3. Análisis de morfología de los defectos

Un análisis con SEM revela la presencia de diferentes tipos de defectos en la superficie de los recubrimientos, entre los que sobresalen, por su cantidad, los defectos tipo protuberancia, como se ve en la Fig. 5 (a), e incluso se agrupan en islas para formar defectos más grandes, tal como se muestra en la Fig. 5 (b). Un análisis con EDX reveló que la composición química de estos defectos es la misma que la del recubrimiento. También se observaron agujeros, como en la Fig. 5 (c), que pueden llegar hasta el substrato. En el interior de estos defectos se detectaron algunas impurezas.

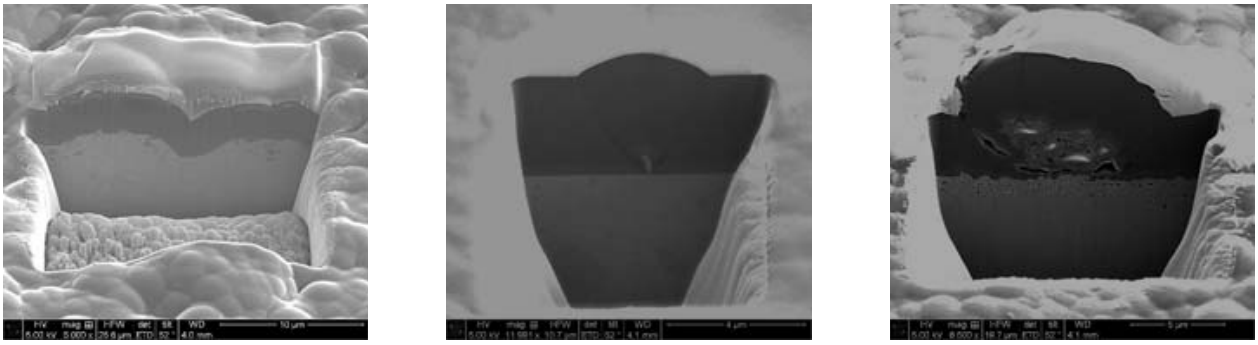
(a) (b) (c)

Fig.5 – Distintas morfologías de defectos en recubrimiento grueso sobre AISI 4140.

3.4. Mecanismo de crecimiento de los defectos

Realizando cortes por medio de FIB sobre muestras con recubrimiento fino (4 µm) se observaron tres tipos de mecanismo de crecimiento de defectos. En el primer caso, mostrado en la Fig. 6 (a), el recubrimiento copia las imperfecciones de la superficie de la probeta, por ejemplo en caso de porosidad.

En la Fig. 6 (b) se muestra el segundo caso donde pequeñas partículas de polvo se depositan sobre el substrato y actúan como puntos de nucleación para el crecimiento de la película. Por último también se observaron defectos como el mostrado en la Fig. 6 (c) donde se han formado poros y depositado impurezas sobre el interlayer de silicio.



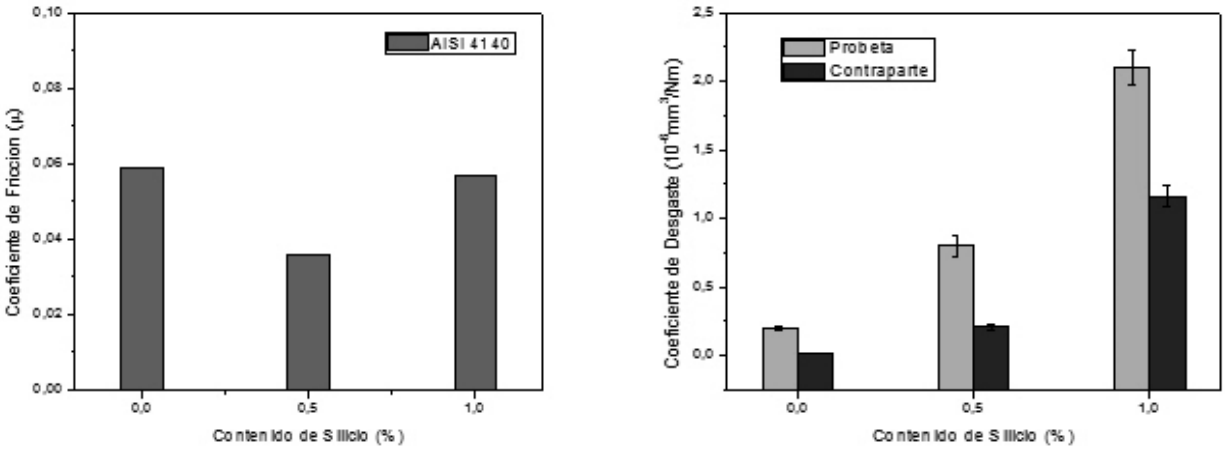
(a) (b) (c)

Fig.6 – Morfología subsuperficial de distintos defectos. (a) Recubrimiento fino sobre AISI 4140. (b) Recubrimiento fino sobre AISI D5 y (c) Recubrimiento fino sobre AISI 4140 nitrurado.

Un análisis de EDX de la zona cortada por FIB reveló que la composición química del recubrimiento no se ve alterada ni en el primer ni en el segundo caso, mientras que en el tercer caso se encontraron impurezas de calcio y aluminio. La morfología subsuperficial de estos últimos defectos y las impurezas encontradas en su interior llevan a considerar como hipótesis que los defectos encontrados como huecos pasantes en el análisis con SEM hayan sido previamente protuberancias que se desprendieron por la acción de una fuerza externa. También se podría considerar que algo similar pueda suceder con el segundo caso, debido a la nucleación.

3.5. Tribología

Se realizaron los ensayos de Pin-on-Disk sobre las muestras en todas las condiciones. No se observaron variaciones con los parámetros de proceso o el substrato, excepto en el caso del silicio, que incide en el coeficiente de fricción y la tasa de desgaste, como se muestra en la Fig. 7.



(a) (b)

Fig.7 – Resultados tribológicos de las muestras de AISI 4140. (a) Coeficiente de fricción. (b) Coeficiente de desgaste.

El coeficiente de fricción promedio fue de 0.035 con una tasa de desgaste promedio sobre la muestra de 0.75×10^{-6} mm^3/Nm.

4. Conclusión

Existe una clara relación entre la posición de la muestra en el reactor y la cantidad de defectos que se forman, siendo óptima la posición de cara pulida enfrentada a la base del reactor. Una menor temperatura de proceso genera una mayor cantidad de defectos de mayor tamaño, que disminuyen al incrementar la temperatura. Los recubrimientos finos poseen muy poca cantidad de defectos comparados con los recubrimientos más gruesos.

Se propone que la formación de defectos en superficie está relacionada con la conductividad del recubrimiento, que aumenta con el espesor (al crecer la capa) y disminuye con la temperatura, dado que a mayor temperatura el recubrimiento tiene mayor conductividad.

La morfología más común de defecto encontrada es la protuberancia, que también se agrupa para formar islas. Se observaron también agujeros que llegan hasta el substrato y que podrían haber sido causados por la remoción de las protuberancias.

Agradecimientos

Al Grupo de Ingeniería de Superficies, su equipo docente y de becarios.

A la Universidad de Ciencias Aplicadas de la Alta Austria, Campus Wels y al departamento de Materiales presidido por Prof. Dr. Heim.

Al Departamento de Materiales de la Universidad de Saarland.

A la OeAD, Agencia Austríaca para la Movilidad Internacional y Cooperación en Educación, Ciencia e Investigación.

Referencias

[1] C. Donnet, A. Erdemir, Tribology of Diamond-like Carbon Films. Fundamentals and Applications, Springer, USA, 2008.
[2] J. Robertson, Material Science and Engineering. R 37 (2002) 129–281.
[3] E.L. Dalibon et al., Diamond & Related Materials 59 (2015) 73-79.
[4] C. Forsich et al., Surface & Coatings Technology 241 (2014) 86–92.
[5] A. Gasco Owens et al., Procedia Materials Science 9 (2015) 246–253.
[6] F. Cemin et al., Tribology International 94 (2016) 464–469
[7] C. Forsich et al., Surface & Coatings Technology 203 (2008) 521–525.
[8] K. Bernland et al., Diamond & Related Materials 15 (2006) 1405–1411.
[9] S-S. Hadinata et al., Thin Solid Films 529 (2013) 412–416.
[10] M. Yatsuzuka et al., Vacuum 80 (2006) 1351–1355.
[11] L.C. Hernández et al., Materials 4 (2011) 929 – 940.

MODELO DE ANÁLISIS TERMICO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN A EDADES TEMPRANAS

José I. Croppi (1), Tutores: Dra. Ing. Laura Battaglia (2), Dr. Ing. Pablo Sanchez (3)
GIMNI - Facultad Regional Santa Fe – Universidad Tecnológica Nacional
Lavaisse 610 (3000) Santa Fe, Santa Fe, Argentina
(1) jcroppi@frsf.utn.edu.ar, (2) lbattaglia@santafe-conicet.gob.ar, (3) psanchez@intec.unl.edu.ar

Resumen
En este trabajo se presenta un modelo numérico para estudiar los fenómenos de hidratación del cemento a edades tempranas, predecir las temperaturas generadas y la evolución de las propiedades mecánicas. Para dar solución a las ecuaciones constitutivas se implementa el método de los elementos finitos. Este estudio es necesario para prevenir fisuraciones que afecten la vida útil. Es por esto que un análisis térmico cumple un rol muy importante en el diseño y la construcción de estructuras masivas como por ejemplo presas, losas de gran espesor y fundaciones. Surge entonces la idea de contar con una herramienta capaz de simular numéricamente este fenómeno y permitir optimizar el curado y el correcto desarrollo de las propiedades mecánicas, con suficiente generalidad para adaptarse a distintas condiciones que se necesiten imponer. Las capacidades del modelo se validan con pruebas experimentales realizadas durante el diseño y la construcción de un tablero de hormigón en el Viaducto de Öresund (Dinamarca). Los resultados obtenidos permiten describir una buena correlación con valores obtenidos in situ dentro de la estructura y en laboratorio. Se concluye entonces que esta metodología permite modelar de forma aceptable el proceso térmico de hidratación del cemento a edades tempranas contemplando las condiciones que influyen en el curado del hormigón.

Introducción

La hidratación del hormigón es un fenómeno muy complejo en el cual se llevan a cabo procesos microscópicos que son difíciles de estudiar. El proceso cobra gran importancia en el estudio de estructuras de hormigón masivas. Una consecuente fisuración puede influir notablemente en la durabilidad y funcionalidad de las estructuras [1].

Una forma de estudiar el problema es mediante ensayos experimentales. Por otro lado, se puede encarar el problema por medio de simulaciones numéricas, obteniendo soluciones aproximadas para casos complejos, utilizando hipótesis consistentes. El modelo aquí presentado se enmarca en el contexto de este último método. El mismo se define por medio de una variable interna que representa el grado de hidratación de la muestra en los tiempos de estudio, permitiendo describir la evolución de la temperatura en función de este.

La reacción de hidratación del hormigón es una reacción altamente exotérmica, lo que provoca un aumento de temperaturas considerable, que se acentúa en condiciones que puedan caracterizarse como adiabáticas. Las deformaciones volumétricas inducidas provocan gradualmente mayores tensiones a medida que el hormigón se endurece. Debido a la baja conductividad térmica del material, una distribución de temperaturas no uniforme y fenómenos de intercambio de calor con el ambiente en relación a restricciones de deformación volumétricas tanto internas como externas, se pueden producir solicitaciones de tracción que generen fisuraciones.

Se incluye entonces un análisis de origen químico y térmico que permite caracterizar su interacción y obtener la evolución y distribución de temperaturas en estructuras de hormigón a edades tempranas.

Objetivos

La investigación se centra en poder modelar el fenómeno de forma aceptable para aplicaciones estructurales. Proponiendo soluciones a las ecuaciones constitutivas a través del método de los elementos finitos, se plantea dar solución al problema térmico que se produce en el hormigón a edades tempranas asociado a la hidratación del cemento. El modelo debe representar las características del comportamiento del hormigón a nivel macroscópico que permitan a su vez poder ser constatados mediante ensayos en laboratorios. Se deben poder evaluar casos en dos y tres dimensiones teniendo en cuenta factores como: la generación de calor por la hidratación, los múltiples materiales involucrados (hormigón colocado con anterioridad, encofrados, suelo o

aislaciones, etc.), la variación térmica del entorno donde se emplaza la estructura, las etapas y tiempos de ejecución de las mismas, entre otros.

Metodología Numérica

La formulación teórica de la generación y conducción de calor en el hormigón que se produce durante la hidratación del cemento conduce a un problema en derivadas parciales transitorio no lineal, al que se le aplican condiciones iniciales y de contorno.

El problema de conducción de calor transitorio con término fuente en un medio continuo que abarca un dominio Ω, está gobernado por la siguiente ecuación diferencial [2]:

$$\rho\, c_e\, \dot{\phi} - k\, \Delta\phi = \dot{Q} \text{ en } \Omega \qquad (1)$$

donde Δ es el operador laplaciano, ϕ es la temperatura y los parámetros ρ, c_e y k son la densidad, el calor específico y la conductividad térmica, respectivamente, que dependen del material. El término fuente es representado por $\dot{Q}$ el cual es función del grado de hidratación del cemento.

Las etapas constructivas son activadas y consideradas en el análisis según tiempos pre establecidos. A su vez, se introduce una interfaz de contacto entre las distintas etapas, para contar con la posibilidad de establecer una condición de convección cuando no se tenga un elemento activo en uno de sus lados, y una condición de conducción cuando esté entre dos etapas activas.

Las condiciones de borde se describen en términos de las ecuaciones siguientes.

$$\phi = \bar{\phi} \text{ en } \Gamma_\phi \quad \text{y} \quad -k\frac{\partial\phi}{\partial n} = \bar{q}.\bar{n} \text{ en } \Gamma_n \qquad \text{(2) y (3)}$$

$$\bar{q}.\bar{n} = h(\phi - \phi_{\text{ref}}) \qquad (4)$$

Γ_ϕ y Γ_n son las fronteras del dominio Ω de tipo Dirichlet (2) y de tipo Neumann (3), definidas de manera tal que $\Gamma_\phi \cup \Gamma_n = \Gamma$ y $\Gamma_\phi \cap \Gamma_n = \emptyset$, donde $\bar{\emptyset}$ representa temperaturas impuestas, $\bar{n}$ es un vector normal a la superficie de borde Γ y $\bar{q}$ representa flujos impuestos en la frontera tipo Neumann (3). El intercambio de flujo entre el sólido y el exterior se modela mediante la ecuación (4) que representa una condición de convección. Allí interviene un coeficiente de convección h, la variable de temperatura de cálculo ϕ y una temperatura de referencia conocida ϕ_{ref}, mediante la cual se tiene en cuenta la influencia de la temperatura ambiente exterior, variable en el tiempo.

Las condiciones iniciales de cada etapa se toman en cuenta mediante la siguiente expresión:

$$\phi(x, t = 0) = \phi_0(x) \text{ en } \Omega \qquad (5)$$

donde $\phi_0(x)$ representa la distribución inicial de temperaturas que en general coincide con la temperatura de colado de cada etapa.

Para tomar en consideración el término fuente de generación de calor se asume como mecanismo dominante de hidratación del cemento una variable interna llamada grado de hidratación, que describe la relación del agua en la reacción con los hidratos ya formados y cuya ley de evolución es calibrada y permite calcular de forma adecuada la producción del calor de hidratación caracterizada por el término fuente $\dot{Q}$ [3].

El modelo propuesto considera varias expresiones para representar este término. En este trabajo se implementa el modelo propuesto por Cervera et al. [4] para formular el término fuente, ya que fue el utilizado en los ejemplos que se presentan. Los parámetros intervinientes se obtienen de ensayos experimentales. El término fuente para la ecuación del calor empleada por Cervera et al. parte de suponer la siguiente relación para el término de generación de calor en la masa de hormigón:

$$\dot{Q} = Q_\xi \dot{\xi} \qquad (6)$$

El parámetro Q_ξ puede obtenerse mediante un experimento adiabático, mientras que la evolución de la variable normalizada denominada grado de hidratación ξ está dada por:

$$\dot{\xi} = \frac{k_\xi}{\eta_{\xi 0}}\left(\frac{A_{\xi 0}}{k_\xi \xi_\infty} + \xi\right)(\xi_\infty - \xi)\exp\left(-\bar{\eta}\frac{\xi}{\xi_\infty}\right)\exp\left(-\frac{E_a}{R\phi}\right) \tag{7}$$

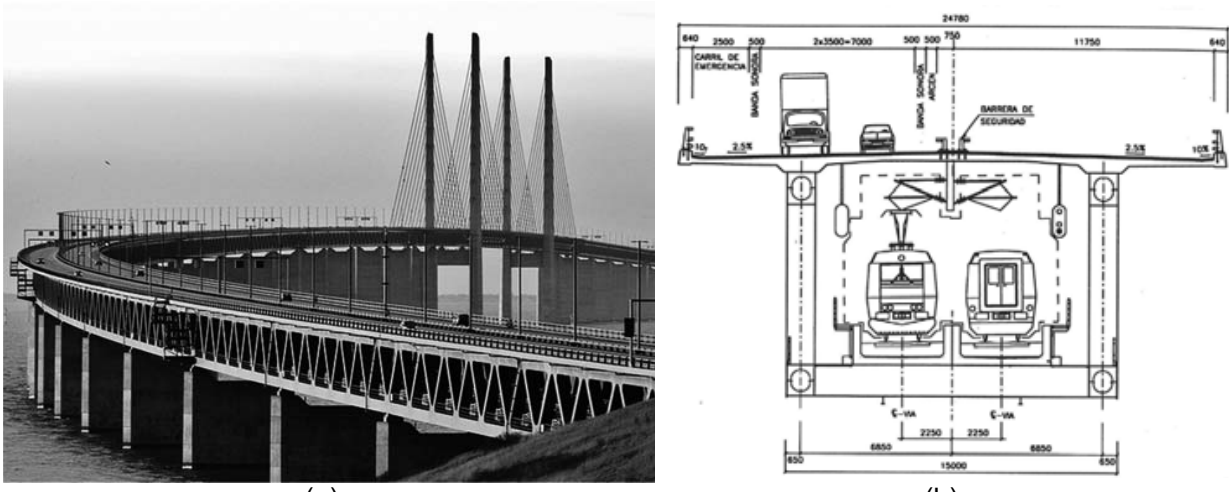
donde E_a la energía de activación, R la constante de Boltzmann. Los restantes parámetros son: $A_{\xi 0}$ la afinidad química inicial, $\eta_{\xi 0}$ y $\bar{\eta}$ las viscosidades, y k_ξ una constante del material. En dicha expresión interviene el valor final del grado de hidratación que se obtiene como:

$$\xi_\infty = \frac{1.031\ {}^{w}/_{c}}{0.194 + {}^{w}/_{c}} \tag{8}$$

siendo ${}^{w}/_{c}$ la relación agua-cemento de la mezcla.

La metodología numérica no se aplica a la forma fuerte del problema (ecuación diferencial de calor), sino a una forma débil obtenida a través del método de los residuos ponderados (Galerkin). La no linealidad del problema, dado que el término fuente depende de la temperatura, se resuelve mediante una estrategia iterativa (Newton – Raphson). La discretización espacial se realiza por el método de elementos finitos y la discretización temporal, mediante un esquema implícito de integración (Backward-Euler) basado en diferencias finitas.
Se propone una aproximación por elementos finitos lineales, triangulares para 2D y tetraédricos para 3D, para el campo de temperaturas.

Resultados
Para estudiar la evolución de las temperaturas en una estructura se analiza el tablero de hormigón del viaducto de acceso al puente de Öresund (Dinamarca) durante su construcción y primeros días de vida [5]. Se evalúa el calentamiento asociado a la liberación de calor por hidratación y su posterior enfriamiento.
Este viaducto denominado Öresund Link es una vía de comunicación de 16 km de longitud que une las ciudades de Copenhage (Dinamarca) y Malmö (Suecia) a través del estrecho de Öresund. Su construcción abarco los años entre el 1994 y 2000. Para su diseño y construcción se tuvo como premisa que la durabilidad del proyecto debe ser superior a 100 años, para lo cual exige requerimientos estructurales elevados debido a las condiciones ambientales extremas en que se encuentra (temperaturas por debajo de los -20°C, ambiente marino, procesos hielo-deshielo).
En la Figura 1 se puede observar una imagen del puente y una sección transversal del mismo.



(a) (b)

Fig. 1. (a) Imagen del Viaducto de Öresund (b) Sección transversal del viaducto

El tablero se conforma por una autopista para el tráfico rodado con un total de cuatro carriles de circulación más dos de emergencia, con un total de 23.5 m de ancho y 4.25 m de voladizo. Por debajo del mismo circulan dos vías de ferrocarriles. Su espesor es variable. En la conexión con la estructura metálica es de máximo 0.75m y en el centro es de 0.35m.
El hormigón de la losa de tablero es de alta resistencia: H50, con una resistencia mínima a compresión a 28 días de 50 MPa. La mezcla posee 380 Kg/m^3 de cemento y 38 Kg/m^3 de microsílice. Sus propiedades se consignan en la Tabla 1 [5].
Estudios muestran que las temperaturas de curado en ensayos a 50°C y 60°C no afectan significativamente la resistencia final a compresión. Por ende, este hormigón sometido a un estricto control de calidad no tiene efecto perjudicial en el valor final de resistencia.
Se realizó un ensayo adiabático para determinar el calor liberado mediante 3 probetas. El microsilíce afecta solo la cinética de reacción, retrasando ligeramente el comienzo del proceso.
En la Figura 2 se observa la evolución de las temperaturas obtenidas con el modelo utilizando los parámetros térmicos en comparación con los ensayos experimentales referidos.

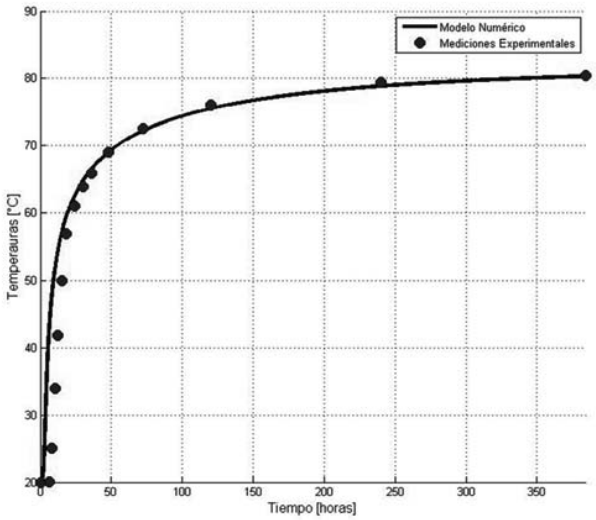


Tabla 1: Propiedades del Hormigón H50 para determinar su curva adiabática.

w/c	0.32
$\rho\ [Kg/m^3]$	2340
$C[J/m^3{}^\circ C]$	1870000
$k_T[J/m\ hs\ {}^\circ C]$	6000
$Q_\xi[J/m^3]$	181400000
$f_\infty^-[MPa]$	54.00

Fig. 2. Evolución de las temperaturas del hormigón H50 en un ensayo adiabático.

La línea continua representa la predicción del modelo, mientras que los puntos representan los resultados experimentales.

A continuación se presenta una comparación de los resultados medidos in situ, los obtenidos por Cervera et. al. [5] y los obtenidos mediante el modelo propuesto, simulando las condiciones reales de construcción. Las propiedades del hormigón empleado se muestran en la Tabla 2.

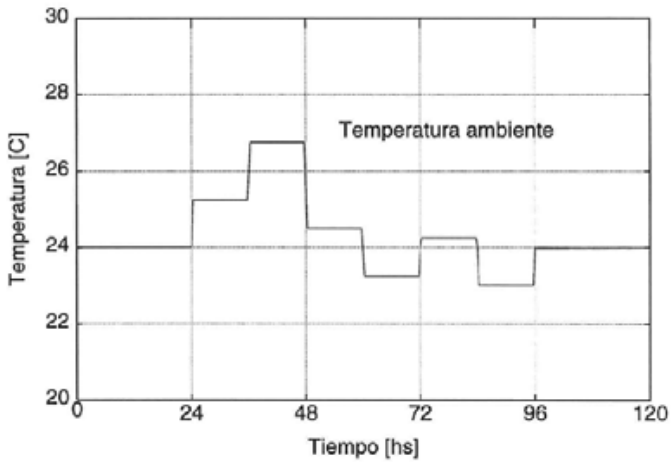


Tabla 2: Propiedades térmicas del Hormigón H50

w/c	0.32
ξ_∞	0.64
$k_\xi/\eta_{\xi 0}\ [1/hs]$	2700000
$\bar{\eta}$	8.40
$A_{\xi 0}/k_\xi$	0.0001
$E_a/R\ [^oK]$	4000
$Q_\xi[10^5 J/m^3]$	195000000

Fig. 3. Variación de la temperatura ambiente en el tiempo de análisis

Se realiza un análisis bidimensional discretizando el tablero de hormigón en elementos finitos. Por razones de simétrica respecto al eje vertical central, solo se modela media sección. La malla tiene 1271 nodos y 2272 elementos triangulares. Para simular la transferencia de calor con el medio ambiente se determinan dos superficies de contacto distintas. En la superior, el hormigón está recubierto por una capa de plástico, y en la inferior se representan las condiciones de encofrado. La variación de la temperatura ambiente se observa en la Figura 3. Se obtiene de la bibliografía [5] dos coeficientes de convección-radiación correspondientes a cada superficie, que son función de variables como la humedad ambiente, la velocidad del viento, las horas de insolación, etc. Estos coeficientes se mantienen constantes en todo el tiempo de análisis.

$$h_{superficie\ superior} = 27000\ J/m^2hs°C\ ;\ h_{superficie\ inferior} = 12500\ J/m^2hs°C$$

La densidad de la malla se debe a la necesidad de capturar los efectos térmicos en las superficies superior e inferior de la losa. La misma se puede observar en la Figura 4. Durante el proceso de construcción se adoptaron medidas para regular la temperatura en la cara superior de la losa mediante una nave de hormigonado, para obtener un buen control de la temperatura de curado. Esta diferencia se ve reflejada en comparación con la capa inferior en el coeficiente de convección. Se adopta entonces una única temperatura ambiente medida por sensores exteriores que varía a lo largo del proceso de curado. La temperatura inicial del hormigón para el modelo es de 19°C. La misma coincide con la temperatura medida in situ.
Se estudia a su vez la evolución de las temperaturas mediante sensores en diferentes puntos de la sección del tablero. Se intenta entonces reproducir con el modelo los resultados experimentales obtenidos in situ, comparando los valores en 6 sensores distribuidos como se puede observar en la Figura 4.

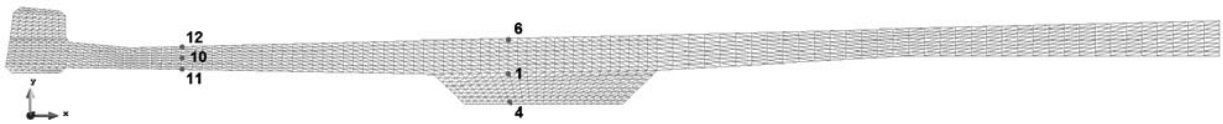
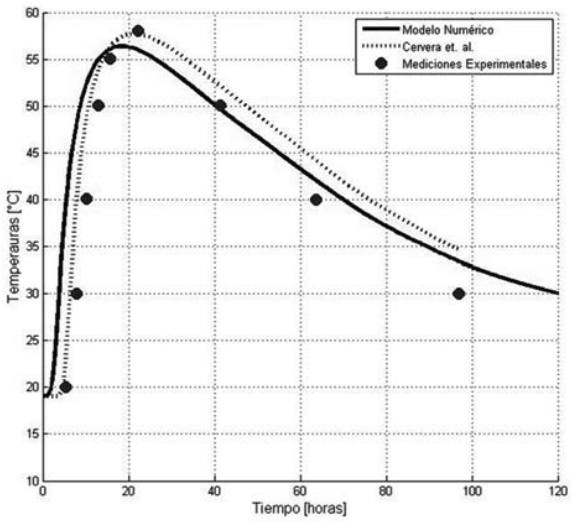
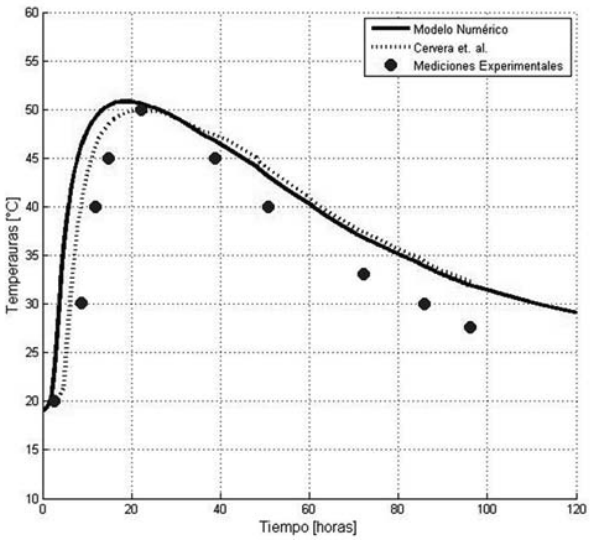


Fig. 4. Malla de elementos finitos y ubicación con numeración de los sensores de temperatura.

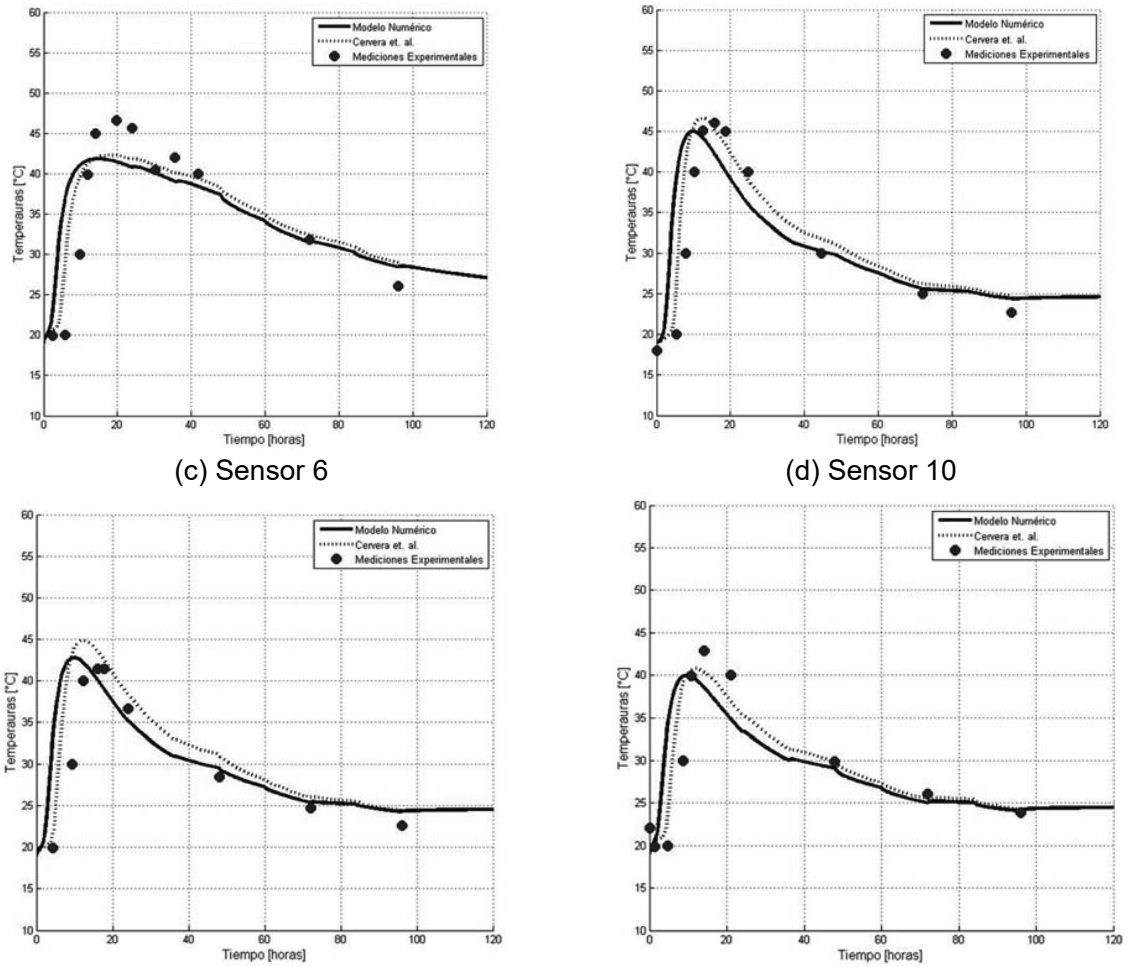
En la Figura 5 se muestra la comparación de las temperaturas calculadas, las medidas in situ y las obtenidas por Cervera et. al. [5]. Se observa una muy buena correlación con los resultados obtenidos.



(a) Sensor 1



(b) Sensor 4



(c) Sensor 6 (d) Sensor 10

(e) Sensor 11 (f) Sensor 12

Fig. 5. Evolución de temperaturas en sensores distribuidos en el tablero de hormigón.

Conclusiones

Los resultados muestran una buena correlación con los obtenidos a partir de ensayos experimentales y los valores medidos in situ en la estructura. El modelo numérico desarrollado es capaz de predecir la evolución de la temperatura en la masa de hormigón debido a la hidratación del cemento, considerando las condiciones de borde que inciden en el problema.

Mediante la utilización del código es posible resolver problemas de transferencia y generación de calor. El mismo funciona como herramienta útil a la hora del diseño y construcción de estructuras hormigonadas por etapas y curadas bajo condiciones específicas.

A futuro se plantea la implementación de un modelo mecánico instantáneo que permita determinar el riesgo de fisuración en función de la evolución de la hidratación del cemento, la cinética de las temperaturas y el desarrollo de las propiedades de resistencia del material a edades tempranas.

Referencias

[1] Crespo M.D. *Comportamiento del Hormigón Armado a Tempranas Edades. Efectos Estructurales de las Deformaciones Impuestas Impedidas*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya.

[2] Cervera, M., Oliver, J. Prato, T.,(1999).*Un modelo termo-quimio-mecánico de hormigón a tempranas edades. Aplicación a la construcción de presas de HRC.* Monografía CIMNE, 51, 13-48.

[3] Cervera M., Faria R., Oliver J., Prato T. (2002) *Numerical modelling of concrete curing, regarding hydration and temperature phenomena,* Computers and Structures, 80, 1511–1521.

[4] Coussy O., Ulm F.J. (1996) *Strength growth as chemo-plastic hardering in early age concrete*, J. Eng. Mech, 122, 1123-1132.

[5] Cervera M., Faria R., Oliver J., Prato T. (1999) *Análisis Termo-Mecánico del proceso de fabricación de un tablero del viaducto de Öresund,* Publicación CIMNE, 165, 3-28.

TECNOLOGÍA CASE PARA MODELADO CIM CON BPMN Y SU TRANSFORMACIÓN A VISTAS DE MODELOS PIM CON UML

Leandro Rocca, Cecilia Ariste,
Matías Caputti, Iván Zugnoni

Directores: Leopoldo Nahuel, Roxana Giandini
Laboratorio de Innovaciones en Sistemas de Información, LINSI.
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata.
Calle 60 esq. 124, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

{lrocca, cariste, mcaputti, izugnoni, lnahuel, rgiandini@linsi.edu.ar

Resumen. El Desarrollo Dirigido por Modelos (MDD) es una alternativa innovadora en Ingeniería de Software, fundamentada en la construcción y transformación de modelos con distintos niveles de abstracción. En este contexto, proponemos partir de Modelos Independientes de aspectos Computacionales (CIM) con foco en modelado de Procesos de Negocio (utilizando BPMN), y alcanzar Modelos Independientes de la Plataforma tecnológica (PIM) con foco en modelos que representen workflows estructurados (utilizando UML). Para lograr esta transformación desde una perspectiva de negocios hacia una perspectiva de sistemas, presentamos un nuevo reporte de experiencias sobre diseño y propuesta de implementación de transformaciones empleando el lenguaje ATL. Específicamente, en este trabajo se presentan transformaciones de modelos de Proceso de Negocios expresados en BPMN a modelo de Diagramas de Actividades expresados en UML, y un caso de estudio para validar la especificación de la transformación. Estos modelos PIM resultan valiosos en etapas iniciales del proceso de desarrollo de sistemas.

Palabras Clave: MDD (Model Driven Development), Transformaciones de Modelos, BPMN (Business Process Model and Notation), UML (Unified Modeling Language), ATL (Atlas Trasformation Language).

1. Introducción.

Bajo un desarrollo tradicional, cualquier cambio producido sobre un requisito impacta sobre el código fuente, produciendo inconsistencias y dificultades de mantenimiento. Uno de los cambios más importantes en el área de modelado y desarrollo de sistemas se evidencia con la consolidación del enfoque de Desarrollo Dirigido por Modelos (Model Driven Development, MDD) [1, 2, 3], una de las especialidades con grandes necesidades del campo de la Ingeniería de Software [4]. La idea troncal de este paradigma, es obtener mediante transformaciones automáticas, modelos más específicos o concretos, a partir de otros más abstractos.

Por otro lado, en el campo de la Gestión de Procesos de Negocio (Business Process Management, BPM) [5, 6] en las organizaciones, el lenguaje gráfico BPMN (Business Process Modeling Notation) [7, 8] es el estándar de facto en la industria para el modelado de procesos. Este lenguaje proporciona una notación fácil, legible y entendible por parte de todos los involucrados e interesados del negocio (stakeholders).

El presente trabajo tiene como motivación y objetivo implementar transformaciones M2M (Model to Model) para ser utilizadas en etapas iniciales del ciclo de vida MDD de la forma detallada anteriormente: tomando como origen de transformación a Modelos CIM (Modelos Independientes de la Computación) construidos con lenguaje BPMN, particularmente Diagramas de Proceso de Negocio BPD, para la generación automática de Modelos PIM (Modelos Independientes de la Plataforma) [9] en lenguaje UML [10, 11], específicamente Diagramas de Actividades UML. De esta manera, se da continuidad a las líneas de investigación y resultados plasmados en trabajos publicados anteriormente en el marco del Proyecto de I&D MAPS [12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 21] y se generan los diferentes modelos PIM, necesarios en el desarrollo de sistemas orientados a objetos.

Finalmente, se presentan una propuesta de implementación de las reglas de transformación necesarias para generar un plug-in en la plataforma EMF (Eclipse Modeling Framework)[19], que trabaje con un metamodelo BPMN y un metamodelo UML y que, en conjunto con las reglas de transformación escritas en lenguaje ATL (Atlas Transformation Language)[17] nos permita obtener, mediante una transformación automática, el pasaje de un modelo CIM (en este caso Modelos del Negocio escritos en BPMN[18]), a distintos modelos PIM (Diagramas de Clases, Diagramas de Casos de Uso y Diagramas de Actividades UML). Esta especificación permite la independencia de la tecnología a utilizar, es decir que las reglas puedan ser desarrolladas de diversas maneras sin más ataduras tecnológicas que los propios lenguajes de modelado estándares de la OMG.

Dentro del paradigma MDD (Model Driven Development), los modelos son una parte fundamental al igual que las transformaciones automáticas que parten de modelos abstractos hasta llegar al código fuente de la aplicación.

Dentro del paradigma MDD, se crean diferentes modelos partiendo desde los que poseen niveles altos de abstracción respecto del sistema, hasta llegar a niveles más bajos [1], como se puede observar en la Figura 1.

MDD utiliza cuatro tipos de modelos (de mayor a menor nivel de abstracción): CIM (Computation Independent Model), PIM (Platform Independent Model), PSM (Platform Specific Model) y CODE (código fuente de la aplicación) [1]. La idea troncal dentro de este paradigma, es obtener mediante transformaciones automáticas, modelos más específicos a partir de otros más abstractos; es decir, de un PIM obtener uno o varios PSM (según la tecnología de implementación) y de un PSM, obtener el código fuente en una tecnología específica.

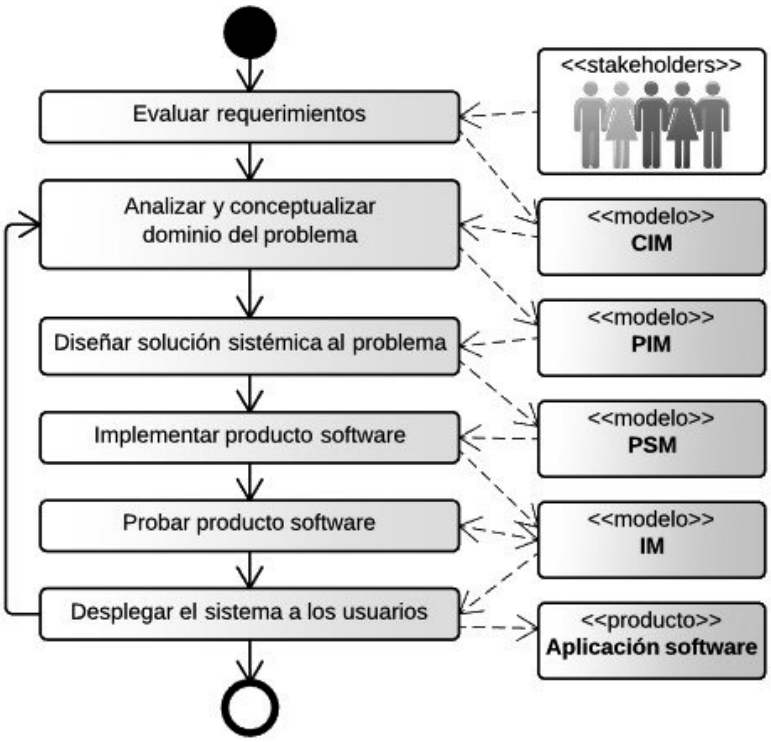


Fig. 1 – Proceso iterativo para la construcción de software en un ciclo de vida MDD.

2. Transformación de Diagrama de Procesos de Negocio (BPMN) a Diagrama de Actividades (UML)

La obtención de diagramas de actividades como conclusión de un proceso de transformación a partir de diagramas BPMN, resulta un proceso simple. El mapeo es directo y por ello es muy simple ver las relaciones entre los metamodelos y la transformación escrita en ATL. En la Figura 3 se muestra el resultado de esta transformación a partir del proceso modelado con BPMN de la Figura 2, en el cual se modela un proceso simple de asociación de un individuo a una biblioteca.

Partiendo desde las reglas definidas a nivel conceptual en [21], se propone la implementación de las mismas en lenguaje ATL que serán ejecutadas con el fin de obtener el modelo de salida, en este caso un Diagrama de Actividades UML. En la Figura 4 pueden observarse, a modo de ejemplo, reglas ATL de transformación para *Fork Nodes*, *Join Nodes* y combinación de ambos. En la misma figura también se encuentran definidos tres *Helpers* que serán los encargados invocar a las transformaciones a medida que se recorre la estructura del modelo BPMN de entrada.

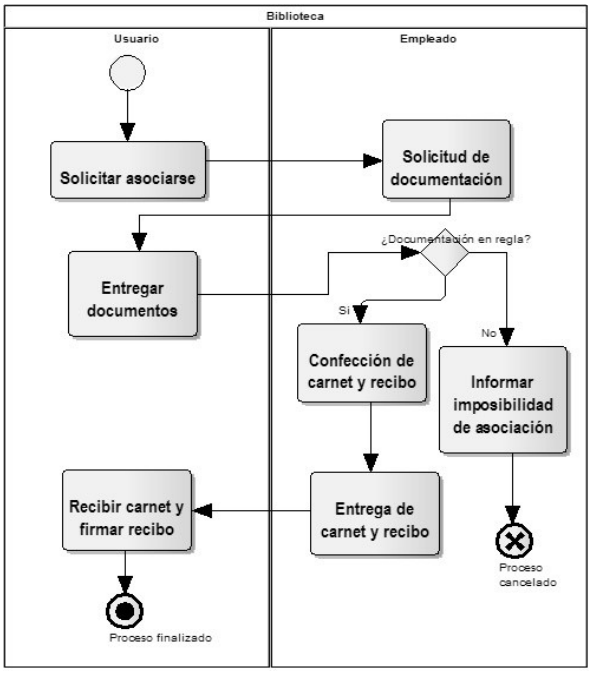


Fig. 2 – Proceso BPMN para asociar a un usuario a la biblioteca

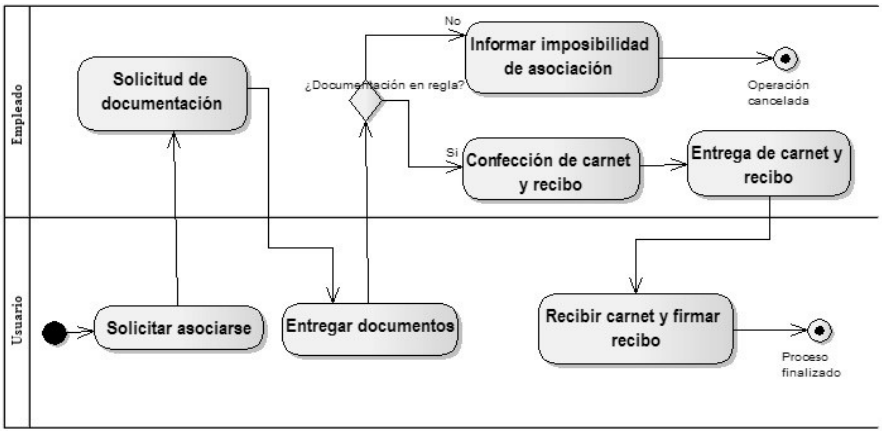


Fig. 3 – Diagrama de Actividades obtenido a partir del Diagrama BPMN

```
// Definición de Helpers #1
helper context bpmn!Activity def: usedAsSplit(): Boolean =
    self.incomingEdges -> size() = 1 and self.outgoingEdges -> size() > 1;

// Definición de Helpers #2
helper context bpmn!Activity def: usedAsJoin(): Boolean =
    self.incomingEdges -> size() > 1 and self.outgoingEdges -> size() = 1;

// Definición de Helpers #3
helper context bpmn!Activity def: usedAsSplitAndJoin(): Boolean =
    self.incomingEdges -> size() > 1 and self.outgoingEdges -> size() > 1;

// Regla de transformación #1 SPLIT
// OR Gateway (BPMN) > ForkNode (UML)
rule ORGatewaySplit {
    from i: bpmn!Activity (i.activityTyle = #GatewayDataBasedInclusive
                           and i.usedAsSplit())
    to: o: UML!ForkNode(...)
}

// Regla de transformación #2 JOIN
// OR Gateway (BPMN) > MergeNode (UML)
rule ORGatewayJoin {
    from i: bpmn!Activity (i.activityType = #GatewayDataBasedInclusive
                           and i.usedAsJoin())
    to o: UML!MergeNode(...)
}

// Regla de transformación #3 SPLIT + JOIN
// OR Gateway (BPMN) > ForkNode (UML)
rule ORGatewaySplitAndJoin {
    from i: bpmn!Activity (i.activityType = #GatewayDataBasedInclusive
                           and i.usedAsSplitAndJoin())
    to o: UML!ForkNode(...)
}
```

Fig. 4 – Ejemplo de Reglas de Transformación ATL

3. Transformación de Diagrama de Procesos de Negocio (BPMN) a Diagrama de Casos de Uso (UML)

Las características semánticas de los modelos de procesos de negocio, hacen que sea posible obtener otro tipo de diagrama de comportamiento UML: Diagramas de Caso de Uso. En la Figura 5 se observa el resultado de la transformación desde el diagrama BPMN mostrado en la Figura 2. Se seguirá la metodología propuesta en [18] en la cual se plantea el siguiente mapeo entre elementos de los metamodelos.

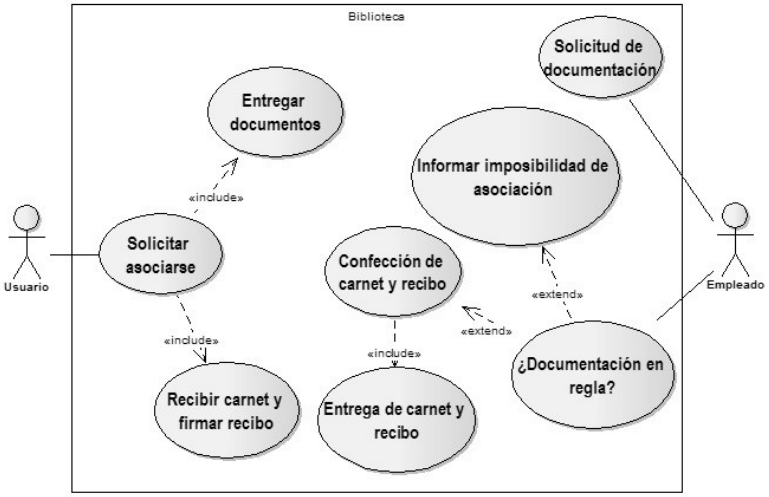


Fig. 5 – Diagrama de Casos de uso obtenido desde el Diagrama BPMN

4. Transformación de diagrama de Procesos de Negocio (BPMN) a diagrama de Clases Conceptuales (UML)

Un diagrama de clases es parte de los componentes de modelado estructural de UML. Sus componentes modelan la arquitectura del sistema y está relacionado a elementos estáticos del sistema, alejado de los procesos de negocio modelados a partir de BPMN. Sin embargo, es posible obtener un primer acercamiento a un diagrama de clases, de un alto nivel de abstracción, a partir de modelos BPMN. Como ya se ha mencionado, todo modelo fuente tiene sus limitaciones en una transformación, y por tanto no es posible lograr cualquier tipo de modelo destino. Aquí se plantea un mapeo simple entre elementos de ambos lenguajes. El modelo de clases que se obtendrá constará de clases sueltes con algunos métodos. Los atributos y las relaciones entre clases podrán ser completados posteriormente mediando un proceso manual de los analistas con un esfuerzo considerablemente menor al que resultaría de realizar todo el proceso de forma manual. En la Figura 6 se expone un ejemplo de ésta transformación, obtenido partiendo con el modelo BPMN de la Figura 2 como modelo fuente.

Para conseguir un modelo estructural compuesto de clases sueltas con algunos métodos, a partir de un diagrama de un proceso escrito en BPMN, se plantea el siguiente emparejamiento entre elementos de los metamodelos que los componen:

1. *Carriles y Clases*: los carriles o “lane”, son elementos que separan los procesos dentro de un diagrama BPMN según su rol o categoría. Un carril es el contexto donde se ejecutan ciertas actividades de un proceso, y por ende puede ser tomado como una Clase de UML que tendrá ciertos métodos relacionados a las actividades que se ejecutan dentro del carril.
2. *Task y Métodos de clase*: siguiendo la idea mencionada en un mapeo lane-clase, las actividades que se dan dentro de un carril, serán los métodos de la clase conseguida a partir de ese carril.

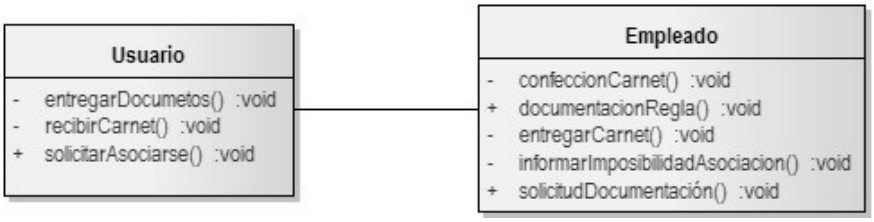


Fig. 6 – Diagrama de Clases conceptuales obtenido desde el Diagrama BPMN

4. Conclusiones y Trabajo Futuro

El presente trabajo especifica las reglas de transformación necesarias para obtener, desde un modelo CIM (en este caso Modelos del Negocio), modelos PIM (Diagramas de Actividad UML). Esta especificación permite la independencia de la tecnología a utilizar, es decir que las reglas puedan ser desarrolladas de diversas maneras sin más ataduras tecnológicas que los propios lenguajes de modelado estándares de la OMG.

Particularmente, es destacable que este trabajo se basa fuertemente en las especificaciones técnicas de los lenguajes BPMN y UML, lo que le da criterio y lo hace independiente de tecnología, plataformas o proyectos. Además, las transformaciones aquí especificadas fueron contrastadas con trabajos de investigación y publicaciones a los que se pudo acceder y que tienen una línea de trabajo similar. Esto último le da aún más validez.

Como líneas de trabajo futuro, se pretende lograr una unificación de las transformaciones propuestas, en una metodología de diseño de modelo CIM, capaz de orientar las actividades y aportar solidez al desarrollo. A su vez, se puede proponer otro tipo de transformación a partir de diagramas de procesos de negocio: obtención de diagramas de máquina de estados.

Referencias

1. C. Pons, R. Giandini, G. Pérez. Desarrollo de Software Dirigido por Modelos. Conceptos teóricos y aplicación. McGraw- Hill, 1er. Edición, (2010).
2. J. García, F. O. García, V. Pelechano, A. Vallecillo, J.M. Vara, C. Vicente-Chicote. Desarrollo de Software Dirigido por Modelos. ISBN 978-84-9964-215-4 (2013).
3. F. Durán Muñoz, J. Troya Castilla, A. Vallecillo Moreno. Desarrollo de software dirigido por modelo. Universitat Oberta de Catalunya (2013).
4. I. Sommerville, Ingeniería de Software, 7ma. edición, Pearson, 2005. ISBN: 84-7829-074-5.
5. L. Dyer, F. Henry, I. Lehmann, G. Lipof, F. Osmani, D.Parrott, W.Peeters, J. Zahn. "Scaling BPM Adoption from Project to Program with IBM Business Process Manager". IBM Business Process Manager, EEUU, 2012.
6. Ryan K. L. Ko. "A Computer Scientist's Introductory Guide to Business Process Management (BPM)", ACM New York, NY, USA. Vol.15, Nº4, 2009.
7. OMG, "Business Process Model and Notation (BPMN)", version 2.0, 2011.
8. B. Silver. "BPMN Method and Style: A Levels-based Methodology for BPM Process Modeling". Cody Press, EEUU, 2009. ISBN-10:0982368100.
9. A. Rodriguez, E. Fernandez, M. Piattini. CIM to PIM Transformation: A Reality. In Research and Practical Issues of Enterprise I.S.. Springer Boston. 2008. ISBN 978-0-387-763.
10. G. Booch, I. Jacobson, J. Rumbaugh. El lenguaje unificado de modelado. Segunda Edición. Pearson.2006. ISBN-13: 9788478290765.
11. OMG Unified Modeling Language Infrastructure. Versión 2.4.1 2011.
12. L. Nahuel, E. Santanera, M. C. Ariste, L. Rocca, R. Giandini. Integración Metodológica para el Desarrollo de Tecnologías Software Dirigidas por Modelos y Basadas en Procesos de Negocio. CIINDET 2014.
13. L. Nahuel, E. Santanera, L. Rocca, C. Ariste, R. Giandini. Aportes de las Tecnologías para Gestión de Procesos de Negocio al Desarrollo de Software Dirigido por Modelos. HCITISI 2013, (ISBN 978.88.96.471.25.8).
14. R. Giandini , I. Martinez, L. Mendez, L. Nahuel, J. Perelli, M. Pérsico. Integración de modelos BPMN en ambientes MDA. CACIC-WIS 2012.
15. N. Santos Blasi, M. Pérsico, J. Perelli, I. Martinez Asturdillo, L. Mendez. Desarrollo de Prototipo CASE para Transformación de Modelos en contexto MDD aplicado a Modelos BPMN. JEI 2012.
16. I. Martinez Asturdillo, L. Mendez, J. Perelli, M. Pérsico, N. Santos Blasi, R. Giandini, L. Nahuel. Una aproximación a la generación automática de código en un contexto MDD sobre modelos BPMN. EST 2012 – 41° JAIIO 2012.
17. ATL Lenguaje de Transformación ATLAS https://eclipse.org/atl/.
18. L. Rocca, M. Caputti, I. Zugnoni. Implementando Transformación de Modelos utilizando MOSKitt Tool en adhesión al Paradigma MDD. CONAIISI 2014.
19. EMF Eclipse Modeling Framework. URL: https://www.eclipse.org/modeling/emf/
20. R. Giandini, G. Pérez, C. Pons. Un lenguaje de Transformación específico para Modelos de Proceso del Negocio. CLEI 2010. Asunción, Paraguay
21. C. Ariste, J. Ponisio, L. Nahuel, R. Giandini. Diseñando Transformaciones de Modelos CIM / PIM: desde un enfoque de negocio hacia un enfoque de sistema. JAIIO 2015.

ELABORACIÓN DE DIETAS DE ENGORDE CON DIFERENTES PORCENTAJES DE HARINAS VEGETALES PARA TILAPIA NILOTICA (*Oreochromis niloticus*) CULTIVADA EN SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN.

Adrián O. Barragán[1], Aldo N. Zanazzi[1], María I. Prario[1] y Julio C. Imeroni[1]. Tutor: Dr. Juan C. Mallo[1,2]

e-mail: jcmallo@mdp.utn.edu.ar

1. Unidad Académica Mar del Plata (UTN). 2. Comisión de Investigaciones Científicas Bs.As. (CIC).

Resumen

El suministro de alimento en acuicultura representa uno de los aspectos fundamentales de esta actividad, ya que el mismo constituye una parte muy importante de los costos de producción. En la búsqueda de ingredientes más económicos para el desarrollo de alimentos balanceados más rentables, se utilizan diversas fuentes de proteínas vegetales en reemplazo de la harina de pescado. Es relevante aprovechar esta situación en especies omnívoras como la Tilapia nilotica, porque éstas pueden asimilar nutrientes de origen vegetal sin ver afectadas sus características finales. El objetivo del presente trabajo fue reemplazar harina de pescado por diferentes porcentajes de harinas vegetales (soja y trigo). Se realizó este bioensayo en el Laboratorio de Acuicultura de la Unidad Académica Mar del Plata (UTN). Se sembraron por duplicado 10 juveniles por tratamiento con un peso promedio de 179,63±18,8g y una densidad de 7,17kg/m^3, en tanques de fibra de vidrio de 250 litros, con un sistema de recirculación. Al finalizar la experiencia (57días) los ejemplares alcanzaron un peso promedio de 297,34±16,53g (Dieta A: 10,01% de harina de soja, 54,9% de harina de pescado y 13,09% de harina de trigo), 277,72±5,38g (Dieta B: 40 % de harina de soja, 14,9 % de h. de pescado y 32.5 % de h. de trigo) y 264,78±21,78g (Dieta C: 50 % de h. de soja, un 7 % de h. de pescado y 32,7 % de h. de trigo). Los valores del Factor de conversión alimenticia (FCA) mostraron una buena eficiencia con las tres no existiendo diferencias significativas entre ellas, Dieta A 2,58±0,32, Dieta B 2,60±0,01 y Dieta C 2,53±0,09. Para estimar los costos de los diferentes alimentos empleados se tomaron los valores de los ingredientes en el mercado y se calcularon en base a las cantidades utilizadas en la elaboración de cada dieta, llegando así a los costos finales.

Palabras clave: harinas vegetales, harina de pescado, dietas, acuicultura, análisis sensorial.

Introducción

El crecimiento de la producción acuícola es exponencial debido al aumento de la demanda de peces comestibles entre la mayoría de países productores y consumidores, la misma aumentó a una tasa media anual del 6,2% en el período de 2000 a 2012 (FAO, 2014). En el año 2014 la producción de animales acuáticos procedentes de la acuicultura ascendió a 73,8 millones de toneladas (FAO, 2016).

Una de las principales conclusiones del informe “La pesca hasta 2030: Perspectivas de la pesca y la acuicultura", elaborado por el Banco Mundial, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI), es la predicción de que el 62% del pescado procederá de la acuicultura en 2030, fundamentalmente por el hecho de que la pesca de captura no elevará los actuales valores y además por el gran desarrollo de los últimos años que ubica a la acuicultura como la producción de alimento de mayor crecimiento porcentual (Banco Mundial, FAO, 2013).

Dentro de este crecimiento exponencial la tilapia posee un rol sumamente importante, por sus diversas cualidades para su cultivo. De hecho, las previsiones apuntan que la producción mundial

de tilapia casi se duplique, desde 4,3 millones de toneladas a 7,3 millones anuales entre 2010 y 2030 (Banco Mundial, FAO, 2013).

Este es una especie de aguas templado cálidas, omnívoro, oriundo de la cuenca del Nilo, perteneciente a la familia Cichlidae. Sus principales características productivas son: resistencia a bajas concentraciones de oxigeno, rangos variados de salinidad, resistencia física al manipuleo, acelerado crecimiento, soportar altas densidades, etc. Es uno de los principales peces de cultivo de agua dulce en el mundo, ganando popularidad en años recientes en países desarrollados como Estados Unidos y países de Europa, también es muy consumida en la República Popular China y actualmente en Latinoamérica (FAO, 2014).

La acuicultura busca la reducción de costos para que dicha producción sea aún más rentable, por lo cual gran parte de las investigaciones actuales se centran en la formulación y elaboración de dietas, que representa el 50 % aproximadamente de los costos operativos. De esta manera se trabaja en la obtención de raciones balanceadas que no contengan o disminuyan en forma apreciable la necesidad de incluir harinas y aceites de origen marino en las fórmulas alimentarias, debiéndose mantener los valores nutricionales, digestibilidad y palatabilidad para las diferentes especies bajo cultivo. (Luchini, 2011).

La industria acuícola compite por el uso de la harina de pescado con otros sectores de producción animal, que están utilizando cada vez más ingredientes a base de este insumo (Wright, 2004), por lo que es previsible que éste se vuelva cada vez más escaso y costoso. Entre los ingredientes vegetales más estudiados como sustituto de la harina de pescado en dietas para peces, la soja y sus derivados, son considerados la fuente de proteína vegetal más importante, siendo utilizados con buenos resultados (Martínez Palacios et al., 1996; Dersjant-Li, 2002; Gatlin et al., 2007). La harina de soja es un ingrediente bien balanceado en su perfil de aminoácidos, aunque como otras proteínas vegetales posee factores antinutricionales, como los inhibidores de la proteasa, el ácido fítico y las lectinas, que deben ser inactivados mediante diferentes tratamientos para lograr su optima absorción, también posee un costo razonable y su abastecimiento es estable. (Storebakken et al., 2000).

Por otro lado, la harina de trigo, es un ingrediente vegetal sumamente utilizado, este subproducto contiene generalmente entre 15 a 17 % de proteína bruta, 4,5 % de grasa y 10% de fibra, aunque su proteína es deficiente en los aminoácidos lisina, metionina y fenilalanina. Dentro de los subproductos de origen vegetal, es el que presenta más alta cantidad de fósforo, aunque contiene bajo tenor en calcio y un elevado tenor de fibra. (Luchini y Wicki, 2013).

La soja es el principal cultivo de Argentina, tanto por la superficie sembrada como por su producción e ingreso de divisas (INTA, 2011) y según algunos registros realizados la producción de cereales alcanzó en la campaña 2007/2008 44,4 millones de toneladas y un valor de $11.300 millones (INTA, 2012).

Tomando en cuenta que Argentina es un productor importante de oleaginosas y cereales, haría propicio su uso para el desarrollo de alimentos balanceados para acuicultura en la región, por su disponibilidad y precio. Y por otro lado, la Tilapia nilotica al ser omnívora, posee una tendencia significativa hacia hábitos herbívoros, esto haría factible el suministro de dietas de engorde a base de proteínas de origen vegetal remplazando en parte la harina de pescado.

Materiales y métodos

Se realizó un bioensayo en el Laboratorio de Acuicultura de la Unidad Académica Mar del Plata, Universidad Tecnológica Nacional, en el cual se experimento con tres dietas, en las cuales se variaron los porcentajes de harinas de soja, trigo y pescado a fin de reducir costos y optimizar crecimientos, según el método del Cuadrado de Pearson (Steffens,1987) para balancear dietas. Las mismas fueron una dieta control con un 10,01% de harina de soja, un 54,9% de harina de pescado y un 13,09% de harina de trigo (Dieta A), una con un 40% de h. de soja, un 14,9 % de h. de pescado y un 32.5 % de h. de trigo (Dieta B) y otra de 50 % de h. de soja, un 7 % de h. de

pescado y un 32,7 % de h. de trigo en su formulación (Dieta C). Para dicho ensayo se colocaron 10 ejemplares machos de *O. niloticus*, por duplicado para cada tratamiento, sembrados con un peso promedio de 179,63±18,8 g, y una densidad inicial de 7,17 kg/m^3. El cultivo se desarrolló en un sistema cerrado de recirculación compuesto por 6 tanques circulares de fibra de vidrio, de 250 litros cada uno, un decantador troncocónico de 100 litros que funciona como filtro mecánico, un tanque de 150 litros que se utiliza como filtro biológico y una bomba centrifuga de 1 ½ HP de potencia, que alcanza una tasa de renovación de agua del 100% cada 166 minutos (Figura 1).

Figura 1. Sistema de recirculación utilizado en el bioensayo

Las raciones fueron suministradas seis veces por día en horas de la mañana y de la tarde, en base a la tabla de alimentación utilizada en el Laboratorio (Alicorp, 2003); se registró diariamente la temperatura a lo largo de la totalidad del experimento (57 días) su promedio fue de 25,25 ±1°C y el pH con un valor promedio de 7,86±1, semanalmente el oxígeno disuelto con un promedio de 5,88±1,6 mg/l como así también la concentración de nitrógeno total, obteniéndose valores normales de amoniaco, nitritos y nitratos para esta especie.

Al finalizar la experiencia se efectuó un análisis de distintos indicadores nutricionales: Incremento en peso diario (IPD: Pf – Pi/ t), Porcentaje de crecimiento (PC: (Pf – Pi)/ Pf x 100), Tasa de crecimiento específico (TCE: 10^2 x (ln Pf – ln Pi)/t), Factor de conversión alimentaria (FCA: Alimento añadido/ ganancia en peso), Eficiencia alimentaria (EA:(Peso ganado/alimento dado)x100) y Tasa de eficiencia proteica (TEP: ganancia en peso/ proteína suministrada), un análisis de costos de cada alimento, un análisis proximal y sensorial de los filets cosechados. Para los indicadores nutricionales y crecimiento se realizaron los análisis estadísticos correspondientes (Sokal y Rohlf, 2002).

El análisis proximal se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis Industriales de la Unidad Académica Mar del Plata (UTN), donde se determinó el porcentaje de proteína (Método Kjeldahl), cenizas (calcinación a 550°C), humedad (estufa de aire) y grasas totales (Método de Soxhlet) según los lineamientos de las Normas IRAM 15020 Parte 1, Norma IRAM 15010 Parte 1, Norma IRAM 15011 Parte 1, Norma IRAM 15040 Parte 1 respectivamente. El contenido de carbohidratos (sumatoria de los cuatro análisis anteriores y su diferencia con 100) y valor energético se llevó a cabo por cálculo. (Tabla 3)

El análisis sensorial se llevó a cabo en la Unidad Académica MDP que posee un panel de evaluadores seleccionados y entrenados para dichos productos. De cada una de las muestras se evaluaron los principales atributos como color, olor, sabor y textura para poder determinar cuál era

la dieta con mayores cualidades organolépticas que influirían en la elección por parte de los potenciales consumidores.

Para el análisis de costos de cada una de las dietas se tomaron los valores existentes en el mercado de los ingredientes utilizados, multiplicando cada uno por las cantidades respectivas, llegando de esa forma a los cálculos de costo totales y por kilo de cada dieta.

Resultados

Luego de 57 días, los juveniles de *O niloticus* llegaron con las diferentes dietas a un peso promedio de 297,34±16,53gr y una densidad final de 7,82 kg/m^3 (Dieta A), 277,72±5,39gr y 8,36 kg/m^3 (Dieta B), y 264,78±21,78gr y 10,01 kg/m^3 (Dieta C). En base a estos resultados se analizaron los diferentes indicadores nutricionales (Tabla 1), índices corporales (tabla 2), además se realizó un análisis proximal de los alimentos utilizados (Tabla 3), un análisis de costos (Tabla 4), un análisis proximal (tabla 5) y sensorial de los filets cosechados.

Tabla 1. Indicadores nutricionales

Indicadores Nutricionales	Dieta A	Dieta B	Dieta C
IPD (gr)	2,01±0,29	1,68±0,14	1,59±0,31
PC (%)	38,40±3,36	34,41±2,12	33,87±3,95
TCE	1,50±0,17	1,30±0,10	1,28±0,1
FCA	2,58±0,32	2,60±0,01	2,53±0,09
EA (%)	39,24±4,83	38,42±0,25	39,53±1,41
TEP	1±0,3	1,31±0,36	1,75±0,24
Supervivencia (%)	80	80	95

Tabla 2. Índices corporales.

	Dieta A	Dieta B	Dieta C
Largo total (cm)	22,65±1,04	24,15±1,02	23,72±1,04
Largo estándar (cm)	18,75±1,01	19,05±1,01	19,05±1,01
Largo cefálico (cm)	5,45±0,5	5,75±0,4	6,1±0,6
Peso total (gr)	297,34±16,53	277,72±5,39	264,78±21,78

Tabla 3. Análisis proximal de las dietas utilizadas

Determinación	Dieta A	Dieta B	Dieta C	Unidades	Método
Humedad	2,7	4,1	9,2	%	Norma IRAM 15010 Parte 1
Ceniza	15,9	7,7	5,1	%	Norma IRAM 15011 Parte 1
Grasa	11,7	12,4	12,8	%	Norma IRAM 15040 Parte 1
Proteína	40,5	28,6	25,2	%	Norma IRAM 15020 Parte 1
Carbohidratos	29,2	47,2	47,7	%	Método por calculo
Valor energético	384,1	414,8	406,8	Kcal/100 g	Método por calculo

Tabla 4. Costos de cada alimento.

Dietas	A	B	C
Costo por Kg de alimento ($)	10,63	6,04	4,75

Tabla 5. Análisis proximal de cada tratamiento de los filets cosechados.

Determinación	Dieta A	Dieta B	Dieta C	Unidades	Método
Humedad	80,5	81,4	81,6	%	Norma IRAM 15010 Parte 1
Ceniza	1,2	1,2	1,2	%	Norma IRAM 15011 Parte 1
Grasa	0,1	0,2	0,1	%	Norma IRAM 15040 Parte 1
Proteína	18,3	17,4	17,5	%	Norma IRAM 15020 Parte 1
Carbohidratos	< 0,1%	< 0,1%	< 0,1%	%	Método por calculo
Valor energético	73,7	70,6	69,3	Kcal/100 g	Método por calculo

Los resultados obtenidos respecto al crecimiento no mostraron diferencias significativas; al analizar los factores de conversión alimentaria éstos fueron semejantes sin presentar entre ellos diferencias significativas; al contrastar los costos de cada alimento se ve que se reducen significativamente al realizar el engorde con las Dietas B y C (la mitad que con la Dieta A). La tilapia al ser una especie omnívora con una cierta tendencia herbívora puede asimilar fuentes de proteína de origen vegetal de forma eficiente, en consecuencia presenta adaptaciones estructurales tales como un largo intestino muy plegado, dientes bicúspide o tricúspide sobre las mandíbulas y dientes faríngeos, por ello las Dietas B y C que poseían un alto contenido de harinas vegetales (soja y trigo) mostraron resultados favorables, con respecto a la Dieta A con un elevado contenido de harina de pescado.

Por otro lado dependiendo los estadios de *O. niloticus* varían los porcentajes de requerimientos proteicos, es sabido que para juveniles y adultos (100 gr a 800 gr) se suministran dietas de un 25 % a 32 % de proteína bruta, siendo lo más recomendable; ya que dietas con niveles de proteína elevados (>40 %) no otorgan ventajas de crecimiento significativas, y generan un costo económico innecesario, estos porcentajes proteicos son más utilizados en alevines (< 1 gr a 20 gr), donde oscilan entre 40 % a 50 % (Tacon, 1989), de esta manera la Dieta A (40,5 % de proteína) no mostro diferencias con las B (28,6 % de proteína) y C (25,2 % de proteína).

Con respecto al análisis sensorial, los resultados obtenidos con las tres dietas ensayadas, mostraron que tanto el color, olor y textura no tuvieron diferencias significativas entre las dietas B y C pero si se demostró que hubo diferencias en relación con la Dieta A. En cuanto al atributo más destacable fue el sabor, donde se determinó que el de la dieta B era levemente más suave, atenuando el sabor de los filet de los peces alimentados con la dieta A (con mayor proporción de harina de pescado), determinando de esta manera la aceptación por parte del consumidor, de los filets de los peces alimentados con mayor proporción de harina de soja.

Conclusiones

Podemos destacar por los resultados obtenidos que el reemplazo de proteína animal (harina de pescado) por proteína vegetal (harinas de soja y trigo) que en esta especie omnívora resulta significativamente favorable, debido a que se abarata el costo de alimentación (costo operativo mayor en la producción) y que el producto final es sumamente aceptado por los consumidores. Por lo tanto se recomienda el reemplazo parcial de harina de pescado por harinas vegetales (soja y trigo) en las proporcione utilizadas en este trabajo, en las dietas de engorde de esta especie.

Referencias

Alicorp, S. 2003. Manual de crianza de Tilapia. Lima. Perú. 49pp.

Banco Mundial, FAO. 2013. Fish to 2030. Prospects for Fisheries and Aquaculture. World Bank Report number 83177. Washington DC. 102pp.

Dersjant-Li, Y. 2002. The use of soy protein in aquafeeds. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie D., Tapia-Salazar M., Gaxiola-Cortés M.G., Simoes N. (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola VI.

Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Cancún, Quintana Roo, México; pp. 541–558.

FAO. 2014. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Oportunidades y desafíos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, 2014. 274 Pp. ISBN 978-92-5-308275-9 (ed. in impresa). E-ISBN 978-92-5-308276-6.

FAO. 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all. Rome. 200 pp.

Gatlin, D.M.; Barrows, F.T.; Brown, P.; Dabrowsk,i K.; Gaylord, T.G.; Hardy, R.W.;, Herman, E.; Hu G.; Krogdahl, Å.; Nelson, R.; Overturf, K.; Rust, M.; Sealey, W.; Skonberg, D.; Souza, E.J.; Stone, D.; Wilson, R. and Wurtele, E. 2007. Expanding the Utilization of Sustainable Plant Products in Aquafeeds. A Review. Aquaculture Research. 38; pp.

INTA. 2011. Calidad industrial de cultivares de soja de grupos de madurez en Argentina. Campaña 2009-2010. www.inta.gob.ar

INTA. 2012. Diversificación de la producción de cereales y oleaginosas. Proyecto Integrado Cartera 2009 – 2012. www.inta.gob.ar

Luchini, L. 2011. Acuicultura y nutrición: formulas y raciones formuladas para especies de clima subtropical y templado: pacu, randia, amur, tilapia y langosta de pinzas rojas, 2011. Exposición realizada en el Congreso CAENA, 2011).

Luchini, L. y Wicki, G. 2013. Consideraciones sobre insumos utilizados en los alimentos para organismos acuáticos bajo cultivo. Información básica. Dirección de Acuicultura. Ministeriode Agricultura y Pesca. Presidencia de la Nación. 10pp.

Martínez Palacios, C.A.; Chávez Sánchez, M.C.; Olvera Novoa, M.A. y Abdo de La Parra, M.I.1996. Fuentes alternativas de proteínas vegetales como substitutos de la harina de pescado para la alimentación en acuicultura. En: Avances en Nutrición Acuícola III. Memorias del III Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. UANL. Monterrey, Nuevo León, México, pp. 279-323.

Sokal, R. y Rohlf, F. 2002. Introducción a la bioestadística. Ed. Reverté S.A. Pp 357.

Storebakken, T.; Shearer, K.D.; Baeverfjord, G.; Nielsen, B.G.; Asgard, T.; Scott, T. and De Laporte, A. 2000. Digestibility of macronutrients, energy and amino acids, absorption of elements and absence of intestinal enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with wheat gluten. Aquaculture 184; pp. 115-132.

Steffens, W. 1987. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España, 275 pp.

Tacon, A.G.J. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados, manual de capacitación. Documento preparado para el Proyecto GCP/RLA/102/ITA. Proyecto Aquila II Documento de Campo No 4. Apoyo a las actividades regionales de Acuicultura para América Latina y El Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO-ITALIA. Brasilia, Brasil.

Wright, I. 2004. Salmon by products. Aqua Feeds: Formulation y Beyond, vol.1; pp.10-12.

CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYOS DE ADHESIÓN PARA RECUBRIMIENTOS FINOS TIPO SCRATCH TEST BASADA EN LA NORMA ASTM C-1624

Autor: Massimo N. Uccellini
Tutores: Dra. Sonia Brühl, Ing. Raúl Charadia

Departamento de Ingeniería Electromecánica – Grupo de Ingeniería de Superficies
Facultad Regional de Concepción del Uruguay – Universidad Tecnológica Nacional
Ing. Pereira 676– (3260) Concepción del Uruguay (Entre Ríos)

Resumen

El ensayo de Scratch se acepta ahora como el método primario en análisis cuantitativos de recubrimientos, y esto ha dado lugar a una gran demanda de equipos de ensayos tipo Scratch Test. La norma ASTM C-1624 se titula "Método de prueba estándar para la fuerza de adhesión y de los modos de falla mecánicas de los recubrimientos cerámicos mediante un ensayo de Scratch cuantitativo de punto simple".

El ensayo de adhesión es una prueba sencilla, práctica y rápida, y es aplicable a una amplia gama de composiciones de recubrimientos duros cerámicos: carburos, nitruros, óxidos, diamante, y DLC sobre sustratos de cerámica y metal. Estos revestimientos cerámicos se utilizan comúnmente para resistencia al desgaste/abrasión, protección contra la oxidación, y mejora funcional de rendimiento (óptico, magnético, electrónico, biológico).

El objetivo fue construir una máquina de ensayos de Scratch basada en la norma ASTM C-1624 para poder realizar ensayos en el laboratorio y poder estudiar inmediatamente luego las muestras. Se construyó una máquina de carga constante con la posibilidad de una ampliación para que trabaje con carga variable.

Palabras clave: Prueba de adhesión. Revestimiento cerámico. Carga Crítica de rayado; Recubrimientos duros; Adherencia al rayado; Ensayo de rayado

1. Introducción

Este método de ensayo se usa para la determinación de fuerza de adhesión practica y los modos de fallo mecánico de revestimientos cerámicos duros (dureza Vickers HV = 5 GPa o superior) y delgados (≤ 30 micras) sobre sustratos metálicos y sustratos cerámicos a temperatura ambiente [1].

Es aplicable a una amplia gama de composiciones de revestimiento-carburos duros de cerámica, nitruros, óxidos, diamante, y DLC aplicada por deposición física de vapor, deposición química de vapor, y métodos de oxidación directos al metal y sustratos cerámicos.

Tiene por objeto evaluar la integridad mecánica, modos de fallo, y la fuerza práctica adhesión de un revestimiento cerámico duro específico, depositado sobre un metal determinado o sustrato cerámico. El método de prueba no mide la fuerza de “adhesión fundamental” de la unión entre el revestimiento y el sustrato. Más bien, el método de ensayo da una medida ingenieril cuantitativa de la fuerza de “adhesión práctica” y resistencia a daños del sistema de revestimiento-sustrato como una función de la fuerza normal aplicada. Los modos de resistencia a la adhesión y los daños dependen de la compleja interacción de las propiedades de recubrimiento/sustrato (dureza, resistencia a la rotura, módulo de elasticidad, mecanismos de daño, la microestructura, la población de defectos, rugosidad de la superficie, etc.) y los parámetros de prueba (propiedades de la punta y geometría, velocidad del incremento de la carga, velocidad de desplazamiento, y así sucesivamente).

2. Marco teórico

2.1. El método de Scratch Test

Esta prueba consiste en producir y evaluar los daños que se originan en un revestimiento cerámico duro por la acción de un único punto de contacto.

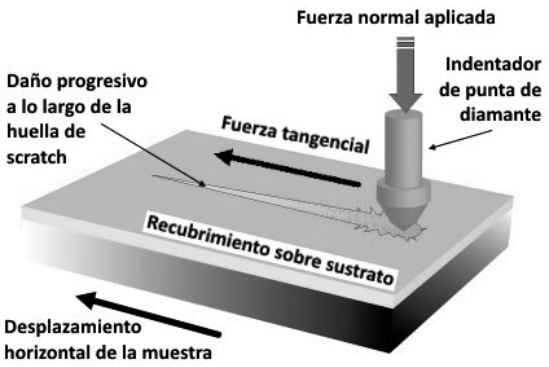


Fig. 1. Método de ensayo

El rayado se desarrolla sobre una muestra recubierta deslizando una punta de diamante de tamaño y geometría definida (Rockwell C, 200 micrones de radio) a través de la superficie plana de la misma a una velocidad constante, con una fuerza normal controlada y medida (constante o progresivamente creciente), como se observa en el esquema de la Fig. 1.

Con el aumento fuerza normal aplicada, el indentador produce un daño mecánico progresivo en el recubrimiento y el sustrato a través de la compleja combinación de tensiones elasto-palsticas, fuerzas de fricción, y tensiones internas residuales en el sistema de recubrimiento/sustrato.

Los niveles y tipos de daños específicos que se producen en la huella del ensayo se evalúan y se asocian con las fuerzas normales aplicadas por el indentador. La fuerza normal que produce un nivel específico de daño definido reproducible, se define como la Carga Crítica (C_C). Para un sistema de recubrimiento/sustrato dado, una o más Cargas Criticas de rayado diferentes (C_{CN}) se pueden definir para distintos tipos de niveles de daño.

Los dos modos principales de ensayos de adhesión por rayado son de Carga Constante y Carga Progresiva. En las pruebas a carga constantes (CC), la fuerza normal sobre el indentador se mantiene a un nivel constante mientras el mismo se mueve en relación con la superficie de la muestra. En ensayos de Carga Progresiva (CP), la fuerza del indentador se incrementa linealmente hasta una fuerza máxima predefinida mientras el mismo se mueve en relación con la superficie de la muestra.

2.2. Norma ASTM C1624

Esta norma explica los principios del ensayo de Scratch en detalle, junto con las limitaciones del mismo, la aplicabilidad a diferentes recubrimientos, terminología, metodología de ensayo, los requisitos de las muestras, requisitos de los instrumentos, calibración, procedimiento de ensayo, cálculos, y los requisitos para la repetitividad y la reproducibilidad.

Un aspecto de la prueba de adhesión que es generalmente aceptado es que la adhesión se puede considerar desde dos perspectivas diferentes: "adherencia fundamental" y "adhesión práctica" [4]. "Adherencia fundamental" es el término utilizado para definir la fuerza y la energía de unión en la interfase entre dos capas, determinados por la unión química entre las capas; mientras que la "Adhesión Práctica" puede ser descripta como la fuerza o el trabajo que se requiere para separar o perturbar el revestimiento del sustrato.

Una revisión de cuatro documentos técnicos sobre la metodología de la prueba de adherencia al rayado dio una lista completa de parámetros experimentales importantes, que deben ser medidos y controlados por los datos de reproducibilidad y repetitivos.

Rugosidad del sustrato: Mayor rugosidad de la muestra disminuye las Cargas Críticas de rayado [2].

Velocidad de incremento de carga y desplazamiento: El aumento de la tasa de carga (N/min) o disminuyendo la velocidad de deslizamiento (mm/min) aumentaron las Cargas Críticas [2] [5].

Tamaño de la punta: El aumento del radio de la punta del indentador aumenta las Cargas Críticas de rayado (mayor área de carga = tensión aplicada inferior) [2] [5] [3].

Composición del indentador: Materiales de la punta con menores coeficientes de fricción disminuye las Cargas Críticas [2].

Desgaste de la punta y daño: El desgaste y aplanamiento de la punta de diamante aumentan las Cargas Críticas, mientras que daños en la punta de diamante disminuyen las Cargas de rayado Críticas a través de la introducción de las concentraciones de esfuerzos [4].

Contaminación de la muestra o en el indentador: Contaminación en la punta del indentador y/o la superficie del revestimiento cambia el coeficiente de fricción y pueden aumentar o disminuir las Cargas Críticas de rayado, dependiendo de la composición de la contaminación [4].

3. Desarrollo

3.1. Descripción general

El propósito fue construir una máquina de bajo costo que cubriera las necesidades del laboratorio. Hoy en día estas máquinas se consiguen en el mercado internacional, las de primeras marcas a US 45.000 aprox, las segundas marcas a US 20.000 y resulta demasiado para el presupuesto de investigación con el que cuenta el grupo. Por lo tanto se evaluó hacer un diseño propio y construirlo con proveedores nacionales. El costo final total de la maquina fue de aprox. $10.000 argentinos, el cual está muy por debajo de las cifras internacionales y aun así contando con buenas prestaciones en lo que a precisión se refiere.

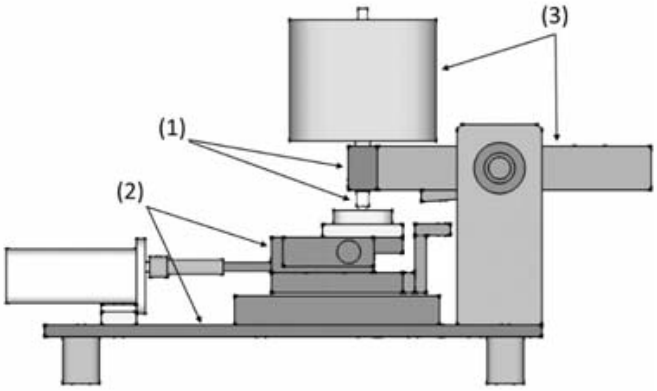


Fig. 2. Esquema de la máquina de carga constante

Se construyó una máquina de carga constante con la posibilidad de una ampliación para que trabaje en carga variable. La primera, actualmente en funcionamiento se muestra en la Fig. 2 y se compone de los siguientes subsistemas: (1) El indentador y el soporte del mismo, (2) chasis y el control de desplazamiento, (3) el bastidor y el sistema de aplicación de la fuerza. El sistema es muy sencillo y funcional y está diseñado para trabajar con cargas normales de hasta 50N. El sistema de control de desplazamiento cuenta con regulación manual en el plano el cual permite desplazar la muestra transversalmente para realizar varios ensayos sobre la misma.

Debido a que las muestras no son de altura uniforme se incluyó en el diseño un sistema para variar la altura de las muestras y así garantizar la ortogonaldad con el indentador y disminuir la variabilidad de los resultados del ensayo.

La máquina cuenta con dos modos de prueba, uno manual y otro automático mediante software. Este último tiene la función de controlar la velocidad de avance de la muestra y a su vez está previsto para en un futuro incorporar la adquisición de datos del ensayo.

3.2. Indentador y montaje

Se usará un indentador de diamante que cumpla con las especificaciones Rockwell, comúnmente llamado indentador de diamante Rockwell C. El indentador de diamante Rockwell tiene un ángulo de vértice de 120 ° y termina en una punta semiesférica con un radio medio de 200 micrones (400 micrones de diámetro). El uso del indentador de diamante Rockwell C se especifica para esta prueba para asegurar la comparabilidad y reproducibilidad de los resultados de las pruebas dentro y entre laboratorios.

El sistema de montaje del indentador está diseñado y construido para mantener rígido y seguro el mismo, con un ajuste de 2 centésimas de milímetro para evitar contragolpes, dadas las fuerzas tangenciales y normales aplicados.

3.3. Etapa mecánica y sistema de control de desplazamiento

La fase mecánica sirve para posicionar con precisión, mantener rígida, segura y alineada la muestra a ensayar. El movimiento relativo entre la punta de diamante y el espécimen es producido por el movimiento de la etapa mecánica con respecto a una punta fija.

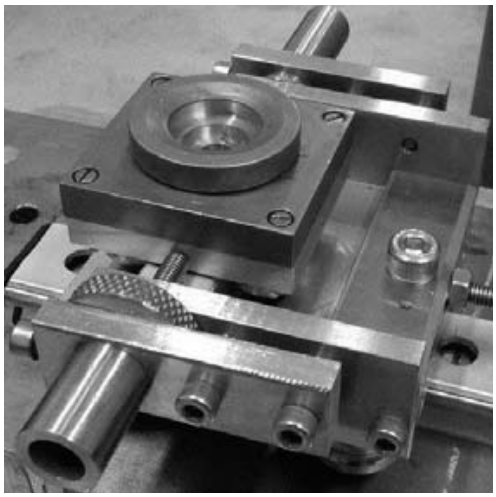


Fig. 3. Conjunto de soporte de muestras

La muestra se desplaza sobre un dispositivo tipo carro de guías lineales de rodillos-guía (INA LFL-SF). Este conjunto brinda la rigidez suficientemente para soportar las fuerzas normales y laterales asociados con la acción del rayado sin deformación elástica o plástica indebida.

A este carro se le ha acoplado un dispositivo manual para desplazar la muestra a los lados y poder realizar reiterados ensayos paralelos sobre la misma muestra (Fig. 3). Este arreglo fue brindado por la empresa IONAR S.A. y fue el punto de partida para el diseño del resto de la estructura.

El dispositivo de sujeción (Fig. 4) de la muestra se diseñó con un propósito fundamental, que fue garantizar la ortogonalidad de la misma con el indentador. Esto se logra mediante el ajuste de la tuerca de sujeción en la cara superior de la muestra. Además, variando el diámetro de la bola de ajuste que se sitúa por debajo de la muestra se logran diferentes alturas garantizando así que la ubicación del indentador con respecto a la superficie a ensayar siempre sea la misma.

El sistema de control de movimiento debe asegurar un movimiento horizontal en línea recta entre el indentador y la muestra a una velocidad constante, controlada y repetible. Esta velocidad de desplazamiento y el desplazamiento horizontal estará controlado mediante un microcontrolador Arduino UNO el cual recibirá la señal de movimiento desde un módulo Encoder EC11 de movimiento giratorio de tipo “sin fin” acoplado al eje del moto-reductor. Este módulo permite medir la distancia con una precisión de 50 micrones cumpliendo las especificaciones de la norma.

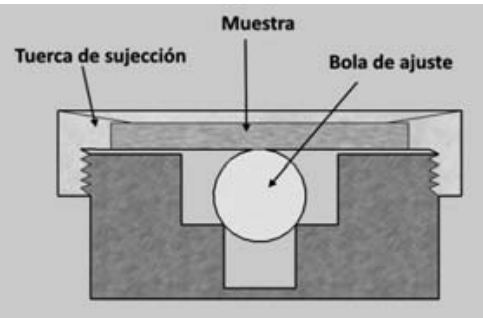


Fig. 4. Dispositivo de sujeción

El moto-reductor es un Motor RB - 35GM - 07 TYPE de escobillas, con tensión nominal de 12 V, relación de reducción de 1/300 y 248 g.cm de torque. Mediante el Arduino UNO se controlara la

tensión del motor para establecer una velocidad del ensayo de 10mm/min que es lo que establece la norma.

La gama de desplazamiento (longitud de la punta) será de 10 mm dada por finales de carrera dispuestos al inicio y final del recorrido del carro.

3.4. Sistema de aplicación de la fuerza

El sistema de banco de prueba (platina, sistema de montaje de la punta, y el bastidor de carga) son lo suficientemente rígidos para que no ser afectados por la aplicación de fuerza. Estos fueron construidos en su totalidad de acero inoxidable AISI 304 debido a su buena resistencia a la oxidación y resistencia mecánica. Gracias al diseño robusto y al material de alto módulo elástico, los valores de deformación están muy por debajo del 5% estipulado como valores máximos de deformación dictados por la norma.

El sistema de aplicación de la fuerza está diseñado para que pivotee sobre las bancadas. Este bastidor rota sobre rodamientos de rodillos cónicos SKF 30202 que se ajustan para evitar movimientos laterales durante el ensayo. La fuerza máxima requerida dependerá de las propiedades del sistema de recubrimiento/sustrato específico que está siendo probado. Se estableció que un rango de fuerza de 0 a 50 N será suficiente para revestimientos más duros probados con el penetrador Rockwell C. La carga máxima se dividió en 4 pesas de acero SAE 1045 las cuales fueron niqueladas para evitar su oxidación. Estas se dividen en 5 N, 10 N, 15 N y 20 N y se pueden combinar para alcanzar los niveles más altos de carga requeridos. Las pesas fueron calibradas con un error de no más de 0,5 N.

3.5. Fuerza y sensores de desplazamiento

Como medida de implementación a futuro, el sistema estará equipado con un sensor de fuerza para medir y registrar la fuerza normal y tangencial sobre el indentador como una función del tiempo a través de la gama completa de la fuerza aplicada con una resolución y una precisión de al menos 0,5% o mejor de la esperada fuerza normal máxima para las muestras de revestimiento de interés. Esto se logrará con el uso de dos celdas de carga BSL - PME-1. Midiendo ambas fuerzas, el coeficiente de arrastre de la punta (fuerza tangencial/fuerza normal) también se podrá calcular.

3.6. Análisis y medición óptica

El método de ensayo de rayado requiere un medio para analizar ópticamente el estado del revestimiento y los eventos de daño a lo largo de huella del ensayo. Esto se hace comúnmente en el laboratorio con un microscopio óptico de luz reflejada que tiene una magnificación total de 50 a 400x. La ampliación real requerida dependerá de la escala y la morfología del daño.

El microscopio está equipado con una cámara para tomar micrografías de las características de los daños. Esto es muy útil para documentar con precisión el tipo, el alcance y grado de daño del revestimiento a las diferentes cargas aplicadas, así como para medir el recorrido antes de la falla y la extensión del daño lateral.

3.7. Adquisición y análisis de datos por Software

La fuerza normal aplicada, la fuerza tangencial y el desplazamiento se registraran como una función del tiempo. Los datos de las celdas de carga y del Encoder serán registrados por el microcontrolador Arduino UNO que se conectara al ordenador mediante USB. La gama completa de los datos experimentales (fuerza normal, fuerza tangencial, desplazamiento horizontal, etc.) podrán ser plenamente representadas en tiempo real mediante un software desarrollado específicamente para la máquina.

Este software estará programado en JAVA y dará al usuario una interfase amigable con capacidad de recopilación, visualización, acondicionamiento, análisis, almacenamiento y exportación de los datos obtenidos en el ensayo. Además, los datos experimentales se podrán trazar en función del tiempo, la distancia y la fuerza normal para luego analizarse estadísticamente y observar los cambios sutiles en la amplitud de los datos, la desviación estándar, la frecuencia, etc. La tasa de adquisición de datos será de 50 Hz y todos los se registrarán con una precisión de al menos tres cifras significativas o 0,1% del valor máximo medido.

Las imágenes ópticas obtenidas por el microscopio óptico de luz reflejada serán luego contrastadas con las mediciones obtenidas en el ensayo y se compararan para dar una comprensión total de los mecanismos y los tipos de fallos para un ensayo en particular

4. Conclusiones

La prueba de adherencia del recubrimiento tiene aplicación directa en toda la gama de desarrollo de revestimiento en la ingeniería. Las mediciones de los mecanismos de daño en un revestimiento en función de las fuerzas normales aplicados son útiles para entender las relaciones de material-proceso-propiedad; cuantificar y calificar la respuesta mecánica de los sistemas recubrimiento-sustrato; evaluar la durabilidad de recubrimiento; medir la calidad de la producción; y complementar el análisis de fallos. El aporte de esta máquina al Grupo de Ingeniería de Superficies es fundamental.

Se demostró que a partir de la Norma, se ha podido construir un dispositivo a un costo mucho menor de lo que representa un máquina hecha para este fin, en empresas de primer nivel, pero que no operan en Argentina y sería necesario importar.

5. Referencias

[1] ASTM. ASTM C1624. Standard Test Method for Adhesion Strength and Mechanical Failure Modes of Ceramic Coatings by Quantitative Single Point Scratch Testing.

[2] Blau, P. J., Lab Handbook of Scratch Testing, Chapter 7, Scratch Adhesion Testing, Blue Rock Technical Publ., Oak Ridge, TN, 2002, pp. 7.1-7.15.

[3] Ichimura, H., and Ishii, Y., “Effects of Indenter Radius on the Critical Load in Scratch Testing,” Surface and Coatings Technology, Vol 165, 2003, pp. 1-7.

[4] Meneve, J., et al, “Scratch Adhesion Testing of Coated Surfaces— Challenges and New Directions,” Adhesion Measurement of Films and Coatings, edited by K. L. Mittal, VSP Publishing, Utrecht- Boston, Koln, Vol 2, 2001, pp. 79-106.

[5] Randall, N. X., Favaro, G., and Frankel, C. H., “Effect of Intrinsic Parameters on the Critical Load as Measured with the Scratch Test Method,” Surface and Coatings Technology, Vol 137, 2001, pp. 146-151.

RESOLUCION DE PROBLEMA TECNOLOGICO EN SOLDADORA DE PROCESO AUTOMOTRIZ MEDIANTE LA METODOLOGIA TRIZ

Autores: Patricio Aput, Lucio Canevaro, Martín Del Mul, Claudio Moffa(1)
Tutores: Carlos E. Requena, Fernando Navascues(2)
(1) Estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica. (2) Docentes del Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional General Pacheco. H. Irigoyen 288 – Gral. Pacheco, Buenos Aires, Argentina. luciocanevaro92@gmail.com

Resumen

En el siguiente caso, se resolvió por medio de la "Metodología TRIZ" [1] un problema de exceso de peso en un dispositivo de soldadura, que ocasiona una mala ergonomía durante el proceso de fabricación. Analizando y recopilando la información, se observó que el dispositivo era pesado, voluminoso y además que el sistema de rodamientos estaba mal dimensionado, lo cual hacía que el operario realizara un esfuerzo considerable para la rotación del dispositivo durante la operación. Debido a esto, el operario, sufría un desgaste físico que originaba problemas de ausentismo, con consecuentes problemas gremiales, piezas defectuosas, aumento de costos y scrap.

En la búsqueda de soluciones, se decidió implementar la Metodología Estructurada de Resolución de Problemas conocida como "TRIZ". Esta metodología fue creada por Genrich Altshuller en la ex URSS, analizando patentes y creando un efectivo sistema estructurado de resolución de problemas [2].

La variedad de herramientas que ofrece esta metodología nos orientó no solo a encontrar una solución, sino a alcanzar un conjunto de soluciones que pueden aplicarse según la necesidad y los recursos disponibles.

Palabras clave: TRIZ – Soldadura – Dispositivo – Contradicciones - Automotriz

Introducción

Los métodos estructurados de resolución de problemas son lógicos y organizados, mientras que nuestro pensamiento natural no es organizado ni controlado. El pensamiento es a veces lógico, otras veces ilógico. Puede ser racional y caprichoso. Mientras resuelve un problema, en general, el pensamiento no es ordenado.

Normalmente, al resolver un problema, comenzamos con un concepto de solución instantáneo e intuitivo. Este es probado y modificado iterativamente según sea necesario para su aceptación o rechazo. Nuestras técnicas innovadoras de resolución de problemas pueden ser mejoradas con un pensamiento más natural y el uso de todos nuestros recursos de pensamiento. Con TRIZ esto es posible.

Inercia Psicológica

La "Inercia Psicológica" [3] ocurre cuando hacemos suposiciones, usualmente de modo subconsciente acerca de un problema, recursos o soluciones. Subconscientemente imponemos nuestras propias restricciones, reglas o suposiciones. Este proceso es frecuentemente dirigido por la edad y la experiencia. Cuanta mayor experiencia tengamos, más probable resulta que la utilicemos, lo cual, congela nuestro pensamiento en el lugar.

La inercia psicológica, es la causante de que una persona solo busque la solución en aquel campo del conocimiento que domine, descartando desde un principio el resto de los campos. Al mismo tiempo, es posible que, esta persona no quiera tampoco introducir cambios en algo que ya funciona.

Teoría de Resolución de Problemas Inventivos Basados en el Conocimiento (TRIZ)

Altshuller, el creador del "Método TRIZ", fue un ingeniero ruso que desarrolló la teoría a través del análisis de un millón y medio de patentes de invención. Altshuller, se percató de que a pesar de que los inventos que analizó resolvían problemas muy diferentes, en campos también muy

diferentes, las soluciones aplicadas podían obtenerse a partir de un conjunto relativamente reducido de ideas básicas o principios de invención generales.

Esta técnica de resolución de problemas de modo creativo llamada “Método TRIZ”, es única en su concepción ya que surge de un enfoque diferente, que consiste en utilizar, en algún modo, el máximo de conocimientos disponibles sobre un problema concreto y permite llegar a su solución por la adecuación de soluciones aplicadas previamente a problemas similares. “TRIZ” es la primer técnica que se ha definido como “basada en el conocimiento”, pero no la única, ya que a partir de ella se han construido otras.

Problemas no estructurados

En los problemas no estructurados no hay un algoritmo que nos permita llegar a una solución óptima, ya sea porque no hay información suficiente sobre los factores que afectan la solución o porque hay tantos factores potenciales que no puede formularse ningún algoritmo que garantice una solución única que sea correcta.

Se tiene una idea para resolver un problema y se lleva a la práctica, y si el mismo no da resultado se genera otra probable solución y así sucesivamente regresando siempre al punto de partida. Si se logra encontrar una solución es de manera fortuita.

El método “TRIZ” es una excelente alternativa a los problemas no estructurados, ya que se encarga de encontrar soluciones mediante una metodología sencilla de utilizar y nos brinda resultados certeros.

Premisa de TRIZ

“TRIZ” nos ayuda a inventar un camino hacia la solución de manera estructurada y no al azar. En “TRIZ”, el problema particular es elevado hacia un problema estándar de naturaleza análoga o similar. Un estándar es conocido y de éste vendrá mi solución particular [4].

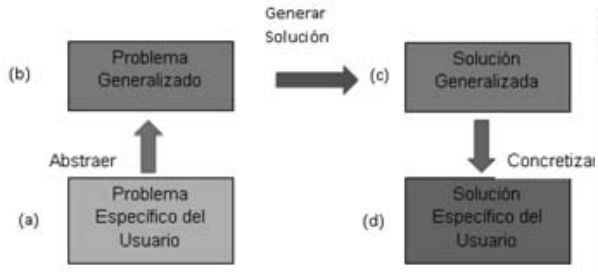


Fig. 1: Esquema de las Cuatro Cajas de Resolución de Problemas Convencionales

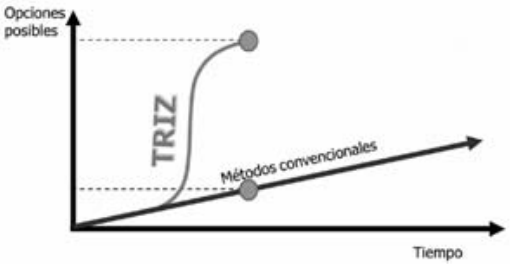


Fig. 2: Comparación TRIZ vs. Met.

En los campos de la ciencia y la tecnología, el "Esquema de las Cuatro Cajas de Resolución de Problemas” ha sido aceptado como un auténtico modelo, dónde está el problema que hay que resolver en un nivel abstracto. Ver figura1.

El esquema define el contenido de las cajas de modo más claro y ofrece maneras concretas de procesamiento de la información entre las cajas adyacentes.

Resolución del Problema Inventivo por medio de TRIZ

Altshuller también definió al “problema inventivo” como uno en que la solución causa otros problemas, es decir que cuando algo se mejora, otras cosas se empeoran, a lo cual, posteriormente Altshuller denominó Contradicción Técnica. TRIZ las resuelve, y solo por esto, logra más soluciones que las metodologías convencionales. Ver figura 2.

Contradicciones Técnicas

Generalmente se refiere a las proposiciones que afirman cosas aparentemente incompatibles u opuestas. La contradicción tiene una presencia universal en muchos campos. Las contradicciones

ocurren cuando mejoramos un parámetro o característica de una técnica afectando negativamente el mismo u otras características o parámetros de la técnica [5].

Una contradicción técnica existe cuando, tratando de mejorar un atributo, “A”, de un sistema tecnológico, otro atributo “B”, del mismo sistema tecnológico, se deteriora. Es decir, una acción es simultáneamente útil y dañina; la introducción o amplificación de la acción útil del efecto guía hacia el deterioro de algunos subsistemas o el sistema total. La contradicción técnica representa un conflicto entre *dos subsistemas*. Ese tipo de contradicciones surgen cuando se demandan funciones completamente diferentes o incompatibles de los subsistemas de un sistema tecnológico y, generalmente, se refieren a todo el sistema tecnológico.

De acuerdo con TRIZ, frecuentemente, la solución más efectiva de un problema es una que supera algunas contradicciones.

Los 39 Parámetros de Ingeniería y los 40 Principios de Inventiva

Los 40 principios son la deducción más directa del análisis de las patentes realizado por el creador de la metodología TRIZ. Ver tablas 1 y 2.

La Matriz de Contradicción de Altshuller

La resolución de contradicciones según el método desarrollado por Altshuller, consiste en ingresar a una matriz con el parámetro (de la lista de los 39) que mejorará y el que empeorará, para así obtener los “principios inventivos” (de la lista de los 40) indicados para hallar la solución al problema. La forma de ingresar a la matriz es la siguiente:

1.- Se identifica él o los parámetros que se quieren mejorar en la columna correspondiente de la “Matriz de contradicción”.
2.- Se identifican los parámetros que empeoran en la fila correspondiente de la misma matriz.
3.- Los dos puntos anteriores generan una o varias contradicciones técnicas.
4.- Se ubica la celda en la cual se interceptan los parámetros de los puntos uno y dos.
5.- Dentro de la celda correspondiente aparecen los principios de inventiva o innovación tecnológica extraídos de las patentes que resolvieron un problema similar al actual.
6.- Esos principios se aplican como pensamiento orientador al problema que se debe resolver.

Tabla 1: Tabla de los 39 Parámetros de Ingeniería

1	Peso de un objeto en movimiento	14	Resiste		
2	Peso de un objeto sin movimiento	15	Tiempo		
3	Longitud de un objeto en movimiento	16	Tiempo		
4	Longitud de un objeto sin movimiento	17	Tempe		
5	Área de un objeto en movimiento	18	Ilumin		
6	Área de un objeto sin movimiento	19	Energía		
7	Volúmen de un objeto en movimineto	20	Energía		
8	Volúmen de un objeto sin movimiento	21	Potenc		
9	Veocidad	22	Desper		
10	Fuerza	23	Desper		

Descripción del Problema

Los dispositivos de soldadura de puertas (ver figura 3) son herramientas de trabajo que, a causa de las exigencias de calidad de los nuevos modelos de automóviles, deben ser fabricados bajo normas de la empresa, de tamaño y peso considerables. Es debido a esto que durante el proceso de soldadura, las tensiones generadas no modifican la geometría del producto, para así no deteriorar la calidad y el diseño del vehículo.

Tabla 2: Tabla de los 40 Principios de Inventiva

1	Segmentación	15	Dinam		
2	Extracción	16	Accior		
3	Calidad Local	17	Transi		
4	Asimetría	18	Vobrac		
5	Unión	19	Acciór		
6	Universalidad	20	Contin		
7	Anidación	21	Aumer		
8	Contrapesar	22	Convei		
9	Antiacción prelimiar, Contrapeso	23	Retroa		
10	Acción preliminar	24	Interm		

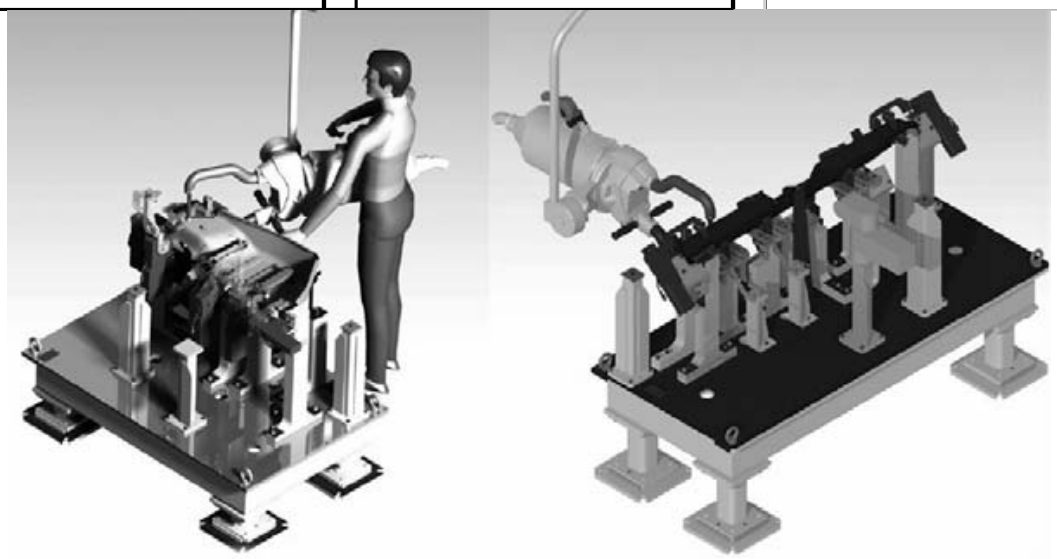


Fig. 3: Dispositivo de soldadura de puertas

El procedimiento de trabajo exige que el operador, luego de cargar las piezas y soldarlas entre sí, utilice solamente su fuerza para girar el dispositivo y continuar soldando el otro extremo de la puerta.

Las consecuencias ergonómicas negativas que esto acarrea resultan a corto plazo en: la fatiga del operador, provocada por el trabajo constante a lo largo de una jornada laboral de 8 horas; y en el largo plazo: lesiones musculares en brazos, hombros y cintura.

Operativamente, las consecuencias no son solo reclamos gremiales sino que también, aumento de los tiempos de ciclo a lo largo del desarrollo de la jornada y aumento de la fatiga del operado.

Desarrollo

Se utilizó la metodología “TRIZ” para encontrar, primero una solución conceptual global al problema y luego desarrollar una solución conceptual particular para finalmente solucionar el problema.

Como podemos observar, la problemática está definida en la manipulación de un objeto pesado, al menos para el operador, a lo largo de un tiempo prolongado; lo cual genera, además de malestar físico, la caída de la producción debido al aumento del tiempo de ciclo y los descansos necesarios para compensar el desgaste físico.

Lo que se busca es, sin perjudicar al operario en lo que refiere a seguridad e higiene, mantener la productividad y sin deteriorar la precisión. Para no llegar a una solución de compromiso, haremos uso de la “Matriz de Contradicciones” (ver tabla 3), considerando que el Parámetro de Ingeniería a mejorar es el número 39: “Capacidad/Productividad”; y como parámetro que empeora el número

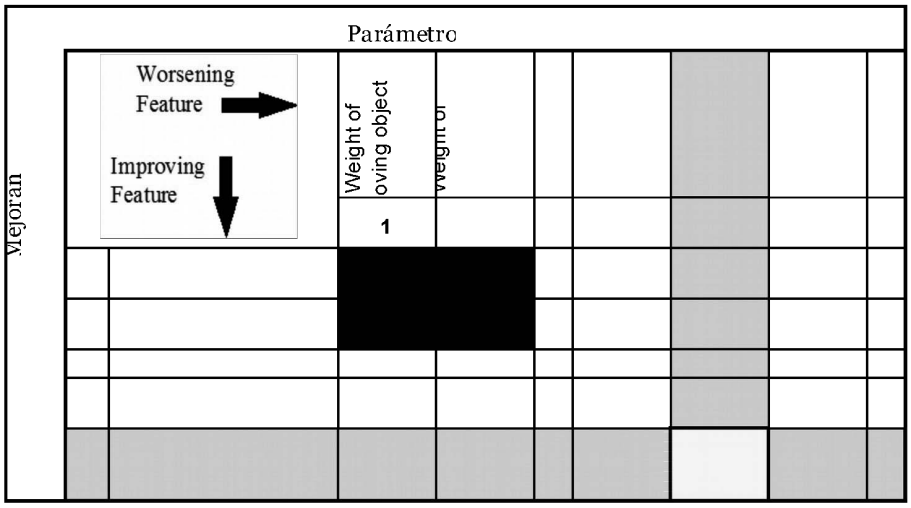
29: “Precisión de Manufactura”. La matriz relaciona estos parámetros en estas condiciones por medio de los Principios de Inventiva:

(18) Vibración Mecánica
(10) Transformación de Propiedades o Cambios de Parámetros
(32) Cambios de Color
(01)Segmentación

Estos principios tienen la finalidad de guiarnos a posibles soluciones conceptuales. Solamente queda ver cuáles de estos principios aplican para nuestro problema.

Luego, se decidió probar entrando a la tabla con otros dos Parámetros de Ingeniería: el número 1: “Peso del objeto en movimiento” como parámetro que mejora y el número 32: “Manufacturabilidad o Facilidad para la Fabricación” como parámetro que empeora. Esto surgió debido a que durante el proceso de fabricación, si el dispositivo referido tiene un gran peso, el mismo dificulta la operación del operario y viceversa. Y la contradicción técnica que definimos fue: “Si el peso del dispositivo empeora, esto quiere decir que el mismo se hace más pesado, por lo tanto será más incómodo para el operario, pero, mejorará el proceso en lo que respecta a la precisión en el producto”.

Tabla 3: Tabla de Contradicciones – Productividad vs. Precisión en la manufactura.



Por otro lado: “Si el peso del dispositivo mejora, esto quiere decir que el mismo se hace más liviano y por lo tanto será más cómodo para el operario, pero a su vez, la precisión del producto empeorará”.

Nuevamente, sin el detrimento del operario, buscamos mejorar la calidad del producto. Para este caso, la búsqueda en la matriz arrojó:

(28)Reemplazar un sistema mecánico con otro sistema
(29)Emplear un sistema hidráulico o neumático
(15)Incremento dinámico
(16)Acción parcial o excesiva

Finalmente, se analizó la posibilidad de examinar los parámetros 10: “Fuerza” como parámetro que mejora y el 1: “Peso de Objeto en Movimiento” como el parámetro que empeora. De aquí logramos deducir que: “si se mejora la fuerza aplicada, aumenta la producción en detrimento del bienestar físico del operador” mientras que por el otro lado, “si se empeora la fuerza, la producción caerá en beneficio del personal involucrado”. Finalmente sin detrimento del operador ni de la producción, los resultados fueron:

(08) Contrapeso
(01) Segmentación

(37)Uso de Expansión Térmica
(16)Vibración Mecánica

De los cruces 1 y 3 en la matriz, observamos que el principio “Segmentación” se repitió en ambos casos, por lo que se analizó una posible solución aplicando este principio.

Resultados

El principio “Segmentación” llevó a la idea de dividir la tarea en dos operaciones dejando fijo el dispositivo, lo cual elimina el problema de la fatiga del operador, y agregando dos operadores con sus respectivas maquinas soldadoras. Siendo la idea más viable técnica y económicamente, se planteó la solución de utilizar un solo operador con dos soldadoras, una a cada lado del dispositivo.

Este cambio exigirá también, revisar y corregir la rutina de trabajo y el correspondiente estudio ergonómico y de tiempos de ciclo.

El principio 28 de “Sustitución de medios mecánicos por otros sistemas”, nos orientó a pensar en alternativas como por ejemplo: campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos entre otros.

El principio 29 de “Uso de Sistemas neumáticos e hidráulicos” nos amplió los campos ya que el mismo logró orientar nuestro razonamiento hacia numerosos recursos que brinda la neumática y la hidráulica.

El principio 15 de “Dinamismo” nos orientó el razonamiento para hacer que las características de un objeto o del ambiente se adapten para un rendimiento óptimo en cada etapa de su función, pensando en dividir un objeto en varios elementos de tal forma que cambien de posición unos con otros o también, de ser objeto es rígido, hacerlo móvil o intercambiable.

Conclusiones

La metodología “TRIZ” permitió llegar a varias soluciones conceptuales de manera rápida y concreta, tanto a personas de este equipo de trabajo ajenas a la operación como a aquellas que conviven diariamente con el citado problema.

“TRIZ” permite al usuario no solo encontrar una solución conceptual para saber hacia dónde orientar el pensamiento, sino que ayuda también a encontrar un espacio de soluciones conceptuales factibles. Esto es debido a la labor de muchos inventores y tecnólogos que solucionaron sus conflictos de ese modo. Datos estos que están listados en los 40 principios. Esto nos permite eliminar la causa raíz del problema con procedimientos estructurados.

Referencias

[1] TRIZ. La Metodología más Moderna para Inventar O Innovar Tecnológicamente de Manera Sistemática. Enrique Rico Arzate, Margarito Coronado Maldonado. Editor: Panorama México, 2004. ISBN-13: 978-9683813596.
[2] Savransky, Semyon D. Engineering of Creativity (Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving) © 2000 by CRC Press LLC.M.
[3] Karen Gadd. TRIZ For Engineers: Enabling Inventive Problem Solving © 2011 John Wiley & Sons, Ltd. Published 2011 by John Wiley&Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-74188-7.
[4] Manual de uso para la cátedra de “Metodologías para el Desarrollo de la Creatividad en Ingeniería”. Navascues, Zagorodnova, Requena, Nishiyama). UTN FRGP, Gral. Pacheco, Partido de Tigre, Prov. de Buenos Aires. Argentina. 2015.
[5] Altshuller Foundation, Tesauros – terminología del TRIZ y ARIZ (Traducción del original ruso para la Altshuller Foundation, Zagorodnova, Requena, Nishiyama), Rusia. 2004. http://www.altshuller.ru/thesaur/thesaur.asp.

OPTIMIZACIÓN DE LA SALIDA DEL ESTACIONAMIENTO EN HORA PICO

Autores: Andrés Gallino, Cinthia Matteucci, Pablo Pagliuca Benetti, Sergio Bochatay(1)
Tutores: Carlos E. Requena, Fernando Navascues(2)
(1) Estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica. (2) Docentes del Departamento de Ingeniería Mecánica.
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional General Pacheco. H. Irigoyen 288 – Gral. Pacheco,
Buenos Aires, Argentina. sgbochatay@yahoo.com.ar

Resumen

En vista a las problemáticas existentes en lo que respecta al estacionamiento para autos de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional General Pacheco (UTN FRGP), se eligió el caso del atraso experimentado durante la salida vehicular del establecimiento.
El objetivo es optimizar esa gestión del estacionamiento para autos, lo cual redundará positivamente en la seguridad de las personas que están y/o circulan en el estacionamiento y minimizar las esperas, sobre todo, al horario de finalización de las clases nocturnas.
En el presente informe, se relata brevemente como se alcanzaron las propuestas de soluciones conceptuales haciendo uso de la metodología TRIZ [1]. Esta metodología de resolución de problemas inventivos, de origen ruso, conocida como TRIZ, tiene a disposición varias herramientas para alcanzar rápida y estructuradamente un espacio de soluciones conceptuales mediante el uso de herramientas conocidas en su jerga como los “40 Principios de Inventiva”, la “Matriz de Contradicciones”, los “Principios de Separación”, entre otras varias. Estos modelos de solución nos sirvieron para hallar soluciones a los Modelos de Problemas planteados para nuestro problema particular, los cuales fueron “El Planteo del Problema” y el “Planteo de la Contradicción Técnica” respectivamente [2]. TRIZ fue creado por el Ingeniero Mecánico Naval ruso Geinrich Saulovich Altshuller, quién exploró las bases de datos de patentes con el propósito de desarrollar, en principio, heurísticas para la resolución de problemas. De este trabajo es que surgen todas las herramientas TRIZ. En el presente trabajo, se apreció la diferencia de alcanzar alguna solución mediante el pensamiento propio o mediante metodologías no estructuradas con respecto a una metodología estructurada como TRIZ, que nos permitió alcanzar, no una solución, sino, un espacio de soluciones conceptuales. [3]
Palabras clave: TRIZ – Contradicciones – Estacionamiento – Embotellamiento - Congestión - Hora pico

Introducción

Año tras año se produce un aumento en la cantidad de alumnos que asisten a la UTN FRGP, con lo cual el estacionamiento se completa al 100% de su capacidad los días de semana en el turno vespertino.
Debido a que el horario de finalización de los cursos es similar en toda la facultad, se produce un gran congestionamiento vehicular en la salida del estacionamiento entre las 22.00 y las 22.30 hs. Este problema afecta a una gran cantidad de alumnos de la Facultad y puede ocasionar demoras de hasta más de 30 minutos durante el egreso de la misma.
Si bien el problema principal radica en la pérdida de tiempo en el egreso, también se debe tener en cuenta que el problema trae aparejado diversos eventos secundarios como la polución generada por los vehículos en marcha, el estado de ánimo de los alumnos que son parte de la congestión, alumnos que deciden estacionar su vehículo fuera de la facultad para evitar demoras en el egreso. Ver Figura 1.

Desarrollo

Se realizó un estudio del caso analizando las posibles causas de origen del problema, ya que no existe una única causa que genere el conflicto detallado.
Se lograron identificar 4 (cuatro) causas principales, las cuales son:

- Problemas en el registro del ticket de salida del estacionamiento.

- Alumnos que no abonan el cargo de estacionamiento en la ventanilla correspondiente y realizan el pago al guardia de seguridad.
- Vehículos detenidos a la salida de la Facultad debido al tránsito de la Ruta 197 (Avenida donde desemboca la salida).
- La cantidad de vehículos es demasiada para una sola salida.

Fig. 1: Congestión en el egreso de la facultad.

Para poder hallar una solución al problema se utilizó la Metodología TRIZ. Describiremos brevemente una de las numerosas herramientas que posee esta metodología. Esta herramienta, que es la que utilizamos para el presente problema, se basa en presentar al problema bajo la forma de una Contradicción Técnica, la cual representa un conflicto entre dos subsistemas. Esto es, una contradicción técnica existe cuando, tratando de mejorar un atributo, "A", de un sistema tecnológico, otro atributo "B", del mismo sistema tecnológico, se deteriora, y viceversa. En la jerga TRIZ, esos atributos se denominan "Parámetros". TRIZ dispone de una lista de "39 Parámetros de Ingeniería", ver Tabla 1.

Tabla 1. Lista de los 39 Parámetros de Ingeniería utilizados en TRIZ

LOS 39 PARÁMETROS DE INGENIERÍA			
1. Peso de un objeto móvil 2. Peso de un objeto inmóvil 3. Longitud de un objeto móvil 4. Longitud de un objeto inmóvil 5. Área de un objeto móvil 6. Área de objeto inmóvil 7. Volumen de objeto móvil 8. Volumen de objeto inmóvil 9. Velocidad	10. Fuerza 11. Tensión, presión, 12. Forma 13. Estabilidad de un objeto 14. Fuerza 15. Durabilidad de un objeto móvil 16. Durabilidad de un objeto inmóvil 17. Temperatura 18. Brillo 19. Energía consumida por un objeto móvil	20. Energía consumida por un objeto inmóvil 21. Potencia 22. Desperdicio de energía 23. Desperdicio de sustancia 24. Pérdida de información 25. Perdida de tiempo 26. Cantidad de sustancia 27. Fiabilidad 28. Precisión de medida 29. Precisión de manufactura	30. Factores nocivos que actúan en un objeto 31. Efectos nocivos 32. Manufacturabilidad 33. Conveniencia de uso 34. Reparabilidad 35. Adaptabilidad 36. Complejidad de un dispositivo 37. Complejidad de control 38. Nivel de automatización 39. Productividad

Con el contenido de esta tabla, TRIZ conforma una matriz de 39 parámetros que mejoran x 39 parámetros que empeoran según lo que se define en la contradicción técnica del problema. En el cruce entre los parámetros en conflicto, la matriz puede arrojar desde ningún hasta 4 números sin orden de valor numérico. Estos números representan los Principios de Inventiva que orientan al analista del problema en su razonamiento para hallar el espacio de soluciones conceptuales para el problema en cuestión [4]. El orden numérico, es de acuerdo al principio a aplicar más adecuado para "romper" la contradicción técnica definida para ese par de parámetros en conflicto. Estos principios de TRIZ se conocen como Los 40 Principios de Inventiva. Ver Tabla 2. [5]

Tabla 2. Tabla donde se muestran los 40 principios de solución utilizados en TRIZ.

LOS 40 PRINCIPIOS INVENTIVOS			
1. Segmentación 2. Extracción 3. Calidad local 4. Asimetría 5. Combinación 6. Universalidad 7. Anidación 8. Contrapeso 9. Reacción previa 10. Acción previa 11. Amortiguamiento anticipado 12. Equipotencialidad	13. Inversión. 14. Esferoidalidad 15. Dinamicidad 16. Acción parcial o sobrepasada 17. Moviéndose a una nueva dimensión 18. Vibración mecánica 19. Acción periódica 20. Continuidad de una acción útil 21. Despachar rápidamente 22. Convertir algo malo en un beneficio	23. Retroalimentación 24. Mediador 25. Autoservicio 26. Copiado 27. Objeto barato de vida corta en vez de uno caro y durable 28. Reemplazo de sistemas mecánicos 29. Uso de una construcción neumática o hidráulica 30. Película flexible o membranas delgadas	31. Uso de material poroso 32. Cambio de color 33. Homogeneidad 34. Restauración y regeneración de partes 35. Transformación de los estados físicos y químicos de un objeto 36. Transición de fase 37. Expansión térmica 38. Uso de oxidantes fuertes 39. Medio ambiente inerte 40. Materiales compuestos

Por ejemplo, nuestra definición como contradicción técnica fue: “Si pretendemos mejorar la salida, facilitándola, se pierde mucho tiempo y si queremos mejorar el tiempo de salida, la facilidad de la salida se empeora”. Elegimos los parámetros 33 (conveniencia de uso) y 25 (pérdida de tiempo) de la lista. Queremos mejorar el tiempo. Luego se ingresó a la Matriz de Contradicciones (ver vista parcial de la misma en la Figura 2) y se encontró como posibles soluciones los siguientes principios:

		CARACTERÍSTICA QUE EMPEORA			
		25 Pérdida de tiempo	26 Cantidad de sustancia	27 Confiabilidad	28 Precisió de la medició
CARACTERÍSTICA QUE MEJORA	21 Potencia	6,10,20,35	4,19,34	19,24,26,31	2,15,32
	22 Pérdida de energía	7,10,18,32	7,18,25	10,11,35	32
	23 Pérdida de sustancia	10,15,18,35	3,6,10,24	10,29,35,39	16,28,31,
	24 Pérdida de información	24,26,28,32	24,28,35	10,23,28	
	25 Pérdida de tiempo		16,18,35,38	4,10,30	24,28,32,
	26 Cantidad de sustancia	16,18,35,38		3,18,28,40	2,13,28
	27 Confiabilidad	4,10,30	3,21,28,40		3,11,23,
	28 Precisión en la medición	24,28,32,34	2,6,32	1,5,11,23	
	29 Precisión en la manufactura	18,26,28,32	30,32	1,11,32	
	30 Factores dañinos actuando, desde el exterior, sobre el objeto	18,34,35	29,31,33,35	2,24,27,40	23,26,28,
	31 Factores dañinos generados por el objeto	1,22	1,3,24,39	2,24,39,40	3,26,33
	32 Manufacturabilidad o facilidad de fabricación	4,28,34,35	1,23,24,35		1,12,18,
	33 Conveniencia de uso	4,10,28,34	12,35	8,17,27,40	2,13,25,
	34 Fácil para reparar	1,10,25,32	2,10,25,28	1,10,11,16	2,10,13
	35 Adaptabilidad	28,35	3,15,35	8,13,24,35	1,5,10,3
	36 Complejidad del	6,29	3,10,13,27	1,13,35	2,10,26,

Fig. 2: Vista parcializada de la Matriz de Contradicciones mostrando el entrecruzamiento de los parámetros en conflicto y los principios de inventiva sugeridos a utilizar. [1]

De ahora en más, estos principios orientarán nuestros razonamientos. Los 40 principios, son la deducción más directa del análisis de las patentes realizado por el creador de la metodología TRIZ. A continuación, veamos su descripción para entender a que se refieren [6]:

- 4 – Asimetría
  a) Reemplazar una forma simétrica con otra asimétrica.
  b) Si un objeto es simétrico, incrementar dicha asimetría.
- 28 – Reemplazar un sistema mecánico con otro sistema
  a) Remplazar el sistema mecánico con un óptico, acústico o térmico.
  b) Emplear campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos.
  c) Uso de campos magnéticos en combinación con partículas ferromagnéticas.
- 10 – Acción anticipada
  a) Llevar a cabo la acción anticipadamente.
  b) Arreglar objetos con antelación de tal manera que entren en acción inmediatamente que sea necesario y en el lugar adecuado.
- 34 – Desechando y regenerando partes
  a) Después de terminar su función, un elemento de un objeto debe descartarse (evaporarse, disolverse, etc.) o puede ser modificado durante el proceso en que se requiere.
  b) Los componentes usados de un objeto deben ser reutilizados.

Por cada principio propuesto se pensaron soluciones aplicadas a nuestro problema, detallando ventajas y desventajas de la solución hallada. Del principio 4 (asimetría) se pensó la solución de crear una nueva salida ubicada en la zona del Micro estadio. De esta forma se podrá contar con 1 entrada y 2 salidas. La ventaja de esta solución es que se atacan dos de los problemas de origen simultáneamente: el gran caudal de vehículos egresando por una sola salida y las demoras generadas por el tránsito de la Ruta 197; se disminuye el riesgo de accidentes de tránsito debido a maniobras imprudentes al ingresar a la Ruta 197 (la salida en la zona del Micro estadio deriva en una calle con menor tránsito); y por último no sería necesario realizar una gran inversión para habilitar esta salida.
Como desventaja se tiene en cuenta que será necesaria la presencia de un guardia de seguridad en esta nueva salida, lo que aumentaría la cantidad de personal empleado de la facultad.

Fig. 3: Croquis de solución propuesta.

Del principio 28 (reemplazar un sistema mecánico con otro sistema) se pensó la solución de colocar un sistema de verificación de pago del tipo “PASE” adherido en el parabrisas de los vehículos, reemplazando a la tarjeta de registro que actualmente se utiliza. Ver Figura 3.
La ventaja de esta solución radica en que el egreso del estacionamiento será más rápido ya que no dependerá de la habilidad del conductor para detenerse cerca del lector de tickets.
La desventaja es que se debe realizar una importante inversión y posterior mantenimiento en el sistema de cada vehículo; y solo podrían hacer uso los alumnos que utilicen el sistema “pre pago”. Si bien el pago de estacionamiento anticipado ya existe, muchos alumnos se olvidan de realizar el pago en la ventanilla correspondiente. Utilizando el principio 10 (acción anticipada) se llegó a la solución de elevar el precio del estacionamiento (multa) en el caso que no se efectúe el pago en el momento correcto, con el fin de evitar que los alumnos olviden este paso del procedimiento.

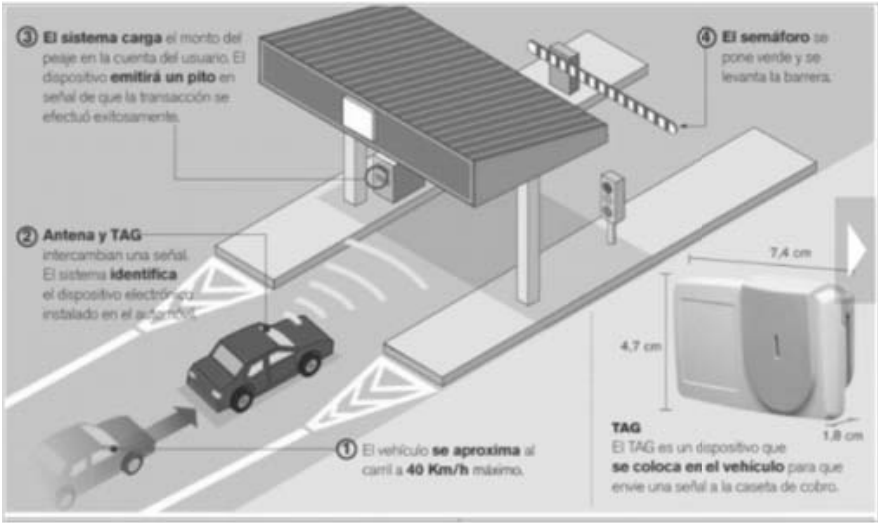


Fig. 3: Ejemplificación del sistema tipo “PASE”.

La ventaja es que se reduce la cantidad de alumnos que realizan el pago al guardia de seguridad, y la desventaja es que se aumenta el malestar de los alumnos al tener que efectuar un pago mucho mayor, generando posibles conflictos con los guardias de seguridad.
Muchos conductores demoran en el egreso debido a que su maniobra no es la ideal. El vehículo queda alejado del lector y es necesario realizar una 2da maniobra o bajarse del mismo para registrar el egreso. Utilizando el principio 34 (desechando y regenerando partes) se llegó a la solución de modificar la curva de ingreso al lector de tickets. Ver Figura 4.
La ventaja es que se asegura una buena maniobra de egreso por parte de los conductores, y la desventaja es que no se permitiría la circulación en ambas manos en ese sector del estacionamiento ya que se reduciría el espacio.
Otra solución utilizando el principio 34 es modificar la ubicación del lector de tickets, ya que el mismo está ubicado en una posición incómoda para el registro de los tickets.
La ventaja de este cambio es que se facilitará la maniobra de egreso, y la desventaja es que se deberá realizar una inversión para modificar la posición actual del lector. Ver Figura 5.

Fig. 4: Curva ideal para realizar la maniobra de egreso.

Fig. 5: Ubicación actual y ubicación propuesta del lector de tickets.

Resultados y discusiones

Se analizaron las soluciones propuestas y se determinó que la solución ideal es agregar una nueva salida en la zona del Micro estadio, ya que ofrece una gran cantidad de ventajas incluso por fuera de la problemática que originó este trabajo.

Esta solución se puede llevar a cabo de distintas formas, como ser:

- Mantener habilitadas continuamente ambas salidas (la salida actual y la nueva).
- Habilitar la nueva salida solo en el horario pico (a partir de las 22.00 hs).
- Anular la salida actual y solo trabajar con la nueva.

Conclusiones

Al haber utilizado la metodología estructurada TRIZ para la resolución de un problema tecnológico, alcanzamos rápidamente un espacio de soluciones conceptuales, quedando a consideración de nuestras posibilidades cuál o cuales aplicar. Como equipo de trabajo, hemos experimentado que las metodologías estructuradas nos permiten evitar la inercia psicológica que nos retiene dentro del perímetro de nuestra especialidad profesional, no permitiendo alcanzar o disponer de conceptos innovadores utilizados en otros sectores como industriales, empresariales, etc. Basarse solamente en los datos y conocimientos no es garantía de éxito en la resolución de problemas, y si este se diera, es probable alcanzar una solución de compromiso y sesgada y muy difícilmente creativa e innovadora. Así, TRIZ resulta como un amplificador natural del razonamiento, de los conocimientos y la experiencia. Resolver problemas es una actividad placentera y no tediosa [7]. Cabe señalar que, hay otras herramientas, muchas de ellas surgidas de TRIZ y no mencionadas aquí, que con su sinergia puede potenciar nuestro pensamiento durante la búsqueda de soluciones conceptuales [8, 9, 10,11].
Una vez halladas las soluciones conceptuales, lo que sigue es la aplicación de la ingeniería. [12]

Referencias

[1] TRIZ. La Metodología más Moderna para Inventar O Innovar Tecnológicamente de Manera Sistemática. Enrique Rico Arzate, Margarito Coronado Maldonado. Editor: Panorama México, 2004. ISBN-13: 978-9683813596.
[2] Altshuller Foundation, Tesauros – terminología del TRIZ y ARIZ (Traducción del original ruso para la Altshuller Foundation, Zagorodnova, Requena, Nishiyama), Rusia. 2004.
http:// www.altshuller.ru/thesaur/thesaur.asp.
[3] Creativity as an exact science in the resolution of engineering problems. Yonni, Fernando, Requena Carlos, Malinauskas Agustinac.UCA, Facultad de Cs. Fisicomatemáticas e Ingeniería. UTN-FRGP, UBA, Facultad de Ingeniería. Buenos Aires, Argentina. http://www.triz-journal.com/creativity-as-an-exact-science-in-the-resolution-of-engineering-problems/
[4] Karen Gadd. TRIZ For Engineers: Enabling Inventive Problem Solving © 2011 John Wiley & Sons, Ltd. Published 2011 by John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-74188-7.
[5] Manual de uso para la cátedra de “Metodologías para el Desarrollo de la Creatividad en Ingeniería”. Navascues, Zagorodnova, Requena, Nishiyama). UTN FRGP, Gral. Pacheco, Partido de Tigre, Prov. de Buenos Aires. Argentina. Uso interno. 2015.
[6] Savransky, Semyon D. Engineering of Creativity (Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving) © 2000 by CRC Press LLC.M.
[7] Sickafus, Ed. (1995). Unified Structured Inventive Thinking – How to Invent, Ntelleck, LLC, Grosse Ile, MI, USA, ISBN 0-965-94350-X. (www.u-sit.net)
[8] Nishiyama, J.C., Zagorodnova, T., Requena, C. Comparación del Manejo de las Contradicciones Físicas en TRIZ con Respecto al USIT. 10º Congreso Iberoamericano de Innovación Tecnológica. Instituto Tecnológico de Monterrey, sede Monterrey. 2015.
[9] Nishiyama, J.C., Zagorodnova, T., Requena, C. Aplicación de TRIZICS en resolución de problemas. 1er Congreso Argentino de TRIZ, Creatividad e Innovación Aplicadas al Desarrollo de Nuevos Productos y Procesos. Grl. Pacheco, 14 – 16 de Septiembre de 2016
[10] Nishiyama, J.C., Arrayago, F., Requena, C. Optimizando el AMFE Mediante el USIT. 1er Congreso Argentino de TRIZ, Creatividad e Innovación Aplicadas al Desarrollo de Nuevos Productos y Procesos. Grl. Pacheco, 14 – 16 de Septiembre de 2016
[11] Nishiyama, J.C., Fructuoso, J., Requena, C. Biomimética-PET-USIT. 1er Congreso Argentino de TRIZ, Creatividad e Innovación Aplicadas al Desarrollo de Nuevos Productos y Procesos. Grl. Pacheco, 14 – 16 de Septiembre de 2016
[12] Bukhman, Isak. TRIZ Technology for Innovation. Cubic Creativity Company. ISBN 978-986-85635-2-0. 2012

RESINA POLIÉSTER INSATURADA MODIFICADA CON ACEITE DE SOJA FUNCIONALIZADO DESTINADA A LA PRODUCCIÓN DE SUPERFICIE SÓLIDA: SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN

Vilma S. Glenzel [(1)], Verónica V. Nicolau [(1),(2)]

[(1)]*GPol, UTN Regional San Francisco, Av. de la Universidad 501, (2400) San Francisco, Córdoba, Argentina.*
[(2)] *INTEC (UNL-CONICET), Güemes 3450, (3000) Santa Fe, Argentina.*
E-mail: vil_gl@hotmail.com

Resumen

El uso de aceites vegetales en la síntesis de materiales poliméricos es actualmente una alternativa que presenta ventajas desde el punto de vista económico y medioambiental. En este trabajo se estudió la funcionalización de aceite de soja para la fabricación de superficies sólidas e involucró: *i*) la síntesis de aceite de soja hidroxilado y maleinizado y su caracterización mediante técnicas volumétricas, espectroscópicas (FTIR y RMN), y cromatográficas (SEC); y *ii*) la obtención de superficies sólidas por moldeo y curado de resinas poliéster isoftálicas modificadas con un 67% p/p de aceite de soja hidroxilado y maleinizado. Al final de la hidroxilación la conversión de dobles enlaces fue del 90,65% y el rendimiento de la maleinización fue del 36,86%. Se observó incremento de las masas molares durante la hidroxilación y maleinización. La velocidad de curado de la resina modificada resultó menor que la correspondiente a la resina tradicional.

Introducción

Las resinas poliéster insaturadas son oligómeros lineales y se emplean en la fabricación de materiales compuestos reforzados tales como piletas de natación, bañeras, y techos traslúcidos de automóviles, así como también en la producción de compuestos moldeados en hojas, normalmente conocidos como “superficie sólida”. El principal uso de la superficie sólida es en la producción de mármol, ónix y granito sintéticos en reemplazo de los correspondientes productos naturales.

Todas las aplicaciones involucran una primera etapa de síntesis de la resina base o prepolímero donde se obtiene un oligómero fusible y de fácil manejo, y una segunda etapa de procesamiento y obtención del polímero termoestable.

Básicamente, los prepolímeros del tipo poliéster insaturados se obtienen por condensación entre un ácido dibásico anhídrido maleico y un diol alifático. Al final de la reacción el prepolímero se disuelve en estireno y se comercializa bajo el nombre de “resina poliéster insaturada”. El estireno se comporta como un solvente reactivo ya que reaccionará vía radicales libres durante la etapa de procesamiento o curado del material.

En la actualidad, existe un renovado interés en el cuidado del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales; lo cual ha impulsado el uso de fuentes renovables en la producción de nuevos materiales poliméricos. Por ejemplo, se procura sustituir (al menos parcialmente) a las materias primas de origen fósil por recursos renovables de origen vegetal como los aceites (Sharma y Kundu, 2008; Güner et al., 2006) que además son de bajo costo, biodegradables y de fácil disponibilidad.

En los aceites vegetales predominan los triglicéridos de diferentes ácidos grasos que tienen una longitud de cadena que varía entre 14 y 22 átomos de carbono y poseen distinto grado de insaturación y funcionalidades. La versatilidad de los aceites provenientes de semillas de linaza, ricino, soja y cártamo entre otros; deriva de su composición química. La modificación química de los triglicéridos facilita la polimerización y mejora las propiedades finales de los materiales. Estas modificaciones consisten en introducir grupos reactivos en las cadenas alifáticas que sean fácilmente polimerizables. A pesar de la cantidad de trabajos relacionados con el empleo de aceites vegetales en la producción de poliuretanos y resinas alquídicas entre otras, existe escasa información sobre su empleo en resinas poliéster insaturadas y menos aún en la obtención de superficies sólidas (Lipovsky, 2006; Andjelkovic et al., 2009). Las principales publicaciones

emplean aceite de ricino (Ghorui, 2011; Mistri et al., 2011) y aceite de soja, AS (Lu et al., 2005; Lu y Wool, 2007, Fridaus 2011; Li y Sun, 2014). Sin embargo, existe escasa información acerca de las características estructurales y físicoquímicas de las resinas y su relación con el material de relleno y las propiedades finales de los materiales.
La soja es el cultivo oleaginoso de mayor importancia mundial. Estados Unidos (39%), Brasil (25%) y Argentina (18%) son los principales productores. La soja mostró a lo largo de los últimos 30 años un crecimiento continuo, constituyéndose en la actualidad en el principal cultivo del país. Las principales provincias productoras son Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires. Nuestro país cuenta con 47 plantas aceiteras con una capacidad de molturación total de 108.500 toneladas por día. El AS es el de mayor volumen de producción en el ámbito nacional y muestra una sostenida tendencia creciente. Los triglicéridos que abundan en el AS tienen un promedio de 4,6 dobles enlaces por molécula y pueden ser funcionalizados (Pryde, 1979). La modificación del AS se realiza mediante hidroxilación seguida de maleinización o por epoxidación seguida de acrilación (Lu et al., 2005; Lu y Wool, 2007, Fridaus 2011; Li y Sun, 2014).
El objetivo del presente trabajo es obtener superficies sólidas a partir de AS regional modificado por hidroxilación-maleinización.

Trabajo experimental

Materiales

Aceite de soja (ERI Cotagaita S.R.L., Córdoba, Argentina), ácido fórmico 97% (Cicarelli), peróxido de hidrógeno 30% (uso farmacéutico), éter sulfúrico (Cicarelli), bicarbonato de sodio, cloruro de sodio, hidroquinona (Cicarelli), anhídrido maleico comercial, tolueno (Cicarelli), resina poliéster insaturada isoftálica (Polirresinas San Luis, Argentina); Perly-ox 50 (Polirresinas San Luis) como iniciador, y octoato de cobalto OC-2.5 como acelerante.
A partir del bicarbonato de sodio y del cloruro de sodio se prepararon una solución de bicarbonato de sodio 26% p/p y una solución saturada de cloruro de sodio (50 g de cloruro de sodio en 1000 ml de agua), respectivamente.
El AS que produce la empresa ERI Cotagaita S.R.L.se obtiene por prensada, no presenta agregados de aditivos y es destinado a la producción de biodiesel con un índice de acidez de 13,46.

Síntesis de Aceite de Soja Hidroxilado (ASH)

En un balón de 1000 ml se mezclaron 300 ml de AS con 300 ml de ácido fórmico 97% y 165 ml de peróxido de hidrógeno 30%. Se agitó mecánicamente toda la noche en un baño con agua y hielo para favorecer la formación de la emulsión.
La emulsión resultante se trasvasó a una ampolla de decantación y se hizo una extracción con éter sulfúrico. Se descartó la fracción acuosa, mientras que la fracción etérea se lavó con agua, luego con la solución de bicarbonato de sodio, y por último con la solución saturada de cloruro de sodio. Finalmente se evaporó el éter.

Síntesis de Aceite de Soja Hidroxilado y Maleinizado (ASHM)

En un balón de 3 bocas de 250 ml se agregaron 160,3 g de ASH y 0,08015 g de hidroquinona. Se purgó con nitrógeno a temperatura ambiente durante 30 minutos a fin de evitar la oxidación de los lípidos presentes en el AS. Se calentó hasta alcanzar una temperatura de 60 °C en baño María sobre placa calefactora y bajo agitación magnética. Luego se agregaron 57,863 g de anhídrido maleico bajo agitación magnética y se calentó hasta alcanzar una temperatura de 80 °C. A partir de la disolución total del anhídrido maleico se tomaron muestras cada 1 hora y se midió el índice de acidez (IA).

Para la determinación del IA se pesaron 0,7 g de muestra en un Erlenmeyer con 25 ml de una solución de alcohol etílico-tolueno 2:1. Se calentó sobre manta calefactora hasta disolución

completa de la muestra y se tituló con solución de KOH alcohólico 0,1N y fenolftaleína como indicador.

Caracterización del AS, ASH y ASHM

Los AS, ASH y ASHM se caracterizaron por resonancia magnética nuclear de protones y carbono (RMN^{1}H y ^{13}C), espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (FTIR), y cromatografía de exclusión por tamaños (CLE). La asignación e identificación de los picos y bandas de los espectros se hizo según Serrano (2008) y Can et a. (2001).

Para el análisis por RMN las muestras se disolvieron en cloroformo deuterado. Los espectros de RMN se adquirieron en un espectrómetro Bruker Avance II 300 MHz provisto de sonda multinuclear de gradiente y empleando trimetilsulfóxido (TMS) como estándar interno.

Por otra parte, los espectros FTIR fueron obtenidos en un espectrofotómetro Nicolet Avatar 360 de transformada de Fourier en la región de frecuencia de 4000-400 cm^{-1}. Se prepararon pastillas de KBr conteniendo 2-3% de muestra seca.

Finalmente, los cromatogramas se obtuvieron empleando un cromatógrafo Waters Breeze Modelo 1525, con inyector automático Waters Modelo 717, detector de índice de refracción W2414 y una columna Waters Styragel HR 4E (7,8 × 300 mm). Se empleó tetrahidrofurano (THF) como solvente a 1 mL/min. Las muestras se disolvieron en THF (0,1% p/p), y los volúmenes de inyección fueron de 50 µl.

Obtención de las superficies sólidas

Se obtuvieron 2 placas de 14 x 10 cm empleando una resina poliéster isoftálica comercial (100%) y una modificada con 67% de ASHM. Para la obtención de la superficie sólida modificada se pesaron 78,81 g de resina poliéster y 160 g de ASHM mientras que para la superficie convencional se pesaron 250 g de resina poliéster comercial. Luego se adicionó un 0,3% p/p de acelerante [Fig. 1 a)] y 1% p/p de iniciador [Fig. 1 b)] bajo agitación con varilla de vidrio. La mezcla se vertió en el molde [Fig. 1 c)] bajo agitación orbital a fin de eliminar las burbujas. Finalmente las placas se desmoldaron [Fig. 1 d)] y dejaron curar a temperatura ambiente durante 24 h y fueron post-curadas durante 3 h a 90 °C. El curado de la superficie sólida modificada fue insuficiente y la placa se llevó a estufa a 120 ºC hasta endurecimiento del material (aproximadamente 4 h).

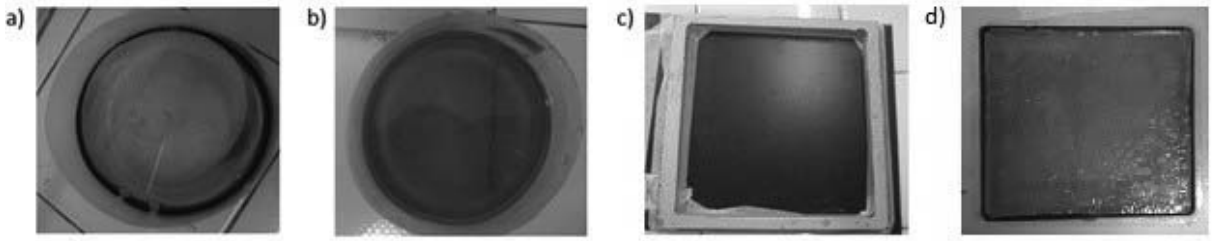


Fig. 1 Obtención de superficie sólida convencional: a) resina isoftálica insaturada + 0,3% acelerante; b) resina isoftálica insaturada + 0,3% acelerante + 1% iniciador; c) molde; y d) superficie sólida.

Resultados

En la Fig. 2 se observa que el IA durante la síntesis del ASHM disminuyó en el tiempo alcanzándose valores casi constantes luego de 2,5 h de reacción.

.

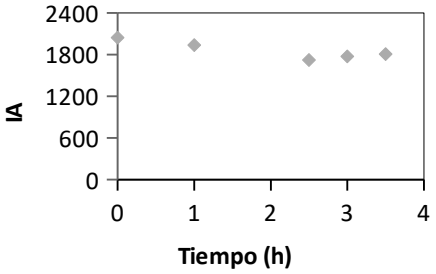


Fig. 2. Síntesis del ASHM: IA.

En la Fig. 3 a) y b) se muestran los espectros de RMN ^{1}H y ^{13}C, para el AS, ASH y ASHM.

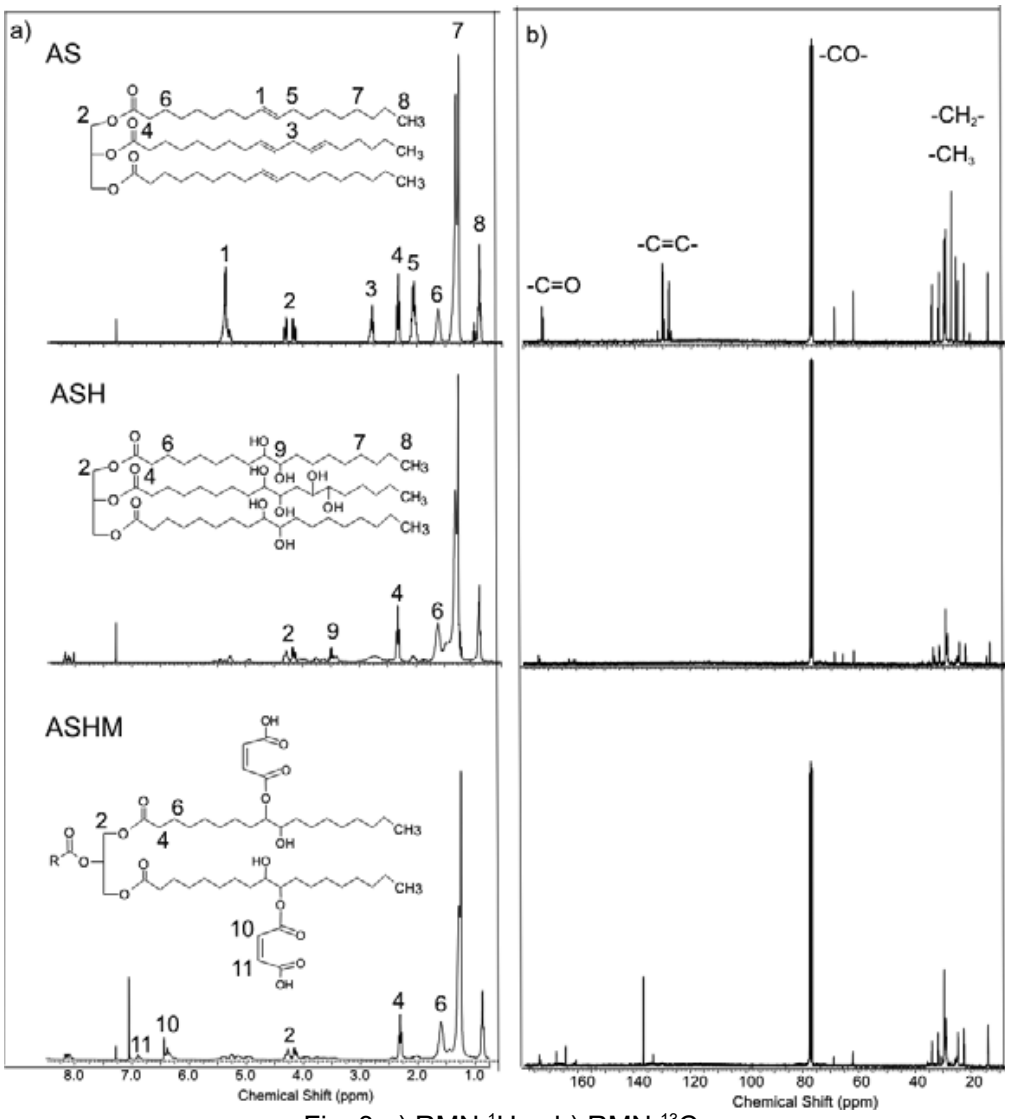


Fig. 3 a) RMN ^{1}H, y b) RMN ^{13}C.

En todos los espectros de protones [Fig. 3a)] se observa a 7,28 ppm una señal correspondiente al solvente indicando que contiene algunos átomos de hidrógeno en lugar de deuterio. En el espectro del AS se observa a 5,4 ppm la señal (1) de los protones vinílicos (-C=C-H) y a 2,1 ppm la correspondiente (5) a los protones alílicos externos (–CH_2-CH=CH-). Los picos alrededor de 4 ppm (2) corresponden a los protones del glicerol (-COO-C-H). Entre 2,5 y 3 ppm se encuentra un triplete (3) correspondiente a los protones alílicos internos (-CH=CH-CH_2-CH=CH-). A 2,3; 1,6; 1,2,

y 0,9 ppm se observan las señales de los protones del Cα, Cβ, y de los grupos -C$\underline{H}_2$- y -C$\underline{H}_3$ (4, 6, 7, y 8; respectivamente). Luego de la hidroximetilación se observa una disminución de (1), (3) y (5) y nuevos picos entre 3.5-4.0 ppm (9) correspondientes a los protones de los carbonos unidos a hidroxilos (-C$\underline{H}_2$-OH). La intensidad de (9) disminuye luego de la maleinización y se observan nuevas señales entre 6,3-6,5 ppm (10) y 6,9 ppm (11) correspondientes a los grupos maleatos. El pico a 7,05 ppm indica la presencia de anhídrido maleico sin reaccionar. A partir del área bajo las curvas se hizo un análisis cuantitativo relativo a los protones del glicerol (2) ya que no se modifican a lo largo de las reacciones. El AS posee un promedio de 4,28 dobles enlaces por triglicérido disminuyendo a 0,40 luego de la hidroxilación. Al final de la maleinización se incorporaron 1,42 grupos maleatos lo que representa un rendimiento del 36,6%.

En relación a los espectros de carbono [Fig. 3 b)] se observa alrededor de los 170 ppm un pico correspondiente al carbono del grupo carbonilo (-C=O) tipo éster. Entre 130-140 ppm, 60-80 ppm y 0-40 ppm se observan varias señales que se identifican como los carbonos presentes en dobles enlaces (-C=C-), grupos -C-O-, y $-CH_3$ y $-CH_2$-, respectivamente. Nótese que en ASH no se observan picos entre 130-140 ppm a pesar de que la conversión no fue del 100% de acuerdo a los resultados obtenidos por RMN ^{1}H.

En el espectro de FTIR del AS [Fig. 4a)] se observa la banda de tensión a 3009 cm^{-1} y de deformación a 718 cm^{-1}que confirman las insaturaciones -C=C-.

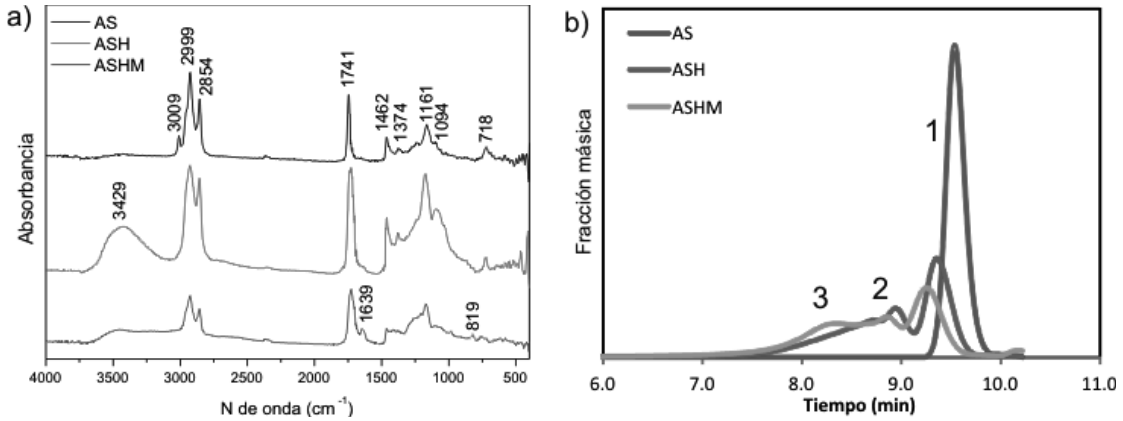


Fig. 4 a) FTIR; y b) CLE.

Además se observan dos señales intensas a 2999 y 2854 cm^{-1} correspondientes a la vibración de tensión de los enlaces C-H que junto con la bandas a 1462 cm^{-1} y a 1374 cm^{-1} confirman la presencia de porciones de cadenas carbonadas saturadas esperadas para los ácidos grasos de los triglicéridos. El pico intenso a 1741 cm^{-1}confirma la presencia de grupos carbonilos tipo éster. Entre 1000 y 1300 se aprecian 2 bandas que se pueden asignar como enlaces C-O de ésteres. La ausencia de señales entre 3000y 3500 cm^{-1} (tensión de enlace O-H) demuestra que el aceite no contiene cantidades significativas de ácidos grasos libres. Luego de la hidroxilación disminuye la absorción de las insaturaciones -C=C– (3009 cm^{-1}) y se observa una nueva señal a 3429 cm^{-1}correspondiente a la tensión de –OH que disminuye notablemente luego de la maleinización. La incorporación de grupos maleatos se corroboró por la presencia de los picos de absorción a 1639 cm^{-1} y 819 cm^{-1}correspondientes a la vibración de tensión y de flexión fuera del plano de las insaturaciones C=C. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por RMN.

De los cromatogramas de CLE [Fig. 4 b)] se observa que el AS está constituido por monómeros (único pico) mientras que la presencia de 3 picos en ASH y ASHM corresponde a monómeros (1), dímeros (2), y oligómeros (3). Se observa un corrimiento del pico (1) luego de la hidroxilación y maleinización debido a un incremento del peso molecular del triglicérido. Además, si comparamos los cromatogramas de ASH y ASHM se observa un incremento de los oligómeros de ASHM a expensas de una disminución de los monómeros y dímeros. Estos resultados sugieren policondensación de los triglicéridos con formación de unión éter durante la hidroxilación [Fig. 5 a)] y unión éster durante la maleinización [Fig. 5 b)] y concuerdan con la mayor relación de grupos –

CO-/C=O (áreas bajo los picos a 1161 cm^{-1} y 1741 cm^{-1}, respectivamente) del ASH y ASHM en comparación con AS [Fig. 4 a)].

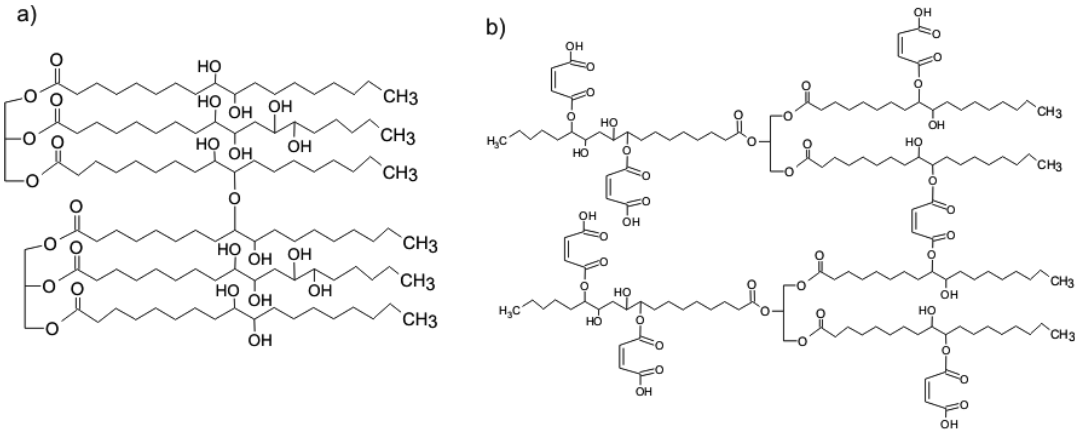


Fig. 5 a) Dímero (unión éter) en ASH; y b) Dímero (unión éster) en ASHM.

En relación a los materiales, la menor velocidad de curado observada para la resina poliéster modificada con ASHM en comparación con la resina convencional concuerdan con los bajos rendimientos de la maleinización durante la funcionalización del AS.

Conclusiones

Se obtuvieron superficies sólidas a partir de una resina poliéster isoftálica insaturada modificada con un 67% de aceite de soja hidroxilado y maleinizado. La conversión de dobles enlaces luego de la hidroximetilación del aceite de soja fue del 90,65% y el rendimiento de la maleinización del 36,6%. Se observó polimerización con posible formación de uniones éter durante la hidroxilación e incremento de la polimerización durante la maleinización. La velocidad de curado de la resina modificada resultó menor en comparación a una resina convencional.
En futuros trabajos se diseñarán y/o optimizarán los procesos de síntesis de polioles a partir de la modificación química del aceite de soja, el curado de las resinas y las condiciones de catálisis a fin de obtener máximos rendimientos y lograr metodologías reproducibles. Además, se medirán propiedades finales (principalmente mecánicas) de los materiales poliméricos obtenidos.

Referencias

Andjelkovic, D. D., Culkin, D. A., & Loza, R. (2009). Unsaturated polyester resins derived from renewable resources. *Composites and Polycon*.
Can, E., Küsefoğlu, S., & Wool, R. P. (2001). Rigid, thermosetting liquid molding resins from renewable resources. I. Synthesis and polymerization of soy oil monoglyceride maleates. *Journal of Applied Polymer Science*, *81*(1), 69-77.
Firdaus, F. E. (2011, September). Optimization of soy epoxide hydroxylation to properties of prepolymer polyurethane. In *Proceeding International Conference on Applied Science Engineering and Information Technology* (p. 189).
Ghorui, S., Bandyopadhyay, N. R., Ray, D., Sengupta, S., & Kar, T. (2011). Use of maleated castor oil as biomodifier in unsaturated polyester resin/fly ash composites. *Industrial Crops and Products*, *34*(1), 893-899.
Güner, F. S., Yağcı, Y., & Erciyes, A. T. (2006). Polymers from triglyceride oils.*Progress in Polymer Sci*, *31*(7), 633-670.
Li, Y., & Sun, X. S. (2014). Di-hydroxylated soybean oil polyols with varied hydroxyl values and their influence on UV-curable pressure-sensitive adhesives. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *91*(8), 1425-1432.
Lipovsky, K. (2006). Overcoming Vitrification of Polyester Solid Surface Resin for the Kitchen Environment using Postcure. *COMPOSITES*, 1.
Lu, J., Khot, S., & Wool, R. P. (2005). New sheet molding compound resins from soybean oil. I. Synthesis and characterization. *Polymer*, *46*(1), 71-80.
Lu, J., & Wool, R. P. (2007). Sheet molding compound resins from soybean oil: Thickening behavior and mechanical properties. *Polymer Engineering & Science*, *47*(9), 1469-1479.
Mistri, E., Routh, S., Ray, D., Sahoo, S., & Misra, M. (2011). Green composites from maleated castor oil and jute fibres. *Industrial Crops and Products*, *34*(1), 900-906.
Pryde, E. H. (Ed.). (1979). *Fatty acids*. American Oil Chemists Society.
Sharma, V., & Kundu, P. P. (2008). Condensation polymers from natural oils.*Progress in Polymer Sci*, *33*(12), 1199-1215.
Serrano, M., *Obtención de Polioles a partir de Aceites Vegetales para la Fabricación de Poliuretanos*, Tesis doctoral. Universidad Simón Bolivar, Sartenejas (2008).

ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DE TAMAÑO Y AISLADO PROTEICO A PARTIR DE HARINA DE SOJA DE EXTRACCIÓN

Lucas Volmaro, Pablo Tovo
Tutor: Diego G. Semprini
Planta Piloto de Ingeniería Química - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Villa María, Av. Universidad 450, CP 5900, Villa María, Córdoba, Argentina.
e-mail: lucas.volmaro@gmail.com; pablo_tovo@hotmail.com

Resumen

Se utiliza una muestra de harina de soja de extracción (HSE), un subproducto oleaginoso, y se realiza análisis de reducción de tamaño en un molino de martillos y extracción de proteínas con solución acuosa de cloruro de sodio 0,5M a 45ºC y pH 6,3. Un objetivo es informar la potencia de molienda sobre unidad de masa alimentada de gruesos (HSE > tamiz #10 ASTM). Se varía la apertura del tamiz de retención del molino y se criba la harina en tamiz #10 clase ASTM previo a la molienda. También se informa el rendimiento de extracción de proteínas para una serie de fracciones de tamaño específico. En primera instancia, se realiza un análisis por tamizado de la muestra original y se procede con la molienda bajo alimentación constante. La potencia total consumida se calcula a partir de la medición de las magnitudes eléctricas necesarias. Finalmente, también se determina la distribución por tamaño de la HSE molida. Por otro lado, para obtener aislado proteico se realiza la extracción sobre varias muestras de HSE de tamaño diferente y conocido y se calcula el rendimiento. Como resultados se obtiene que la potencia se encuentra en el rango de 0,20-0,62kW/kg y el rendimiento de extracción en el rango 16-19% para un tamaño de partículas #20-#50.

Palabras claves: harina de soja de extracción, extracción de proteínas, reducción de tamaño, potencia de molienda.

Introducción

En la industria aceitera de oleaginosas, en particular de soja, se obtiene el aceite refinado comercial a partir de tres métodos conocidos que son: prensado, extracción por solvente y mixto. Particularmente, en los dos últimos se obtiene un subproducto oleaginoso sólido rico en proteínas denominado harina de soja de extracción. Para obtenerla, los sólidos agotados en aceite se someten a una operación específica de calentamiento llamada desolventizado-tostado que tiene como finalidad eliminar el solvente y tostarlos (Kemper T. 2005). Para darle usos comerciales es común realizar una operación de molienda por la cual se reduce su tamaño. Esto se realiza para alimentación animal (Newkirk R. 2010) y otra manera de aprovecharla es obtener concentrados y aislados proteicos destinados a la alimentación humana como ingredientes de bebidas (Paulsen P.V. 2009), sopas y salsas.

Durante una operación de molienda se sabe que cuando se realiza una etapa previa de separación por tamaño se utilizará menor potencia sobre masa alimentada de sólidos de un tamaño específico (McCabe W.L. 1972). Esto se determina cuantitativamente si en una experiencia se alimenta igual flujo de sólidos a un molino bajo las mismas condiciones de molienda, en la que la muestra ha sido previamente cribada o no. También es conocido el hecho de que al cambiar la criba a la salida del molino por una de menor tamaño, la potencia de molienda consumida es mayor, para muestras iguales. Se determina cuantitativamente al realizarse una experiencia en la que se alimenta la misma cantidad de muestras iguales y se varía la malla a la salida del molino.

La harina de soja de extracción contiene elevada concentración de proteínas en peso, entre 44% y 54% (Gallardo M. 2008). Las proteínas de soja son globulinas y las mismas son solubles en soluciones alcalinas y salinas; e insolubles en soluciones ácidas cercanas a su punto isoeléctrico 5,2. Las que se presentan en mayor proporción son glicinina y β-conglicinina, que son globulinas 7S y 11S, respectivamente (Deak N.A. 2006). El proceso de obtención de concentrado y aislado proteico involucra operaciones como extracción de las proteínas con solución salina (Martinez D. 2013) y precipitación de las mismas desde el extracto.

El objetivo es informar la potencia de molienda sobre unidad de masa alimentada de gruesos (HSE > tamiz #10 ASTM) y el rendimiento de extracción de proteínas para una serie de fracciones de tamaño específico.

Materiales

Se utilizó harina de soja de extracción (HSE), subproducto oleaginoso de una extracción mixta de aceite de soja a partir de granos de la campaña 2014/15, provincia de Córdoba; la cual fue provista por una empresa de la región.

Para el proceso de molienda se utilizó un molino de martillos de tres palas fijas con capacidad de molienda en estado estacionario de 500g/min, con motor monofásico. Para la medición de potencia se utiliza un voltímetro digital Mastech M1000, amperímetro de pinza Center 221 s/n:061208554 y tacómetro digital Sinometer DT-2234C s/n: 289451. Para análisis por tamizado se usaron tamices norma ASTM y un equipo de análisis electrónico Zonytest s/n: 00096.

Para la obtención de aislado proteico se utiliza pH-metro Hanna HI 9025 (buffer Anedra 4.0 y 7.0), agitador magnético/calentador 200W Fábrica de Aparatos Científicos (FAC) AMC-20, centrífuga de tubos Giumelli Z-29 P.D.F., Water Quality Checker Horiba U-10 s/n: 040801000HK-5, bomba de vacío Pascal SA 0,25hp s/n: 104496, estufa de aire seco caliente con convección forzada Dalvo Instrumentos 49-FLI, balanza analítica Ohaus Pioneer PA313, balanza portátil Ohaus Scout Pro 400g, cloruro de sodio y cloruro de potasio g.a. Anedra, soluciones de NaOH 0.05M y HCl 0.1M, papel de filtro uso laboratorio Quanty JP-3003-4 110,0mm.

Metodología

En el análisis de reducción de tamaño se trabaja con la muestra de HSE provista. Se realiza análisis por tamizado para conocer su distribución por tamaño. La molienda se lleva a cabo bajo tres condiciones, en las que la cantidad alimentada permanece constante e igual a 500g, se varía la criba de retención del molino y se criba la muestra en malla #10 ASTM (Fox D.J. 2011). Para cada condición se efectuaron entre tres y cuatro pruebas.

Condición 1: 500g de HSE >#10 ASTM por molino con tamiz 3,0mm

Condición 2: 500g de HSE sin tratar por molino con tamiz 3,0mm

Condición 3: 500g de HSE >#10 ASTM por molino con tamiz 1,5mm

Se mide tensión, intensidad de corriente y coseno de phi (cos φ) para calcular la potencia total de molienda. Luego se determina la distribución por tamaño de la HSE molida. Finalmente se relaciona la potencia de molienda con la masa alimentada de gruesos (HSE > #10 ASTM).

Para realizar la extracción de las proteínas se separaron tres cortes de tamaño: #30-20, #40-30 y #50-40; siendo que estos participan en 46% en peso en la distribución por tamaño de HSE molida bajo las condiciones usadas. El método consiste en utilizar como agente de extracción una solución de cloruro de sodio 0,5M (Anderson R.L. 1973) durante 30 minutos (Zeki B. 1992) bajo condiciones de operación: temperatura 45ºC, pH 6,3 (Millar D.B. 1980) y agitación constante. La relación de extracción usada es 1g HSE:10ml NaCl 0,5M y se decide trabajar con 10g de HSE. Para mantener pH 6,3 debe ajustarse con NaOH 0,05M (Londhe SV. 2011). Luego de la extracción, la suspensión sobrenadante se separa de la torta húmeda de HSE por filtración en una malla de apertura #20 ASTM. Luego la misma es centrifugada en tubos a 1500rpm durante 2 minutos. Se toman 20ml de solución sobrenadante y se filtra al vacío.

Para realizar la precipitación de proteínas se emplea solución de ácido clorhídrico 0,1M. En un vaso de precipitado se agrega agua destilada a 10ºC en relación 1ml sobrenadante:4ml agua y se mantiene la solución a pH 5,0 durante tres minutos con agitación constante. Finalmente, la suspensión proteica de color blanco es centrifugada en tubos a 3500rpm durante 10 minutos.

Para conocer aproximadamente el peso de NaCl que acompaña a los sólidos precipitados se mide la conductividad eléctrica de la solución separada. La concentración de NaCl en solución puede determinarse mediante el uso de una “recta Concentración vs Conductividad” graficada a partir de soluciones de NaCl de concentración conocida. El secado de proteínas se realiza a 101ºC (SAGPyA 1999) hasta peso constante durante un tiempo aproximado total de 3,5 horas. Por último, se calcula la masa de proteínas precipitadas con corrección del peso por presencia de cloruro de sodio sólido. El rendimiento de extracción es la relación másica de proteínas extraídas y de proteína bruta presente en la HSE provista, que es 44% en peso en base seca. Cabe

mencionar que se han realizado entre tres y cuatro experiencias para cada uno de los tres cortes por tamaño.

Resultados y discusión

En la tabla 1 se muestra la distribución por tamaño de la HSE provista. Se puede observar que la fracción másica de sólidos gruesos, esto es tamiz >#10 ASTM es cercano a 36%. En la figura 1 se puede observar la distribución por tamaño final de HSE molida, según las tres condiciones de molienda.

Tabla 1. Análisis por tamizado de muestra original de HSE.

Tamiz ASTM	Dp (mm)	fr. discreta (%peso)	fr. acumulada (%peso)
4	4,76	0,15	0,15
6	3,36	11,70	11,85
8	2,38	16,48	28,33
10	2,00	7,51	35,84
12	1,41	9,91	45,75
16	1,00	23,86	69,61
20	0,841	13,79	83,40
30	0,595	6,43	89,83
40	0,420	4,89	94,73
50	0,297	1,96	96,68
70	0,210	0,93	97,61
100	0,149	0,60	98,21
Colector	<0,149	1,79	100,00
Total		100,00	

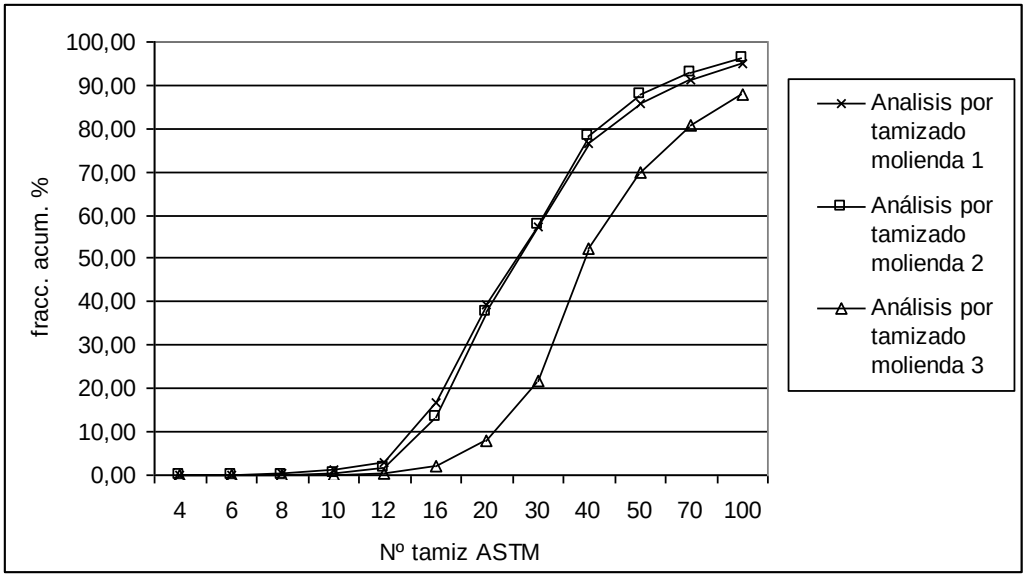


Fig.1.Análisis por tamizado de HSE molida para cada condición.

Como puede visualizarse, la HSE molida obtenida por molienda 1 y 2 tienen una distribución por tamaño muy similar. Por su parte la HSE molida resultante de la condición 3 tiene un contenido mayor de partículas de tamaño <#16 ASTM con respecto a las anteriores. En la tabla 2 se presenta el análisis por tamizado de la HSE para cada condición de molienda. Las fracciones que tienen mayor fracción másica discreta son: #16-12, #20-16, #30-20, #40-30 y #50-40.

A continuación, en la figura 2, se muestran curvas de potencia total (W)-tiempo (s) que describen la operación de molienda durante las experiencias. Se considera “potencia total” a la suma de potencia de molienda y potencia de vacío. Esta última, es la necesaria para mover los martillos del

molino cuando funciona en vacío, a una velocidad de 3600rpm. Se ha medido y es igual a 0,48-0,50kW. Además puede calcularse una potencia total promedio, valor que, si se mantuviese constante en el tiempo, consumiría la misma energía total.
Por otro lado, la energía total consumida se calcula a partir de la potencia total y el tiempo de molienda para cada condición. Se indica que el término "energía total consumida" es la suma de energía de molienda y energía consumida en vacío.

Tabla 2. Análisis por tamizado de condiciones de molienda.

Tamiz ASTM	Dp (mm)	Análisis molienda 1		Análisis molienda 2		Análisis molienda 3	
		Fr. discreta (%peso)	Fr. acum. (%peso)	Fr. discreta (%peso)	Fr. acum. (%peso)	Fr. discreta (%peso)	Fr. acum. (%peso)
4	4,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	3,36	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
8	2,38	0,38	0,39	0,15	0,15	0,02	0,02
10	2,00	0,90	1,29	0,33	0,48	0,05	0,07
12	1,41	1,73	3,02	1,08	1,56	0,19	0,26
16	1,00	13,53	16,55	11,76	13,32	2,02	2,28
20	0,841	22,91	39,46	24,31	37,63	5,53	7,81
30	0,595	17,87	57,33	19,95	57,58	13,82	21,63
40	0,420	19,21	76,53	20,83	78,41	30,48	52,11
50	0,297	9,21	85,74	9,49	87,90	17,78	69,89
70	0,210	5,61	91,35	5,14	93,04	10,94	80,83
100	0,149	3,49	94,84	2,99	96,03	6,92	87,74
Colector	<0,149	5,16	100,00	3,97	100,00	12,26	100,00
Total		100		100		100	

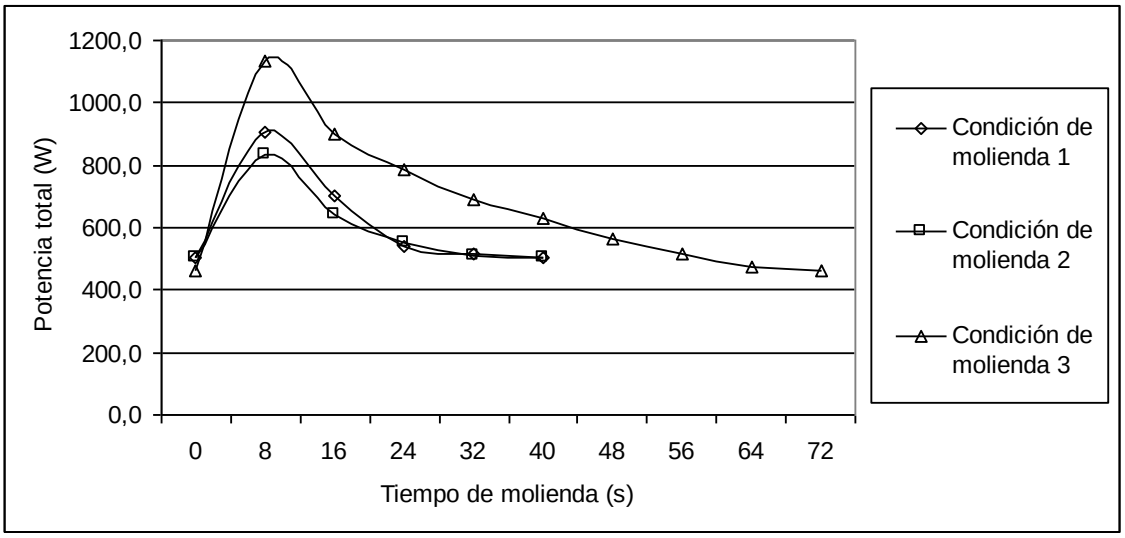


Fig. 2. Potencia total consumida en las condiciones de molienda.

A partir del análisis de la figura 2 y la tabla 3 se puede mencionar que la energía total consumida para la condición 3 es el doble que las condiciones 1 y 2, como consecuencia de que el diámetro de malla de la criba utilizada es 1,5mm. A su vez el tiempo de molienda en la experiencia es mayor, siendo 72 segundos.
La potencia de molienda promedio de la condición 2 es 0,103kW, en la experiencia 1 es 20% mayor y es el 102% en la condición 3.
Se observa que la condición 1 necesita una potencia sobre masa alimentada de gruesos (>#10 ASTM) de 0,25kW/kg, que es el 44% de la necesaria en la condición 2 y el 60% de la necesaria

para la condición 3. Si se comparan, el porcentaje de sólidos gruesos (>#10 ASTM) en la experiencia 2 es de 35,84% y parte de la potencia de molienda se gasta en reducir el tamaño de finos (<#10 ASTM); mientras que en la experiencia 3 el diámetro de malla es menor.

Tabla 3. Energía y potencia de molienda para cada condición.

	Condición de molienda 1	Condición de molienda 2	Condición de molienda 3
Energía Total consumida (kJ)	25,3	24,3	50,5
Potencia total promedio (kW)	0,632	0,609	0,654
Energía de molienda (kJ)	5,05	4,12	16,10
Potencia de molienda promedio (kW)	0,126+/-0,023 Er%=18,2%	0,103+/-0,009 Er%=8,7%	0,208+/-0,007 Er%=3,4%
Potencia/masa alimentada de gruesos (>#10 ASTM) (kW/kg)	0,25+/-0,05 Er%=18,4%	0,57+/-0,05 Er%=8,9%	0,42+/-0,01 Er%=3,6%

En la extracción de proteínas de HSE se muestran los rendimientos para los cortes: #30-#20, #40-#30 y #50-#40 en la tabla 4. Se puede observar que no existe una diferencia en el rendimiento para los cortes estudiados y es entre 16%-19%.

Tabla 4. Rendimiento de extracción de proteínas.

Corte	Rendimiento (%)	Nº Experiencias
#30-#20	19,0+/-2,4 Er%=8,8%	3
#40-#30	15,8+/-1,0 Er%=6,3%	3
#50-#40	18,7+/-1,4 Er%=7,5%	4

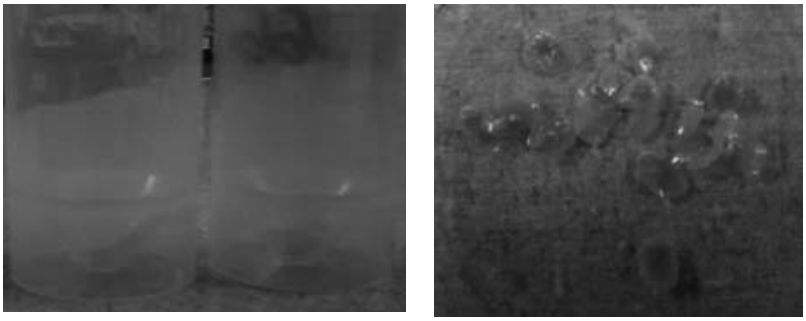


Fig. 3. Aislado de proteínas de soja.

Conclusiones

En las experiencias de molienda bajo las condiciones 1, 2 y 3 se necesitó una potencia de molienda sobre unidad de masa de gruesos alimentada (HSE > tamiz #10 ASTM) en el rango de 0,20-0,62kW/kg. Se observa que la condición 1 necesita una potencia de 0,25kW/kg, que es el 44% de la necesaria en la condición 2 y el 60% de la necesaria para la condición 3.

En cuanto a la extracción de globulinas a partir de HSE con solución de cloruro de sodio, se observa que las condiciones de operación permiten obtener un rendimiento de extracción entre 16%-19% para sólidos de tamaño #20-#50.

Referencias

Anderson R.L. y otros dos autores, *Extraction of Soybean Meal Proteins with salt solutions at pH 4.5*, J. Agr. Food Chem., Vol. 21, No.2, pp.251-254, Mar-Abr (1973). Disponible al 16/05/2016 en: http://naldc.nal.usda.gov/download/31277/PDF

Deak N.A. y otros dos autores, *Effects of NaCl Concentration on Salting-in and Dilution During Salting-out on Soy Protein Fractionation*, J. Food Sc., Vol. 71, Issue 4, pp C247–C254, Mayo (2006). Disponible al 17/05/2016 en: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1750-3841.2006.00028.x/full

Fox D.J., *Industrias aceiteras procesadoras del grano de soja en la República Argentina*, tesis de grado en Ing. en Producción Agropecuaria, Universidad Católica Argentina, Fac. Ciencias Agrarias, Buenos Aires, Argentina (2011). Disponible al 07/06/2016 en:http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/industrias-aceiteras-procesadoras-grano-soja.pdf

Gallardo M.,*Soja y harinas de extracción para la alimentación del ganado. Un análisis de las cualidades nutricionales de los diferentes tipos de acuerdo al método de extracción utilizado*, INTA EEA Rafaela, Argentina (2008). Disponible al 07/06/2016 en: www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/12-soja.pdf

Kemper T.G., *Oil Extraction* de *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 6ta Ed., John Wiley and Sons Inc., vol. 5, pp57-98, New York, EEUU (2005). Disponible al 07/06/2016 en: http://pathway.soe.uq.edu.au/mediawiki/images/5/55/Bailey's_Oil_Product.pdf

Londhe SV y otros tres autores, *Isolation of quality soy protein from soya flakes*, Int. J. Res. Pharm. Biom. Sc., ISSN: 2229-3701, en línea,vol. 2, nº3, jul-sep, pp1175-1177 (2011). Disponible al 16/05/2016 en: http://ijrpbsonline.com/files/RS00032.pdf

Martinez D. y otros cuatro autores, *Extraction/fractioning techniques for proteins and peptides and protein digestion* de *Proteomics in Foods Principles and Applications*, 1ra ed., Springer, pp28-29, pp 28-29, New York, EEUU (2013). Disponible al 07/06/2016 en: file:///C:/Documents%20and%20Settings/Pc/Mis%20documentos/Downloads/9781461456254-c1.pdf

McCabe W.L. y Smith J.C., *Reducción de tamaño* de *Operaciones básicas de ingeniería química*, 1ra ed.,Reverté, vol. 2, Barcelona, España (1981).

Millar D.B., *Production of soybean protein isolate of improved purity*, Canadá, US 4.296.026, Int. Cl. A23J, US Cl. 260, 426, 22 de setiembre (1980) Disponible al 07/06/2016 en: https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US4296026.pdf

Newkirk R., *Soybean Feed Industry Guide*, Canadian International Grains Institute, 1ra ed., Winnipeg, Canadá (2010). Disponible al 07/06/2016 en: http://cigi.ca/wp-content/uploads/2011/12/2010-Soybean-Feed-Industry-Guide.pdf

Paulsen P.V., *Isolated soy protein usage in beverages* de *Functional and Speciality Beverage Technology*, 1ra ed., Wood Head Pub., pp 318-345, Cambridge, Reino Unido (2009). Disponible al 07/06/2016 en: www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845693428500132

SAGPYA, Resolución 317/99, *NORMA XIX: Subproductos de oleaginosos*, Buenos Aires, Argentina (1999) Disponible al 07/06/2016 en: http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/55000-59999/59599/norma.htm

ZekiBerk, *Isolated Soybean Protein* de *Technology of production of edible flours and protein products from soybeans*, ISBN 92-5-103118-5, en línea, FAO Agr. Serv. Bul., nº 97, Haifa, Israel (1992). Disponible al 07/06/2016 en: http://www.fao.org/docrep/t0532E/t0532e07.htm

EL CONTROL DE LOS HORMIGONES RECICLADOS USADOS COMO AGREGADOS EN NUEVOS HORMIGONES DE CEMENTO PORTLAND. MÉTODO NORMA IRAM 1674.

Autor: Andrea S. Pereyra,Tutor: Fabián A. Avid.

UTN Universidad Tecnológica Nacional GIICMA Facultad Regional Concordia, Concordia, E.R., ARGENTINAandreapereyra.utn@gmail.com, academica@frcon.utn.edu.ar

RESUMEN

El cuidado del ambiente ante la abundante cantidad de residuos de hormigón que se generan de las estructuras demolidas obliga a su reutilización como material de construcción. La durabilidad de los hormigones con agregados reciclados debería ajustarse a los proyectos de vida útil de las estructuras. Si bien existen suficientes experiencias del comportamiento resistente de estos hormigones; la durabilidad de los mismos no se ha estudiado con la profundidad que se merece.Muchos de los problemas están asociados a los componentes originales del hormigón de demolición, la antigüedad de la estructura demolida, al cambio del tipo de estructura y al contenido de cemento del nuevo hormigón.En este trabajo se estudian dos tipos de agregados provenientes de la demolición de hormigones reciclados, utilizados como agregado fino.Los agregados son de origen basáltico y de rodados del Río Uruguay, realizándose una dosificación con el primero y dos con el segundo.
Se utilizó el método acelerado de la barra de mortero norma IRAM 1674:1997, evidenciando el potencial remanente de reacción de los agregados reciclados, teniendo en cuenta algunas consideraciones que no deberían ser descuidadas a fin de asegurar la durabilidad de los hormigones que se elaboran con este tipo de agregados.

INTRODUCCIÓN

En la construcción es cada día mayor la presión, impulsando el reciclaje de los residuos, tanto los derivados de su propia actividad, como los procedentes de otros sectores. La ventaja más destacada de este reciclaje es la solución, a un mismo tiempo, de la problemáticaoriginada por la gran cantidad de residuos que se destinan a vertedero sin aprovechamiento, así como la obtención de una nueva materia prima, con lo que se reduce la cantidad de recursos naturales primarios a extraer.
En el reciclaje de materiales en la construcción, los áridos reciclados son el mayor componente, derivado de los grandes volúmenes de residuos de construcción y demolición que su utilización podría eliminar.
En algunos países la generación de residuos anual es de una tonelada por habitante, 80% de ellos se disponen en vertederos. Los valores de reciclaje medios europeos llegan a tasas del 40%.
En la Argentina, a pesar de la experiencia desarrollada hasta el presente, no hay marco normativo específico para este tipo de áridos, solo hay iniciativas particulares y experiencias puntuales cuyo objetivo ha sido fomentar la utilización de los áridos reciclados.
El árido reciclado todavía genera desconfianza y necesita un control más amplio para garantizar su conformidad en las distintas aplicaciones donde se lo utiliza.
Para obtener un árido reciclado apto, es necesario procesar adecuadamente los residuos y realizar además un correcto control de los materiales de entrada a la planta elaboradora de hormigón. Adicionalmente, es imprescindible el desarrollo de técnicas adecuadas de procesamiento para garantizar un material de buena calidad.
El hormigón es un material heterogéneo que utiliza en su composición agregados de diferente procedencia y características y está sometido a la influencia del ambiente en donde está emplazada la obra. Previa a la aplicación, es necesario evaluar el origen del hormigón demolido para prevenir situaciones de deterioro prematuro como consecuencia de su composición y estado

o sanidad. [1, 2] Estos conceptos deben ser tenidos en cuenta con materiales reciclados para no descuidar la importancia de la durabilidad del hormigón, es decir conservar las propiedades iniciales en el tiempo para las que fue proyectado y así asegurar su vida útil.[3, 4]
El deterioro conlleva tener que invertir presupuesto antes de lo esperado en reparaciones, reemplazando partes o toda la obra, disminuyendo el crédito atribuido al reciclado de materiales de construcción como el hormigón.
La explotación de los depósitos de agregados naturales han cambiado el paisaje al ser deprimido en muchas áreas, generando serios problemas de impacto ambiental, resultando los agregados reciclados una alternativa válida para la producción de hormigón, teniendo en cuenta que sus características generalmente cumplen en su mayoría con las normas de agregados y las resistencias especificadas. Sus propiedades específicas son distintas al agregado natural extraído de un río o cantera, por lo que pueden tener algunas que deben controlarse; su origen implica una mayor variedad en la producción, es decir, sumar al agregado natural la fabricación del reciclado. [5]
La elaboración de agregados de hormigón reciclado es bastante simple, ya que la maquinaria es similar a la utilizada para producir el agregado natural y se pueden lograr hormigones de uso habitual. Poseen mayor absorción y polvo, por lo que es necesario aplicar recomendaciones como la necesidad de lavarlos previamente y utilizarlos en estado saturado superficie seca para minimizar los problemas en absorción de este material en las dosificaciones.[6, 7]
Las estructuras de hormigón pueden sufrir diferentes patologías, una de ellas es la RAS que se halla vinculada al uso de agregados deletéreos que reaccionan con los álcalis contenidos en el hormigón de cemento portland en presencia de humedad, causando inconvenientes técnicos y económicos en las obras afectadas, que ponen en peligro vidas humanas o causan grandes gastos de reparación.
Los hormigones reciclados afectados por RAS o que tienen en su composición agregados potencialmente reactivos, pueden desarrollar la reacción en los nuevos hormigones, ya sea por la reactividad remanente en el primer caso o por haber cambiado las condiciones de las mezclas, mayor contenido de álcalis y/o de exposición de las estructuras en ambientes con humedad. [8]
En este trabajo se analiza el comportamiento de agregados reciclados en su valoración de la probabilidad de desarrollo de la RAS, utilizando el método de la Norma IRAM 1674:97, para poder decir si los agregados obtenidos de la trituración de hormigones de cemento portland pueden ser utilizados o no, sin previas metodologías para evitar o minimizar dicha reacción.

METODOLOGÍA

En laelaboración de las barras de mortero para el estudio del desarrollo de la RAS (Norma IRAM 1674:1997), se utilizaron agregados finos obtenidos de la trituración de hormigones compuestos por agregado grueso de basalto en un caso y de canto rodado (gravas) en el otro, y en ambos agregado fino silicio, materiales potencialmente reactivos frente a la RAS, que formaban parte de estructuras en altura (edificios). [9,10] Ver Tabla 1.

Tabla 1 – Características de origen de los hormigones reciclados

Hormigón Reciclado	Fino	Grueso	
B1	Arena Silícea	Basalto	FINO: Los agregados finos son silíceos, siendo el cuarzo el mineral mayoritario, con cantidades menores de ópalo y calcedonia. En conjunto, los polimorfos de sílice (cuarzo, ópalo y calcedonia) componen entre 85% y 95% de las muestras. El resto está integrado por clastos líticos de basalto y arenisca, y cantidades menores de feldespato, magnetita y otros minerales opacos. GRUESOS: El basalto en función de las características observadas se puede clasificar como un Basalto tholeitico, hipocristalino, pero con una muy baja proporción de vidrio volcánico alterado (inferior al 5- 7%). La alteración total del vidrio y parcial de los microfenocristalesa argilominerales (posiblemente esmectitay/o illita) sugiere la presencia de una alteración argílicade tipo leve. Los Canto Rodados (gravas), si bien predominantemente silíceos, muestran una diferenciación marcada en su composición mineralógica. El ópalo (20-40%) y la calcedonia (15-25%) constituyen la fracción mayoritaria con respecto al cuarzo, y los clastos líticos de arenisca se ubican en proporciones superiores al 10%.
CR1	Arena Silícea	Canto Rodado 1	
CR2	Arena Silícea	Canto Rodado 2	

El agregado obtenido en la trituración, es de textura áspera y partículas redondeadas (trituración a martillo). Tamaño de las partículas del agregado, pasa Tamiz N° 4- abertura 4,75 mm. (Requisito operativo de la Norma IRAM 1674:97).
Analizando las propiedades físicas que poseen los agregados de hormigón reciclado respecto de los naturales, se destaca la composición del clasto, pues una parte es roca original y otra parte variable es mortero, que provoca una notable diferencia de absorción de agua, la cual llega a superar, en ocasiones, varias veces el valor correspondiente para el agregado grueso natural. Ver Tabla 2.
La explicación de este fenómeno es que estos clastos están compuestos por partículas pétreas con mortero adherido a la superficie y también partículas solo de mortero y/o partículas pétreas, en este nivel de trituración.
Las propiedades del morteroen estado fresco se mantuvieron en un entorno pequeño con respecto a los elaborados con agregado fino natural; en la variable de la trabajabilidad. Se consideróentonces al material triturado como un agregado natural.

Tabla 2 – Promedio de absorciones de agregados del Río Uruguay

AGREGADO	ABSORCIÓN (%)
Arena Silícea	0,39
Canto Rodado	0,98
Basalto	1,40
Agregado Triturado	2,77-4,17

RESULTADOS

En las figuras 1,2 y 3 se grafica el desarrollo de la expansión por RAS de estos hormigones reciclados, siguiendo la metodología de la Norma IRAM 1674:1997.

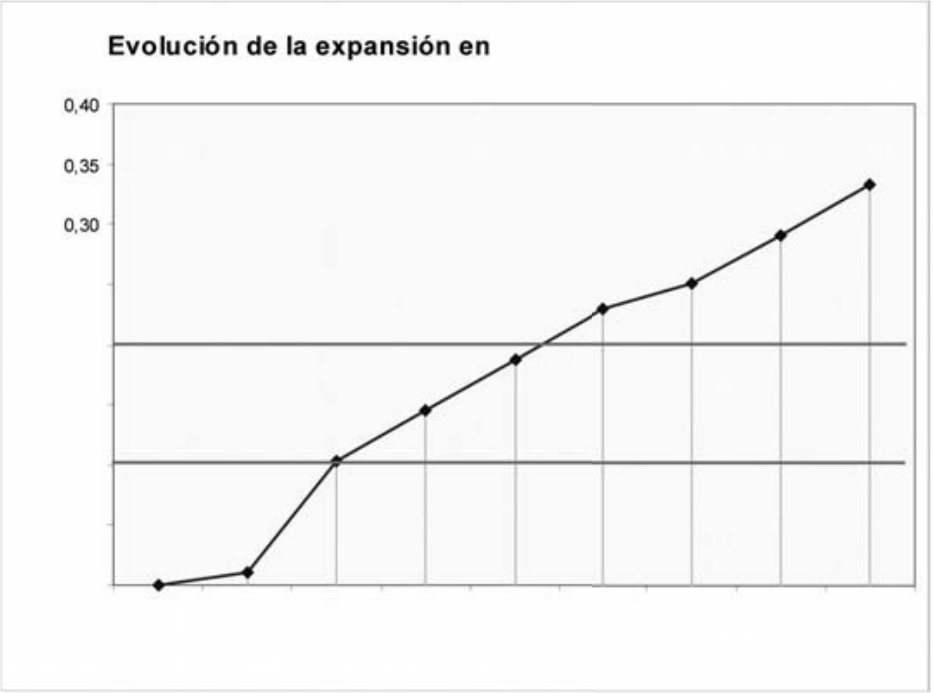


Figura 1 – Reciclado B1

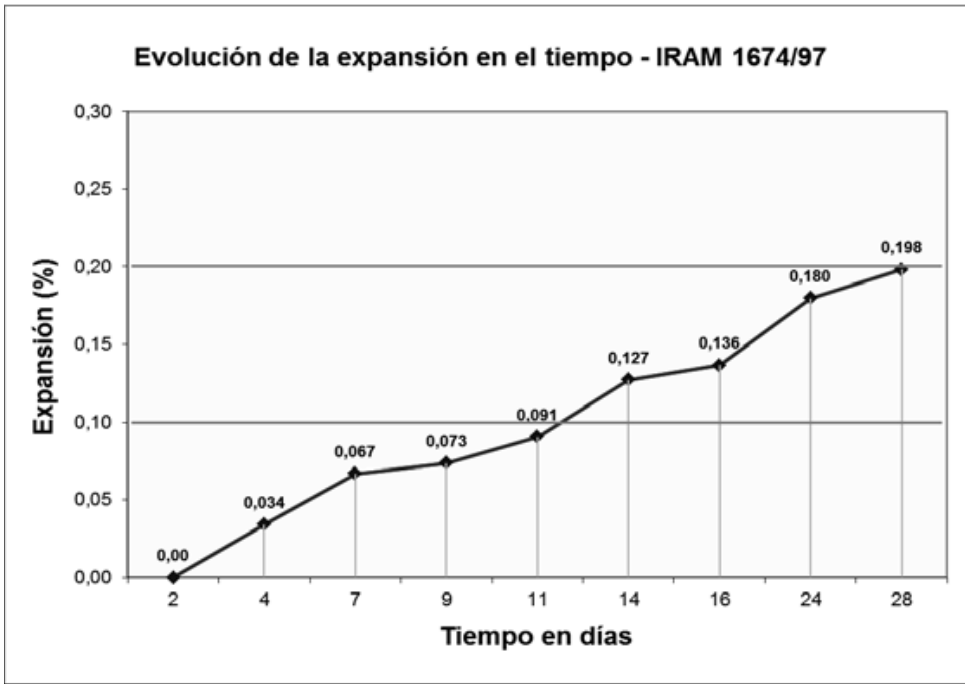


Figura 2 – Reciclado CR1

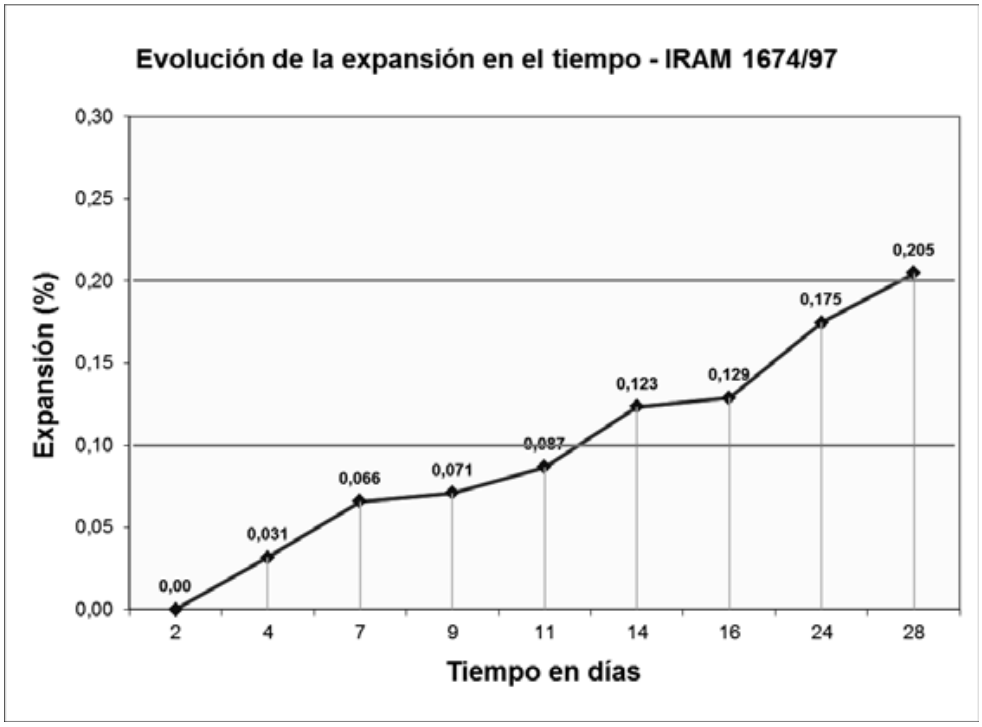


Figura 3 – Reciclado CR2

Las pendientes de las curvas son las características de las que se obtienen con los agregados normales.
En las figuras 4 y 5 se observan a ojo desnudo las fisuras en las barras del ensayo y por microscopia electrónica los geles en forma de roseta de la reacción álcali sílice.

Figura 4: Fisuración en la barra de mortero

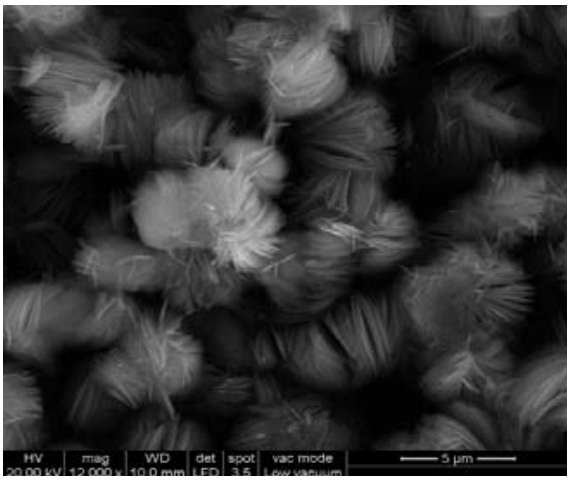


Figura 5: Geles en roseta SEM (M B1)

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos corroboran que estos materiales reciclados manifiestan la reacción álcali sílice en el método acelerado de la Norma IRAM 1674:97.
Los valores obtenidos en el caso del triturado con basalto (B1) son similares a los valores más bajos medidos en basaltos de la región (Valores de expansión de los basaltos 0,3 a 0,7 de la región con la Norma IRAM 1674:97). [9]

En el caso de los cantos rodados (CR1 y CR2) los valores medidos son correspondientes con los mayores medidos en los cantos rodados. (Valores de expansión de los cantos rodados 0,03 a 0,13 de la región con la Norma IRAM 1674:97). En este caso la trituración de los cantos rodados del hormigón reciclado (mayor superficie expuesta dentro del hormigón) sumaría a la expansión remanente. [10]
En ambos casos hay que tener en cuenta que en las mezclas con agregados de hormigón reciclado se incorporan nuevos volúmenes de álcalis con el cemento.

CONCLUSIONES

En presencia de agregados potencialmente reactivos en los hormigones originales, los hormigones reciclados pueden desarrollar la RAS, teniendo en cuenta que se renueva la cantidad de álcalis de alta solubilidad aportado por el nuevo contenido de cemento.
Es necesario conocer el potencial deletéreo remanente del hormigón reciclado o de los agregados que contiene previo al uso en nuevos hormigones.
En el caso de los hormigones triturados estudiados se debe considerar que eran de estructuras de hormigón verticales (edificios en altura) en las que falta generalmente la humedad necesaria para desarrollar la reacción álcali sílice.
Teniendo en cuenta lo anterior, cuando se usen hormigones triturados como agregados para hormigones, se los debería considerar como nuevos agregados y estudiarlos como tales.
En el caso de la RAS, empezar por considerar el cambio de destino del material en lo que respecta a la presencia de humedad constante (desde estructuras aéreas a pavimentos), esto es fundamental pues generalmente estos materiales son reciclados en pavimentos por la conveniencia del alto porcentaje que se puede reciclar.

REFERENCIAS

[1] Grupo Español del Hormigón. Asociación Técnica Española de Pretensado. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. "Demolición y Reutilización de Estructuras de Hormigón". Madrid, 1997.
[2] Ravindra K., Dhir, Neil A.,Henderson, Mukesh C., Limbachiya "Use of Recycled Concrete Aggregate". Reino Unido, 1998.
[3] Erik K. Laurítzen. RILEM Proceedings 23. "Demolition and Reuse of Concrete and Masonry". Dinamarca, 1993.
[4] T. C. Hansen. RILEM Report 6. "Recyc1ing of Demolished Concrete and Masonn/'. 1992.
[5] Di Maio, A.A., Gutiérrez F., Traversa, L.P., "Comportamiento físico mecánico de hormigones elaborados con agregados reciclados". *14ª Reunión Técnica Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Tomo II.* Olavarría. pp. 37-44. (2001).
[6] Zega C. Di Maio, A.A. "Influencia de las características de los agregados reciclados en la elaboración de hormigones". *XV Reunión Técnica y Seminario de Hormigones Especiales. A.A.T.H*. Santa Fe. Editado en CD. (2003).
[7] Di Maio, A.A., Zega, C., Taus V., Traversa, L.P. "Durability of recycled concretes".*Proceeding XV Edition of Congress "Comportarea in situ a constructiilor".* Bucarest, Rumania, pp. 31-37. 2004.
[8] Sota J. D., Falcone D., Batic O.R . "Hormigones con agregados de hormigón reciclado afectado por RAS". Memorias. *16ª Reunión Técnica Prof. Agrim. Antonino Bonforte y 1° Concurso Nacional*, Mendoza; Argentina 8 al 10 de Noviembre de 2006. pp 7-14.
[9] F. A. Avid, J.M. Cosentino, G. Do Santos, J.D. Sota. "Paragénesis y alteraciones en basaltos usados en hormigones para grandes obras". XII Cong. Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción CONPAT-Colombia-2013
[10] Cosentino J., Avid F., Machado P., Saad E., Sota J.D. Estudio de los Aridos aluvionales en explotación de La Provincia De Entre Rios, Frente A La Ras. Estudios Interlaboratorios. 17 Rt AATH. Córdoba. Octubre 2008

ENSEÑANZA DE PROCESOS DE OPTIMIZACIÓN EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL A TRAVÉS DEL USO DE OBJETOS DE APRENDIZAJE EN EL CAMPO DE LA INGENIERIA CIVIL

Autor: Silvana A. Gudiño
gg.silvana@hotmail.com

Tutor: Javier Fornari
javier.fornari@frra.utn.edu.ar

Departamento Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica Nacional - F.R. Rafaela
Acuña 449, (2300) Rafaela, Santa Fe

Resumen

El objetivo del presente trabajo es proponer la utilización de instrumentos tecnológicos para la generación de Objetos de Aprendizaje (OA) en el proceso de enseñanza-aprendizaje, con el fin de capturar el conocimiento generado en el uso y aplicación de herramientas de software para la solución de problemas de optimización en el diseño estructural.

Con este propósito se creó un OA, el cual constituye una porción de un conjunto de OA orientados a la enseñanza del diseño estructural en ingeniería civil, en función del uso de software específicos con el fin de generar a futuro un Repositorio de Objetos de Aprendizaje (ROA), aplicación que facilita el almacenamiento, búsqueda, uso y reutilización de los mismos. Se siguió la metodología AODDEI **(**Análisis, Obtención, Diseño, Desarrollo, Evaluación, Implementación) y para la fase del desarrollo, se utilizó el software *eXeLearning*, herramienta de código abierto creada con el fin de ayudar a los docentes en la generación y publicación de contenidos web.

La confección y utilización de ROA digitales cambian la forma en que buscamos, encontramos y usamos el conocimiento en cualquier lugar y en cualquier momento. Por este motivo, la creación de OA con herramientas tecnológicas ayuda a potenciar la educación del alumno de ingeniería civil, y en este caso en particular, en el uso de técnicas de diseño y optimización estructural.

Introducción

A nivel mundial, los sistemas educativos se encuentran en plena transformación frente al desafío de incorporar las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), en las prácticas y cultura de docentes y estudiantes. Implica, además del uso de equipamiento y herramientas tecnológicas, su integración pedagógica. Según la UNESCO [1], la importancia de las TIC radica en su contribución al acceso universal a la educación, la igualdad en la instrucción, el ejercicio de la enseñanza y aprendizaje de calidad, y el desarrollo profesional de los docentes, así como a la gestión, dirección y administración más eficientes del sistema educativo.

Una propuesta, con elevado potencial de desarrollo, que se está manejando internacionalmente en el aprendizaje en línea, y, por lo tanto, enmarcada dentro del fenómeno de las TIC, es la organización de contenido educativo en forma de OA.

Según Chiappe Laverde [2], “un objeto de aprendizaje se entiende como una entidad digital, autocontenible y reutilizable, con un claro propósito educativo, constituido por al menos tres componentes internos editables: contenidos, actividades de aprendizaje y elementos de contextualización. A manera de complemento, los objetos de aprendizaje han de tener una estructura (externa) de información que facilite su identificación, almacenamiento y recuperación: los metadatos.” Esta constitución de un OA nos da el fundamento necesario para poder capturar el conocimiento generado en el uso de herramientas informáticas específicas dentro del proyecto “Modelado y diseño de cubiertas de naves industriales mediante técnicas de “form-finding” y algoritmos de inteligencia computacional”.

La secuencia general del OA se realiza en forma genérica mediante el uso específico de un modelo estándar denominado Referencia de Objeto de Contenido Compartible (SCORM) de forma de asegurar la interoperabilidad [3]. En este trabajo se utilizó el software *eXeLearning* [4], herramienta de código abierto que facilita la creación de contenidos educativos sin necesidad de conocimientos previos.

Por otro lado, los ROA son un elemento importante en la gestión, publicación, localización y recuperación de los recursos educativos. En los últimos tiempos, la tarea de encontrar y recomendar una lista de objetos de aprendizaje que se adapte a las necesidades y requerimientos del usuario específico es un área de investigación muy activa.

El plan de estudios de la carrera Ingeniería Civil pone un especial énfasis en la aplicación de nuevas tecnologías, nuevas formas de resolución de problemas junto con nuevos tipos de materiales y en especial, haciendo foco en la eficiencia energética. Conforme a esto, y comprendiendo al diseño estructural como el desarrollo del proyecto de una estructura, con el fin de lograr satisfacer los requerimientos de resistencia y estabilidad de la propuesta arquitectónica, el proceso de optimización estructural es crucial. De aquí la relevancia del presente trabajo, cuyo objetivo es proponer la utilización de instrumentos tecnológicos para la generación de OA en el proceso de enseñanza-aprendizaje de herramientas de software para la solución de problemas de diseño estructural.

Metodología

La metodología AODDEI [5] consta de 5 fases, las cuales se describen a continuación, siguiendo el proceso de generación de un OA, cuyo objetivo es que el alumno de ingeniería civil aprenda el uso de las herramientas básicas para diseño estructural con el software de programación visual *Grasshopper* [6] que funciona sobre la plataforma de trabajo *Rinocheros* [7] en el entorno operativo de *Microsoft Windows*.

La Fase 1 consiste en la identificación de una necesidad de aprendizaje, dejando en claro qué se quiere enseñar y a quienes, la obtención del material didáctico y su digitalización. Se procedió al volcado de datos en la Tabla 1.

Tabla 1 – Planilla análisis del OA

Nombre del OA	Diseño estructural con *Grasshopper.*
Descripción del OA	Comprende: contenidos, actividades y evaluaciones necesarias para que el usuario adquiera conocimientos y habilidades para descargar e instalar el programa *Rhinoceros* y el *plug-in Grasshopper*, y utilizar las herramientas básicas del software *Grasshopper.*
Nivel escolar al que va dirigido el OA	Universitario.
Perfil del alumno al cual va dirigido el OA (necesidad de aprendizaje)	Alumno de Ingeniería Civil, desde nivel I hasta IV. Materias cursadas requeridas: Fundamentos de Informática, Física, Estabilidad, Resistencia de Materiales, Análisis Estructura I, Análisis Estructural II.
Objetivo del aprendizaje	Que el alumno aprenda el uso de las herramientas básicas de diseño estructural con el software *Grasshopper.*
Granularidad	1-Unidad: Diseño de estructuras civiles. 1.1-Tema: Metodología para el diseño estructural con optimización.1.1.1-Subtema: Uso de herramientas de software para diseño estructural.

En la Fase 2 se realiza el diseño del OA mediante un esquema general, con el fin de dejar en claro cómo se va a realizar el proceso enseñanza-aprendizaje, y relacionando objetivo, contenido informativo, actividades y evaluación del aprendizaje. Esta etapa incluye al metadato, el cual influye en la capacidad de reciclado del OA. Los metadatos, descriptos como datos que representan a otros datos, se utilizan para la definición de los diferentes objetos. El metadato

condensa la información básica acerca de los datos a utilizar, y se crean de forma de introducir cualquier información que se considere relevante o necesaria para ayudar a especificar un dato. En general se utilizan metaetiquetas (*metatags*) para indicar el inicio y final de cada dato representado.

El objetivo (extraído de la Tabla 1) es que el alumno aprenda el uso de las herramientas básicas para diseño estructural con el software *Grasshopper.*

Para una mejor organización del contenido, las actividades y la evaluación del aprendizaje se elaboró una planilla, según se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2 – Planilla diseño del OA

Contenido Informativo						
	No.	Propósito de la a				
Texto introductorio	1	Texto Introductorio con del OA				
https://www.rhino3d.com/es/download	3	Que el alumno descarg Rhinoceros				
[illegible]	[illegible]	[illegible]				

En la Fase 3 se realiza el desarrollo del OA en base a lo planificado en la etapa 2 (diseño). A través de herramientas computacionales se genera el OA, aplicando para ello *eXeLearning* que permite introducir contenidos con texto, imágenes, videos, audios, animaciones, recursos web, entre otros, y actividades de aprendizaje, como verdadero/falso, selección múltiple, opción múltiple, completar huecos, etc., contando cada actividad con retroalimentación, mostrando respuestas correctas e incorrectas al usuario, y el puntaje obtenido. Luego se procede a su almacenamiento en ROA temporarios.

La Figura 1 muestra la interfaz del programa y la página *Inicio* generada a modo de presentación del OA. En la porción izquierda de la ventana gráfica, se ha creado el Índice del OA, secuencia que el alumno deberá seguir para cumplimentar las etapas de su proceso de aprendizaje. En la parte inferior
del Índice, se encuentran los módulos de información (*iDevices*), herramientas o bloques que se insertan en el OA, posibilitando el desarrollo del mismo.

Fig. 1 – Interfaz de *eXeLearning*. Página Inicio del OA generado

A continuación, con el fin de que ilustrar la utilización de los *iDevices*, se describirá la secuencia de desarrollo de una de las actividades, correspondiente a la página: Uso herramientas básicas - Etapa 1 del OA.

En la primera parte describimos a través de una introducción general lo que se verá en las etapas de actividades de aprendizaje correspondientes a la misma (Figura 2).

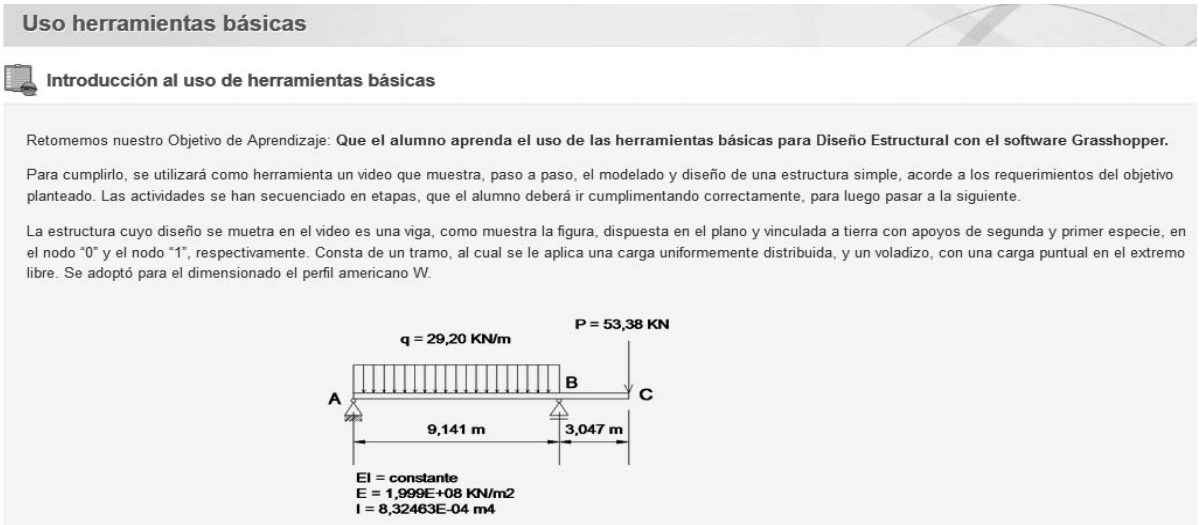


Fig. 2 – Página: Uso herramientas Básicas

El primer *iDevice* utilizado es *Actividades*, cuyo entorno es similar al de un procesador de texto, y en el cual se especificaron los objetivos de aprendizaje parciales para esta sección (Figura 3).

Es posible editar los *iDevices* en cualquier momento, para hacer los ajustes necesarios a los fines de perfeccionar el OA, o reciclarlo.

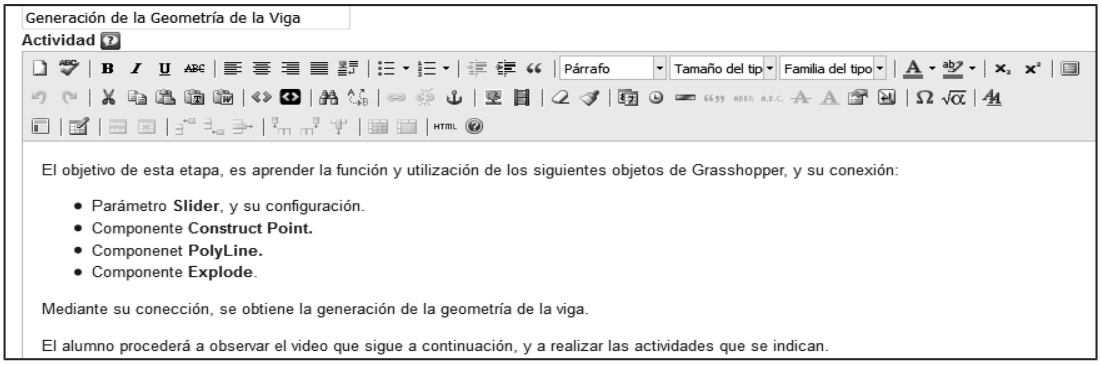


Fig. 3 – iDevice Actividades (edición)

Luego, mediante el *iDevice* Verdadero/falso, se realiza el armado de las instrucciones, preguntas y retroalimentación, tal como se puede observar en la Figura 4, para que el alumno realice la actividad correspondiente a la primera etapa.

Fig. 4 – iDevice Verdadero/falso (edición)

En el siguiente paso, Figura 5, se puede visualizar cómo el alumno comprenderá la actividad a realizar, luego de terminada la edición de la misma por parte del autor del OA. Cuenta con una sugerencia, a la que el alumno puede recurrir como ayuda antes de realizar la actividad correspondiente.

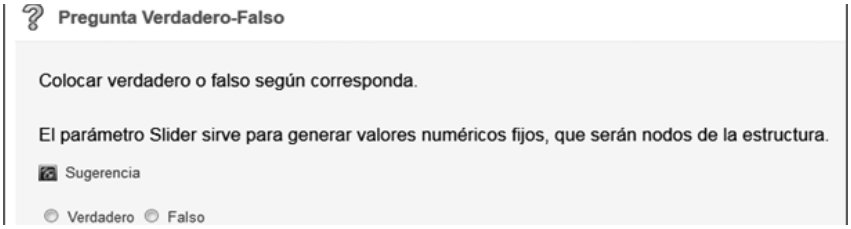


Fig. 5 – Actividad Verdadero/falso (visualización)

En la Figura 6 se muestra la captura de pantalla de cómo el alumno visualizará la pregunta luego de resolver la actividad. En este caso se puede observar que respondió incorrecto por lo que aparece debajo una sugerencia como ayuda para que luego el estudiante pueda rehacer la actividad.

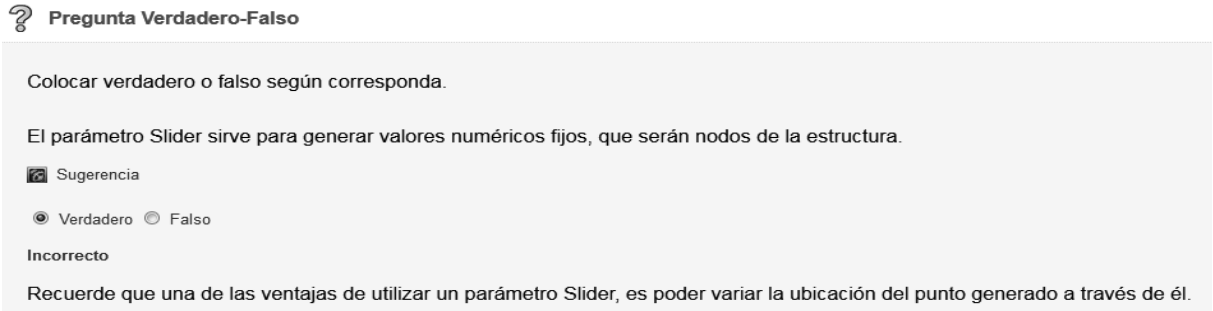


Figura 6 – Actividad Verdadero/falso (resolución)

La Fase 4 consiste en la Evaluación del OA, considerando aspectos didácticos, curriculares, técnicos, estéticos y funcionales, entre otros, realizando los ajustes necesarios para su optimización. Luego se procede al almacenamiento en un repositorio permanente.

La Implantación de un OA en un Sistema de Gestión de Aprendizaje (SGA) comprende la Fase 5. Un SGA es una aplicación residente en un servidor de páginas Web en el que se desarrollan acciones formativas. La integración del OA al mismo permite su aprovechamiento en todo su potencial.

Conclusión

La organización de contenido educativo en forma de OA, es una propuesta con elevado potencial de desarrollo que se está manejando internacionalmente en el aprendizaje en línea. La utilización de un modelo estándar o SCORM permite generar OA fácilmente adaptables a distintas plataformas de aprendizaje.

La confección y utilización de Repositorios de Objetos de Aprendizaje digitales cambian la forma en que buscamos, encontramos y usamos el conocimiento en cualquier lugar y en cualquier momento. Por este motivo, el uso de técnicas de diseño y optimización estructural mediante la creación de OA con herramientas tecnológicas ayuda a potenciar la educación del alumno de Ingeniería Civil.

Referencias

[1]. UNESCO. (2016). UNESCO: Tema: Las TIC en la educación. Disponible en: http://www.unesco.org/new/es/unesco/themes/icts/
[2]. Chiappe Laverde, A. (2009). Acerca de lo pedagógico en los Onjetos de Aprendizaje. Reflexiones Conceptuales hacia la construcción de su estructura teórica. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07052009000100016&lng=en&nrm=iso&ignore=.html
[3]. de-Marcos L., Barchinoj R., Martinez J., Gutierrez J.A., (2009), New method for domain independent curriculum sequencing: A case study in a web engineering master program, Int. J. Eng. Educ. 25, 632–645. Disponible en: https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_profesores/prof23288/publicaciones/deMarcos_s3_ijee2193.pdf
[4]. eXeLearning. (2016). eXeLearning.net. Disponible en: http://www.exelearning.net/
[5]. Osorio Urrutia, B.; Muñoz Arteaga, J.; Álvarez Rodríguez, F.; Arévalo Mercado, C. (2008). Colombia Aprende. La red de Conocimientos. Disponible en: http://www.colombiaaprende.edu.co/html/mediateca/1607/articles-172721_archivo.pdf
[6]. Grasshopper (Version 0.9.0076). Grasshopper: Algorithmic modeling for Rhino. Disponible en: http://www.grasshopper3d.com/
[7]. Rhinoceros (Version 5.0). Rhinoceros. Disponible en: http://www.rhino3d.com/

DISPOSITIVO PARA UNA MEDICIÓN DIRECTA DE LA PRESIÓN DEL GEL DE RAS.

Autor: Alberto J. Palacio, Tutor: Jorge D. Sota

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Concordia – Grupo GIICMA.
Salta 277 – Concordia, Entre Ríos. palacioalberto27@hotmail.com - jdsota@gmail.com

Resumen

El producto de la reacción álcali-sílice es un gel (membrana osmótica), que origina tensiones de tracción que llevan al desarrollo de fisuras en el hormigón. En este trabajo se mide la presión del gel álcali-sílice en probetas de morteros de 2,5x2,5x25 cm con un dispositivo desarrollado en el laboratorio, comparando la reactividad medida en los mismos morteros con el método IRAM 1674 con el fin de establecer la correspondencia entre los dos métodos con resultados experimentales. En las etapas de medida del método con el nuevo equipamiento la probeta está sumergida también en una solución 1 N de NaOH a 80° C. En las primeras experiencias se midieron las presiones de hinchamiento de dos muestras: una altamente reactiva y una no reactiva calificadas previamente con el método IRAM 1674. Con este dispositivo, que guarda muy buena correlación con el método normalizado, se acortan los tiempos de medición y se optimiza la visualización de los efectos debido a la medición directa de las variables.

Introducción

La reacción álcali-sílice es una patología deletérea en los hormigones de cemento portland. Se produce en el hormigón entre los álcalis presentes en el hormigón (iones Na^+, K^+) en presencia de $(OH)_2Ca$ y la sílice amorfa o criptocristalina o cuarzo tensionado de los agregados con alta humedad, para formar el gel álcali-sílice (GAS) [1,2] . El gel una vez formado absorbe agua de la solución de los poros, aumentando el volumen, generando presión expansiva (tracción) sobre el hormigón que lo rodea, causando fisuras y deterioro [3].

Varias hipótesis se conocen sobre esta acción. Una manera sencilla de explicarla es que la expansión y el fisuramiento del hormigón son simplemente debido al crecimiento de zonas afectadas y/o agregados, causado por la presión hidrostática del gel existente.

Alternativamente, la hipótesis de la presión unidireccional atribuye el agrietamiento a la expansión inducida por la absorción de agua por el gel durante el período de su formación cuando permanece suficientemente rígido para ejercer una presión unidireccional; finalmente, la hipótesis de presión osmótica postula que la pasta de cemento alrededor de una partícula reactiva actúa como membrana semipermeable, permitiendo que los hidróxidos alcalinos se difundan fuera de la membrana, pero evitando que los productos de reacción de silicato lo hagan, resultando en una acumulación de presión interna [2]. La última hipótesis es generalmente aceptada por muchos investigadores [3, 4].

El primer estudio que mide la presión del gel álcali sílice (PGAS) en el mortero lo llevó a cabo Pike en 1958 [5]. En ese estudio, una probeta cilíndrica de mortero se colocó en un recipiente de acero cerrado, la deformación del recipiente se midió por medidores sensibles de deformación, que fueron envueltos en espiral alrededor de la superficie exterior. En el estudio de Pike, las muestras fueron realizadas con un cemento de alto álcali, utilizando un agregado con un contenido del 6% de ópalo. Se midió una presión de alrededor de 2,76 MPa en 190 días. La desventaja de este método es que se debe realizar con un nuevo contenedor en cada prueba.

Un nuevo método fue desarrollado por Ferraris et. al. [6], que determina la PGAS entre 2 MPa y 9 MPa en cilindros de mortero con un marco de acero sumergido en un baño de agua de 50 °C. En este método, la temperatura del baño de agua afecta a las mediciones de presión. Sin embargo, la

estructura de acero en el baño de agua caliente expande más que el cilindro causando la compresión del mortero con pérdida de presión. Se utilizó un conjunto experimental idéntico por Kawamura y Iwahori [4] pero ellos pusieron su marco en una cámara húmeda a 38 °C y una humedad relativa del 95% midiendo la presión expansiva en condiciones de confinamiento.

Basándonos en estas investigaciones, y teniendo en cuenta la necesidad de sumar posibilidades de detectar y cuantificar la RAS, se desarrolló una metodología de ensayo usando las características de elaboración y curado de la norma IRAM 1674. [7, 8, 9]

Materiales y métodos

Los materiales de ensayo

Se estudiaron dos agregados, uno de origen basáltico y otro de rodados del Río Uruguay. El cemento usado fue el especificado en la Norma IRAM 1674. [10,11]

Dispositivos de prueba y moldes

Dispositivo de medición de presión del gel uniaxial. El mismo fue diseñado en base a la bibliografía y con las posibilidades de la Facultad de Ingeniería.

Descripción del equipo

El dispositivo de medición de PGAS consta de tres partes principales (Fig. 1), y estas son:
Una parte consistente en un marco metálico rígido entre dos planchas de acero, en el centro del mismo encontramos la guía y sostén de una celda de carga, regulada por tuercas de ajuste.

La segunda parte consta de recipientes independientes para contener el hidróxido de sodio y un baño de agua para una distribución uniforme del calor, la cubierta de acero inoxidable colocada en la superficie superior de la olla previene el escape de vapor y la pérdida de temperatura durante el período de prueba.

La última parte del dispositivo consta de la celda de carga y el indicador digital como la unidad de medición.

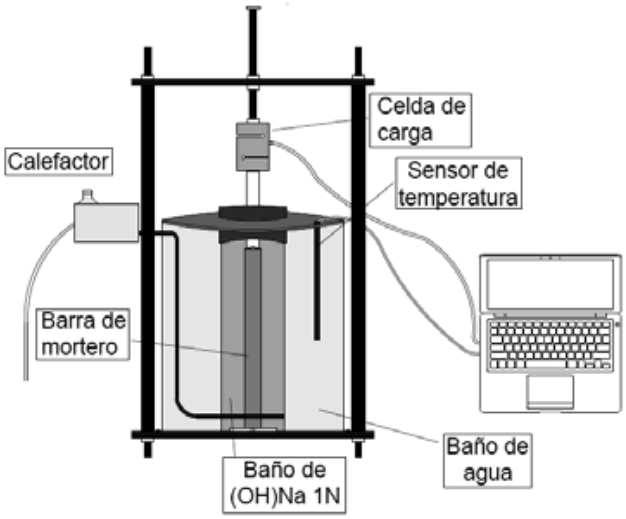


Figura 1- Dispositivo de medición

La capacidad de operación de la celda de carga "tipo" S es de 500 ± 0,5 kg, con la posibilidad de implementarla para la medición de la fuerza en compresión como en tracción. La fuerza expansiva generada por GAS fue transmitida a la celda de carga a través de un cojinete. El programa informático fue diseñado por los autores para leer y almacenar datos diarios (de presión y temperatura) desde el indicador digital utilizando una conexión USB. Antes de iniciar una prueba, todo el sistema se calibra con una celda de carga de referencia tarada. (Figuras 2 y 3).

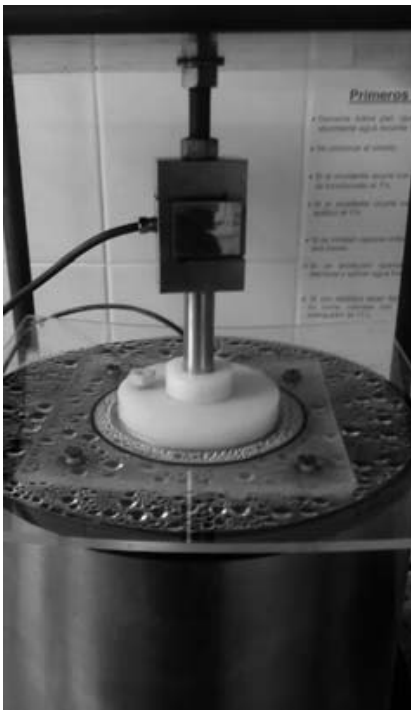


Figura 2 y 3 – Equipo PGAS

Moldes

En este estudio, se adoptó como probeta de ensayo la utilizada en la Norma IRAM 1674, para establecer una comparación entre la expansión medida por el método normalizado y la medida de la presión registrada en el nuevo equipo.

Método de ensayo

Método de prueba PGAS

Se procedió, según la metodología de la Norma IRAM 1674, con el llenado de tres moldes; dos para ensayar según la normativa mencionada y la tercera para ensayar con el nuevo dispositivo.

Luego del curado en agua a 80 °C por 24 horas las dos primeras barras se colocan en la solución de NaOH 1N en estufa a 80 °C, siguiendo las instrucciones de la Norma y la restante en el reactor con la celda de carga en las mismas condiciones.

Las lecturas se tomaron hasta la misma edad del ensayo en ambas experiencias.

Resultados y discusión

En los gráficos de las Figuras 4 y 5 se vuelcan los resultados obtenidos sobre el promedio de dos probetas ensayadas siguiendo la metodología de la Norma IRAM 1674.

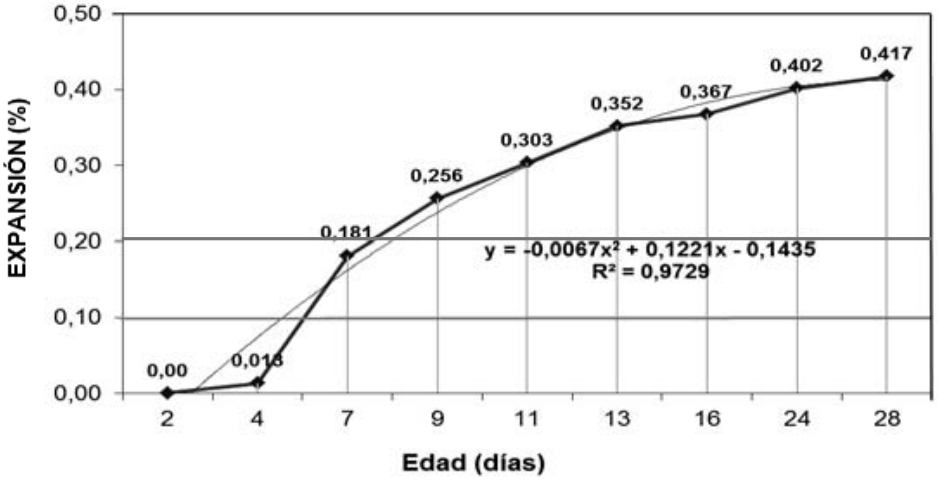


Figura 4 - Norma IRAM 1674 – Agregado Basáltico

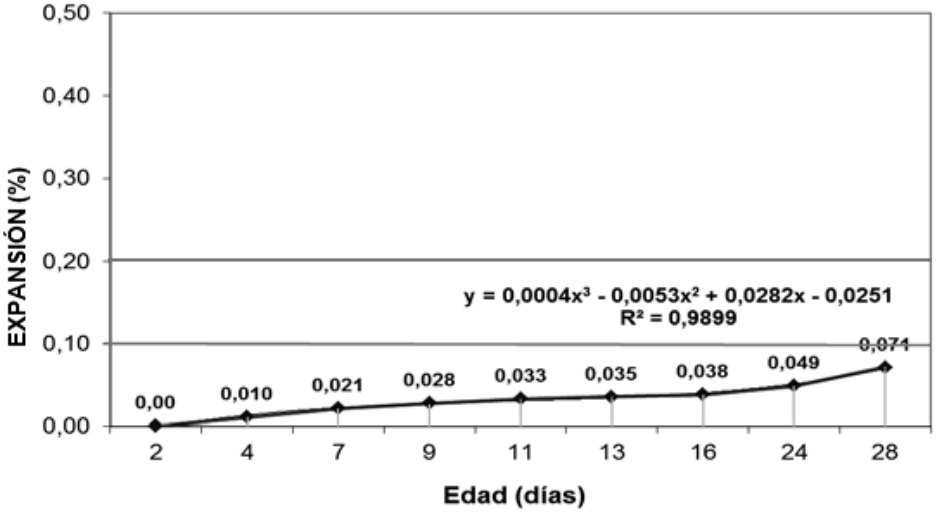


Figura 5 - Norma IRAM 1674 – Agregado Gravas del Rio Uruguay

Las lecturas se continuaron hasta los 28 días y se realizaron sobre un agregado reactivo según la Norma IRAM 1674 y uno que no mostraba reactividad. En los gráficos de las figuras 6 y 7 se observan los resultados obtenidos de la probeta colocada en el equipo que permitió medir la presión del gel de RAS.

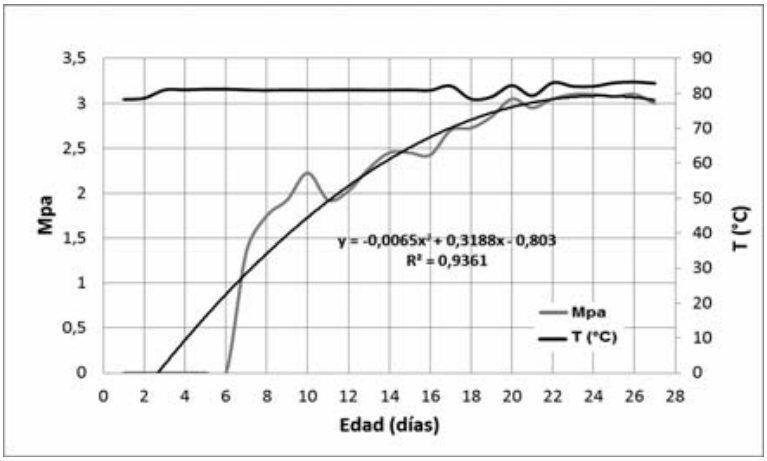


Figura 6 - Método de prueba PGAS – Agregado Basáltico

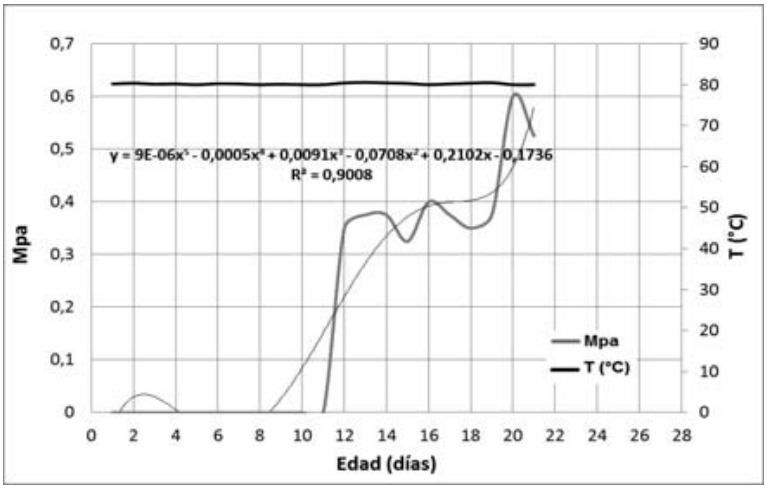


Figura 7 - Método de prueba PGAS – Agregado Grava del Río Uruguay

Las lecturas muestran la presión del gel del orden de 2,5 MPa para la muestra reactiva y del orden de 0,5 MPa para la no reactiva.

En las barras se observaron fisuras muy evidentes y numerosas para las del agregado reactivo e insignificantes para el que no lo es.

Finalmente, estas experiencias permiten contar con una posibilidad de medir en forma directa la presión del gel de la reacción álcali sílice.

Conclusiones

Estos resultados preliminares permiten hacer las siguientes consideraciones:

1) Es factible medir diferenciadamente la presión del gel de RAS en agregados inocuos y reactivos.
2) Si bien se usó como probeta la de la Norma 1674 y con el curado de esta metodología, se debería tener en cuenta que la presión del gel no es unidireccional. Teniendo en cuenta esto la forma de la probeta debería ser motivo de nuevas experiencias.
3) Con relación a la temperatura, en este caso se usó un control automático, independiente del sistema de medición de la presión, pero dicha variable puede ser integrada al sistema.
4) También con este equipo se puede estudiar las diferencias de afectación de la presión del gel de la RAS cuando se varía la relación agua/material cementicio (a/mc).
5) Finalmente se pueden estudiar hormigones con o sin armaduras.

Es propósito de los autores continuar con las variables mencionadas en estas consideraciones.

Referencias

[1] O.R.Batic, J.D. Sota. Durabilidad del Hormigon Estructural. Reacciones deletéreas internas Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón Argentina - ISBN: 987-99797-5-9 2001- pp 157-217. Reedición 2013.
[2] West G. Alkali-aggregate reaction in concrete roads and bridges.London: Thomas Telford; 1996.
[3] Strubble L, Diamod S. Unstable swelling behaviour of alkali–silica gels. Cement Concrete Res 1981;11:611-7.
[4] Kawamura M, Iwahori K. ASR gel composition and expansive pressure in mortars under restraint. Cem Concr Res 2004;26:47–56.

[5] Pike RG. Pressures developed in cement pastes and mortars by the alkali-aggregate reaction. Bull High Res Board 1958;171:33–4.
[6] Ferraris CF, Garboczi EJ, Davis FL, Clifton JR. Stress due to alkali–silica reactions in mortars. In: Chong KP, editor. Proceedings of the
4th materials engineering conference, Washington, DC, 1996. p. 1379–87.
[7] Instituto Argentino de Normalización. Norma IRAM 1674 – Agregados. Determinación de la Reactividad Alcalina Potencial. Método Acelerado de la Barra de Mortero. Argentina, 1997.
[8] Sota J., Falcone D., Batic, O.Reaccion Alcali Silice, una Patologia Interna del Hormigon. PATORREB 2009, 3er. Congreso de Patología y Rehabilitación de Edificios. Porto, Portugal, Marzo 2009.
[9] Falcone, D. D., Sota, J. D. y Batic,O.R., Discusión sobre Métodos para Evaluar Agregados Potencialmente Reactivos. 17 RT AATH. Córdoba. Octubre 2008
[10] F. A. Avid, J.M. Cosentino, J.D. Sota Paragénesis y alteraciones en basaltos usados en hormigones para grandes obras - XII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción CONPAT-Colombia-2013
[11] Cosentino J., Avid F., Machado P., Saad E., Sota J.D. Estudio de los Aridos Aluvionales en Explotación de la Pcia. de Entre Rios, frente a la RAS. Estudios Interlaboratorios. 17 RT AATH. Córdoba. Octubre 2008

RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND EN UNA ESTRUCTURA DETERMINADA POR MADUREZ

Autor: Darío M. Wendler, Tutor: Jorge D. Sota

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Concordia – Grupo GIICMA.
Salta 277 – Concordia, Entre Ríos. dariomartinw@gmail.com; jdsota@gmail.com

Resumen

En este trabajo se desarrolla un sistema de medida de la temperatura del hormigón en una estructura desde las primeras horas de su hidratación hasta los 28 días, con un equipo desarrollado en la Facultad.
El diseño del sistema incluye una serie de sensores de temperatura conectados a un microcontrolador. El mismo lee de los sensores las temperaturas a intervalos prefijados y los registra. Un programa ejecutado por una computadora de lectura permanente, los almacena en una interface, permitiendo su procesamiento.
En las experiencias se trabajó con un hormigón de 20 MPa de resistencia, con un cemento CPC40 según Norma IRAM 50000).
Previamente se realizan ensayos de resistencia en probetas cilíndricas para establecer la relación con las lecturas de temperaturas, procesadas, empleando las expresiones de Nurse-Saul y de Arrhenius.
Los resultados permitieron determinar la curva de madurez del hormigón estudiado y establecer el grado de madurez en cada una de las partes analizadas de la estructura, las cuales son las bases de fundación de la misma.
Palabras Clave: Madurez, hormigón, resistencia, edad, temperatura

Introducción

¿Qué es la madurez del hormigón?

El concepto de madurez utiliza el principio en que la resistencia del hormigón (y otras propiedades) está directamente relacionada con la edad y el desarrollo de su temperatura. A medida que pasa el tiempo, se produce la hidratación del cemento con la consecuente liberación de calor, lo que aumenta la temperatura interna del hormigón el avance en la hidratación del cemento. Los métodos de madurez proveen una aproximación relativamente simple para estimar de manera confiable la resistencia a compresión (y flexión) del hormigón a edad temprana (14 días o menos) en el sitio durante la construcción. El concepto de madurez, expresa que las muestra de hormigón que tengan la misma madurez, tendrán resistencias similares, independientemente de la combinación de tiempo y temperatura con la que se alcance la madurez.

¿Por qué utilizar los métodos de madurez?

Los métodos de madurez son utilizados como un indicador más confiable de la resistencia del hormigón en el sitio de la construcción, en vez de los ensayos a compresión de las probetas cilíndricas curadas en obra.
¿Por qué se dice que la estimación de resistencia con los métodos de madurez es más real que con probetas cilíndricas ensayadas a compresión (método tradicional)? Primeramente, cabe señalar que los volúmenes de hormigón intervinientes en las mediciones de madurez in situ son mucho mayores que el volumen de una probeta cilíndrica, por lo que el calor de hidratación generado en estos grandes volúmenes es mayor que el generado en una probeta cilíndrica, por lo que la tasa de ganancia de resistencia también es mayor. Como segundo punto, se debe considerar las condiciones de curado de las probetas, las cuales no suelen ser exactamente las mismas que las de los elementos estructurales analizados. Además, el método de madurez, de alguna manera, mide sobre el hormigón, con la condición real en que haya sido colado y compactado en el elemento estructural. Por otra parte, no es un ensayo destructivo.

Con los métodos de estimación de madurez la información es suministrada en tiempo real, dado que las mediciones de madurez son realizadas en el sitio en cualquier momento. Como resultado, se optimiza el flujo de trabajo en la construcción, y la programación de las actividades de construcción se pueden basar en una información de resistencia en el sitio más precisa.

Desarrollo

El método de madurez proporciona un medio simple y útil de estimar la ganancia de resistencia del hormigón a edades tempranas (generalmente menores de 14 días).
Este método reconoce el efecto combinado del tiempo y la temperatura, proporcionando una base para estimar el desarrollo de resistencia del hormigón "in situ" mediante el control de la temperatura y el tiempo. [1]

Los efectos del tiempo y la temperatura en el aumento de la resistencia del hormigón se cuantifican mediante una función de madurez, que es indicativa del nivel de resistencia desarrollado por el hormigón. Las dos funciones de madurez utilizadas para este propósito son la de Nurse-Saul y la de Arrhenius. [2]

La función de Nurse-Saul, desarrollada en la década del '50 y la más ampliamente aceptada para medir la madurez, es el producto acumulado de tiempo y temperatura (Ec. 1).

$$M(t) = \sum (T_a - T_o)\Delta t \qquad (1)$$

Donde:
M (t) = madurez (factor temperatura-tiempo) a la edad t, en °C.días o °C.horas,
Δt = intervalo de tiempo, en días u horas,
Ta = temperatura promedio del hormigón durante el intervalo Δt, en °C, y
To = temperatura de referencia, en °C.

La temperatura de referencia es la temperatura en que cesa la ganancia de resistencia del hormigón; por lo tanto, los períodos durante los cuales las temperaturas son iguales o menores a esta temperatura de referencia, no contribuyen al aumento de la resistencia. Generalmente, se utiliza un valor de -10 °C para la temperatura de referencia en la ecuación de Nurse-Saul.

La madurez también puede ser determinada mediante el método de Arrhenius, que considera la no linealidad en la tasa de hidratación del cemento. El método de Arrhenius produce un índice de madurez en términos de una "edad equivalente", que representa el tiempo de curado equivalente, a una temperatura de referencia, generalmente 20°C, requerida para producir una madurez igual a la alcanzada durante un periodo de curado a temperaturas diferentes a la temperatura de referencia (Ec. 2).

$$t_e = \sum e^{-Q\left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s}\right)} \Delta t \qquad (2)$$

Donde:
te = edad equivalente a una temperatura de referencia Ts, en días u horas,
Q = energía de activación dividida por la constante general de los gases, en K,
Ta = temperatura promedio del hormigón durante el intervalo Δt, en K,
Ts = temperatura de referencia, en K y

La ecuación de Arrhenius es una mejor representación de la función temperatura-tiempo que la ecuación de Nurse-Saul, cuando se espera una amplia variación en la temperatura del hormigón. Además, el enfoque de Nurse-Saul es limitado en función de asumir que la tasa de ganancia de resistencia es una función lineal. Sin embargo, la fórmula de Nurse-Saul es más ampliamente

utilizada, principalmente debido a su simplicidad. Ambas funciones de madurez se consideran en la Norma ASTM C 1074. [3]

Debido a que la madurez es dependiente sólo de la historia del tiempo y la temperatura del hormigón, los requisitos más básicos de equipo para determinar la madurez son un termómetro y un reloj. Sin embargo, con los años, se han desarrollado varios dispositivos de madurez que monitorean y registran automáticamente las temperaturas del hormigón en función del tiempo. Estos dispositivos se conectan a termocuplas embebidas en el hormigón y pueden computar la madurez por la ecuación de Nurse-Saul y la ecuación de Arrhenius, a intervalos definidos.[4]

En el caso del presente trabajo se ha desarrollado un prototipo de equipo de medición conjuntamente con un software, con el fin de desarrollar las experiencias. [5]

Metodología

Se desarrolló un equipamiento de medición y se complementó con el software que permitió manejar los datos obtenidos. El diseño del sistema incluye una serie de sensores de temperatura conectados a una minicomputadora, registrando además la temperatura sobre la superficie del hormigón (Figura 1). La misma lee de los sensores las temperaturas a intervalos prefijados y los registra. Un programa realiza una lectura permanente de la información generada que luego almacena en una base de datos, permitiendo su procesamiento empleando las expresiones de Nurse-Saul para cálculo de madurez y/o de Arrhenius. La forma de introducir los sensores en la masa de hormigón, fue a través de varillas de acero, sujetándolos en uno de sus extremos y penetrando dicha masa (Figura 2). Los termómetros digitales usados se muestran en la Figura 3.

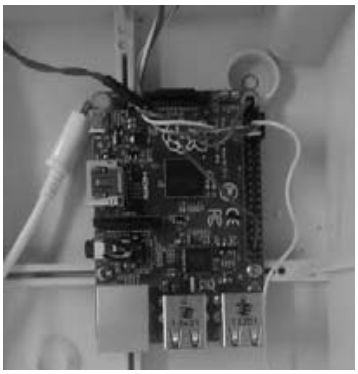


Figura 1 – Microcomputadora (Rasberry Pi B+)

Figura 2 – Sensores

Figura 3 – Termómetros digitales

Se estudiaron los hormigones de bases de una estructura de ampliación de los laboratorios de la Facultad, monitoreando el desarrollo de la resistencia con la medida de la madurez de los hormigones, con sensores colocados en las mismas. Figura 4 a) y 4 b).

Figura 4 a) – Colocación de sensores

Figura 4 b) – Colocación de sensores

Para la dosificación del hormigón se utilizó un cemento portland CPC-40, arena silícea gruesa de una cantera de la zona como agregado fino, canto rodado silíceo tamaños 1:3 y 1:2 como agregado grueso. Se le adiciono a la mezcla un aditivo superfluidificante. Las características de los agregados se informan en la Tabla 1.

Tabla 1 – Características de los agregados

Material	Módulo de finura	Tamaño Máximo	P.U. de Volumen
Arena silícea gruesa	2,69	--	1, 5
Canto Rodado 1:3 cm	7,26	1 "	1, 7
Canto Rodado 1:2 cm	6,70	3/4"	1, 6

La dosificación del hormigón utilizado se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2 – Dosificación del hormigón utilizado en las experiencias

Material	P.e (g/cm^3)	Volumen (litros)	Peso (kg)
Agua	1	158	158
Cemento	3,11	101	315
Arena silícea gruesa	2,62	309	811
Canto Rodado 1:2	2,66	167	444
Canto Rodado 1:3	2,67	249	666
Aditivo	2,5 kg. / m^3		
Aire (%)	2		
Asentamiento (cm)	10		
Resistencia promedio a las 28 días	25 MPa		

Se confeccionaron probetas cilíndricas de 15x30 para determinar la resistencia a las diferentes edades estudiadas. Las mismas figuran en los gráficos.
Las mediciones de temperatura se efectuaron sobre las bases 3, 7 y 10 de la estructura.

Los ensayos de resistencia se realizaron con una Prensa Automática Digital PILOT 4 (Controls de Italia) de 200 tn de capacidad; con visualización gráfica en tiempo real de los datos del ensayo, la curva de carga/tiempo y la velocidad de carga real así como visualización simultánea de la carga, tensión y velocidad de carga real en función de las cargas o de las tensiones.

Las probetas ensayadas se mantuvieron en el ambiente de las bases en las que se realizaban las mediciones durante la experiencia.

Resultados

Obtenidos los datos de resistencia en los ensayos de compresión de las probetas y los de temperatura con el equipo diseñado para estas experiencias (colocado en las bases), se procedió a correlacionar estos a los tiempos parciales utilizados. (Datos del madurómetro y resistencia a la misma edad).

Se utilizó la formula de Nurse-Saul - Madurez (ºC.h) para las variables, tiempo, temperatura y resistencia.
Los resultados se informan en las Figuras 5 a 8, los mismos corresponden a los valores medidos en estas experiencias.

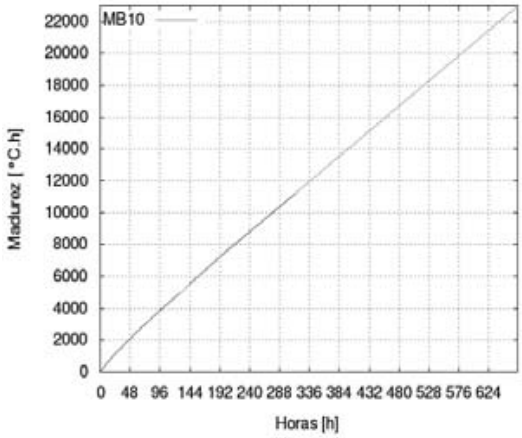


Figura 5 - Tiempo vs madurez

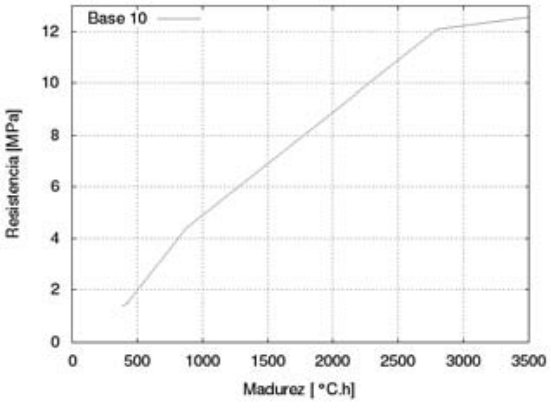


Figura 6 - Resistencia vs madurez Base 10

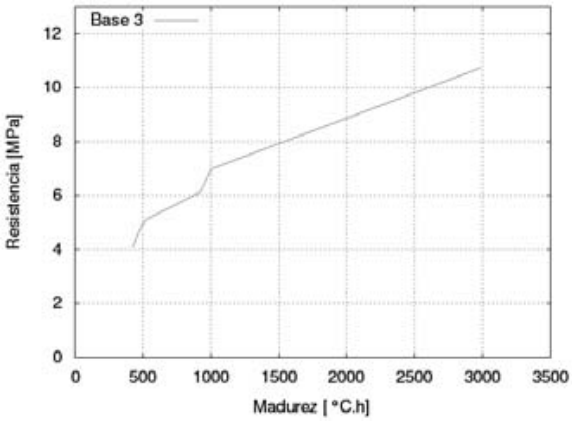


Figura 7 - Resistencia vs madurez Base 3

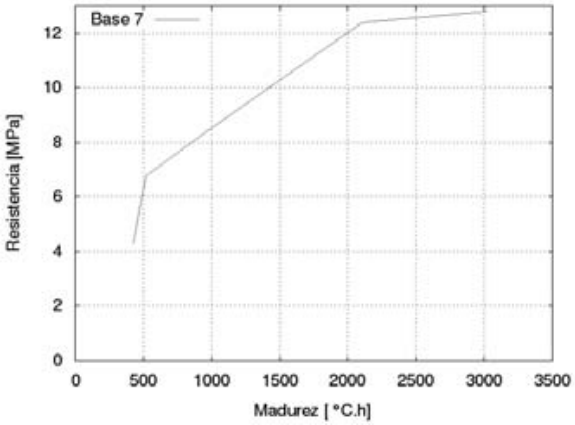


Figura 8 - Resistencia vs madurez Base 7

Se observan en los mismos una buena correlación entre los valores determinados de madurez y los correspondientes a las resistencias. Entrando con un valor de tiempo en el gráfico de la Figura 5, se puede obtener un valor de madurez. Luego, usando dicho valor hallado en cualquiera de las tres graficas restantes (Figura 6 a 8), se puede obtener un valor de resistencia a compresión para la Base 10, 3 o 7 según corresponda. Los gráficos expresan los valores reales de resistencia de cada base determinados con el ensayo de probetas que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3 – Resistencias determinadas de las bases con probetas de hormigón a distintas edades

Base 3		Base 7		Base 10	
Edad horas	Resistencia en MPa	Edad horas	Resistencia en MPa	Edad horas	Resistencia en MPa
9	1,4	--	--	--	--
10	1,5	10	4,1	10	4,0
11	--	11	4,7	11	5,6
12	--	12	5,0	12	6,8
20	4,4	20	--	20	--
21	--	21	6,1	21	--
22	--	--	--	22	8,4
23	--	23	7,0	23	--
68	12,1	73	10,7	74	12,8
667	25,0	--	--	--	--

Conclusiones

* Los resultados de la experiencia son razonables y se condicen con los que se obtienen en equipos comerciales para la determinación de la madurez en hormigones de este tipo, en otras experiencias.

* El uso de esta metodología permite controlar la totalidad del hormigón recibido, sin necesidad de tomar una cantidad importante de probetas para su posterior ensayo. Además, el cálculo de madurez es sumamente útil para optimizar el tiempo de encofrado y sobretodo donde los mismos son reutilizables.

* La lectura de los sensores permite establecer la homogeneidad del hormigón y monitorear el desarrollo de la resistencia día a día.

El método será aplicado en nuestra próxima experiencia al monitoreo de la resistencia en una estructura completa de hormigón (losas, vigas y columnas).

Referencias

[1] Peter C. Taylor, Steven H. Kosmatka, Gerald F. Voigt, et al, 2007. Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: a State-of-the-Practice Manual, FHWA Publication No. HIF - 07 – 004.

[2] ACI 325.11R-01, American Concrete Institute. Accelerated Techniques for Concrete Paving, 2001.

[3] M. F. Barreda, M.J. Naber, I. Quispe Sallo, J.D. Sota. “Fisuras de contracción en pavimentos de hormigón y el aserrado de juntas”. XII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción. CONPAT 2013. Octubre de 2013. Cartagena de Indias, Colombia.

[4] ASTM C 1074, 1998. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method.

[5] J.D. Sota, F.A. Avid, M. Chury, P. Moreira. “Medida de la madurez del hormigón de pavimentos urbanos para determinar su resistencia. Diseño de equipamiento”. X Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. CINPAR 2014. 4 al 6 de Junio de 2014. Santiago, Chile.

VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DEL PUENTE DE HºAº SOBRE EL RÍO DIAMANTE EN LA RPº165, SAN RAFAEL

[1] Florencia Crestan - Rocio Moreno – Matias Valdés – Daniela Taranto -
[2]Juan Díaz – Felipe Genovese – Cristian Bay

Alumnos de grado [2] Investigadores rociommoreno02@gmail.com - cbay@frsr.utn.edu.ar
GEDE - Grupo de Estudio de Estructuras - Facultad Regional San Rafael – Universidad Tecnológica Nacional – Urquiza 314 – San Rafael – Mendoza – Teléfono 260 442 1078

Resumen

En la Ciudad de San Rafael, Provincia de Mendoza, existen Edificios Patrimoniales con más de 50 años, tal es el caso del "Puente Nuevo", un puente vehicular de hormigón armado ubicado en la Ruta Provincial 165 sobre el Río Diamante, cuya construcción data del año 1935. Dado que estos edificios se encuentran en una zona de riesgo sísmico, muchos factores inducen a la necesidad de determinar la vulnerabilidad estructural y no estructural, permitiendo proponer técnicas para mitigar el riesgo asociado.

Luego de realizar tareas de relevamiento, recopilación de información, digitalización de planos y obtención de un modelo numérico a través de Softwares adecuados; se procedió a analizar el comportamiento estructural del puente y obtener las solicitaciones ante las cargas de servicio a las que está sometido actualmente. Además, se están comparando estas solicitaciones con las propuestas por normas vigentes en otros países, con menor antigüedad que la utilizada en Argentina.

Finalmente, en el caso de ser necesario, se propondrán soluciones o recomendaciones que buscarán reducir, no sólo la vulnerabilidad sísmica, y de este modo el Riesgo Sísmico, sino también las posibles acciones de mantenimiento para una adecuada preservación de la obra.

Introducción

En la Ciudad de San Rafael, Provincia de Mendoza, existen Edificios Patrimoniales con más de 50 años, tales como hospitales, iglesias, puentes carreteros, establecimientos educacionales, entre otros. En la búsqueda por preservarlos; considerando que se encuentran en una zona de riesgo sísmico, el posible cambio del destino por el propio avance de la población, las modificaciones de los códigos antisísmicos, la variación de la comprensión del fenómeno físico y el acontecer de nuevos eventos sísmicos, sumado a la inexistencia de registros de estudios previos en el Sur de Mendoza; es que surge la necesidad de determinar la vulnerabilidad estructural y no estructural de estos edificios y proponer técnicas para mitigar el riesgo asociado, siendo esta el objetivo principal del proyecto denominado "Estudio de la vulnerabilidad estructural en obras patrimoniales de la Ciudad de San Rafael".

El presente informe se enfoca específicamente en el puente vehicular de hormigón armado de la Ruta Provincial 165 sobre el Rio Diamante comúnmente denominado "Puente Nuevo". La construcción de esta obra data del año 1935. En la Figura 1 se muestran diversos estados del puente en análisis.

Fig.1 – Encofrado en etapa de construcción – Estado inicial de la estructura - Estado Actual de la estructura

Relevamiento

A principios del año 2015, se inicia el proyecto con las tareas de relevamiento. Las mismas incluyeron visitas de obra para observación directa de la estructura, toma de fotografías, mediciones, búsqueda de planimetría y bibliografía asociada, y reuniones con Dirección Provincial de Vialidad; quien proporcionó los planos originales y fotografías con mayor antigüedad de la estructura. Entre otras observaciones, se supo en esta primera etapa, que la estructura contaba con un reticulado rigidizador que unía ambos arcos en cada uno de los tramos, que el puente se construyó utilizando armadura lisa, sin nervaduras, y que además fue intervenida recientemente, en el año 2001.

La siguiente etapa consistió en la digitalización de la planimetría, incorporándole los nuevos elementos constructivos adicionados en la última intervención. Uno de ellos fue la vereda peatonal perimetral en estructura metálica, la cual originalmente formaba parte del tablero, ubicada a continuación de la capa de rodamiento vehicular, y posteriormente debido a la necesidad de ensanchar la calzada para adaptarla a los nuevos requerimientos de tránsito, se la incorporó adosada exteriormente a la estructura existente. Además, se tuvo en cuenta la reparación de pendolones ubicados en el cuarto y quinto tramo, deteriorados por el uso.

Se determinaron las características de los materiales utilizados para la construcción del puente. Para el caso del hormigón, se obtuvo la resistencia característica por medio del ensayo de esclerometría, considerando el incremento por efecto de la carbonatación. Adoptando 20MPa. Para el acero una tensión admisible de 140MPa, según establece la Norma de Vialidad Nacional en vigencia en la actualidad, para aceros redondos lisos y como tensión última 224MPa.

En la Figura 2 pueden observarse los principales elementos estructurales que se analizarán posteriormente y las dimensiones principales de cada arco del puente.

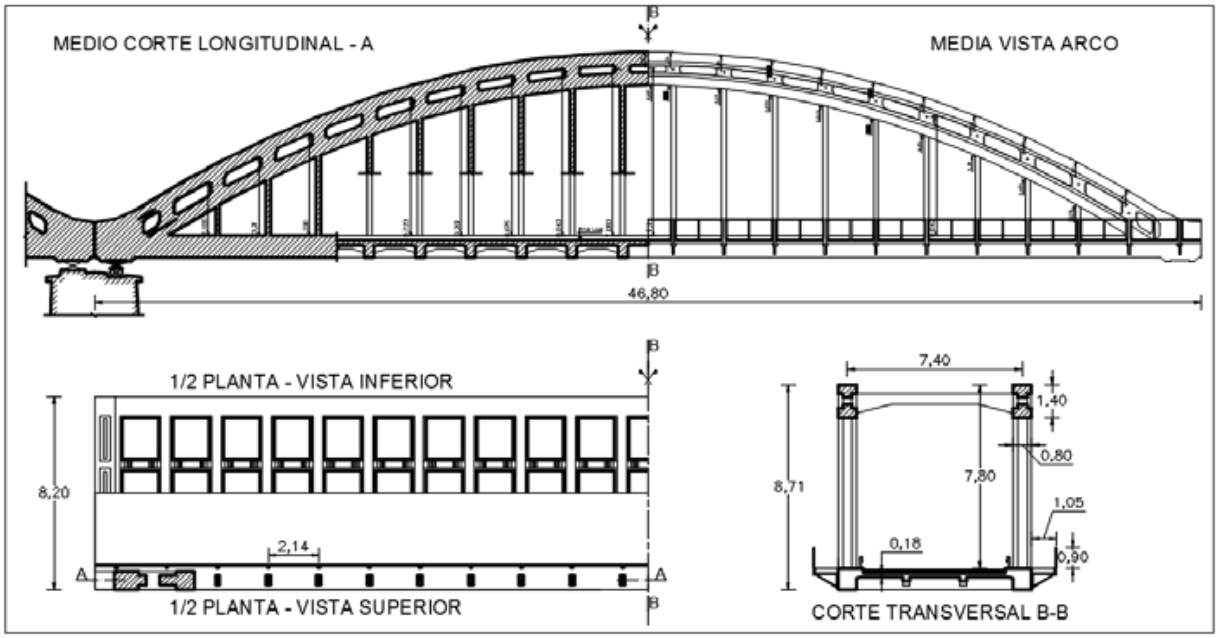


Fig. 2- Vistas y cortes de la Estructura

Por otro lado, se procedió a la búsqueda de normativas de diseño de puentes de hormigón armado, vigentes en diferentes de países del mundo. Luego del correcto análisis y la clasificación de información, se seleccionó la norma SCT México (2004) para su comparación.

Modelo numérico

El puente a analizar está conformado por 5 tramos de 45m cada uno, siendo así, su longitud total de 225m. Las condiciones de vínculo de cada tramo corresponden a dos apoyos, uno simple y uno doble; el tablero de rodamiento por donde circulan los vehículos está formado por losas. Dichas losas descansan sobre un reticulado de vigas transversales y longitudinales, las que descargan sobre vigas principales orientadas en la dirección de circulación. Además, en los laterales, presentan un arco que se vincula a cada extremo de las vigas anteriormente citadas. Asimismo, para colaborar con la transmisión de cargas, se conectan ambos elementos mediante 18 pendolones verticales. Finalmente se dispusieron de vigas entre ambos arcos, de modo tal que se forme un reticulado de sección K, uniendo así la parte superior de los mismos. Todos los elementos mencionados en este párrafo están construidos en hormigón armado, a excepción de los pendolones que son dos planchuelas de acero recubiertas por hormigón.

Una vez finalizada la digitalización se procedió a la obtención del dibujo de un tramo del puente en 3D en un software de representación, para luego exportarlo a un software de análisis estructural por elementos finitos. Esto permitió precisión sobre todo en la zona de los arcos, y el reticulado superior que vincula los mismos, debido a la complejidad de la estructura. Se cargaron en el programa las propiedades del hormigón y del acero con los valores citados anteriormente.

Para la modelación se utilizaron elementos placas de 4 nodos y 6 grados de libertad por nodo, también se consideró la deformación por corte de los elementos. De esta manera se obtuvo un modelo con 1086 elementos de placa, buscando la máxima similitud entre el modelo y la realidad.

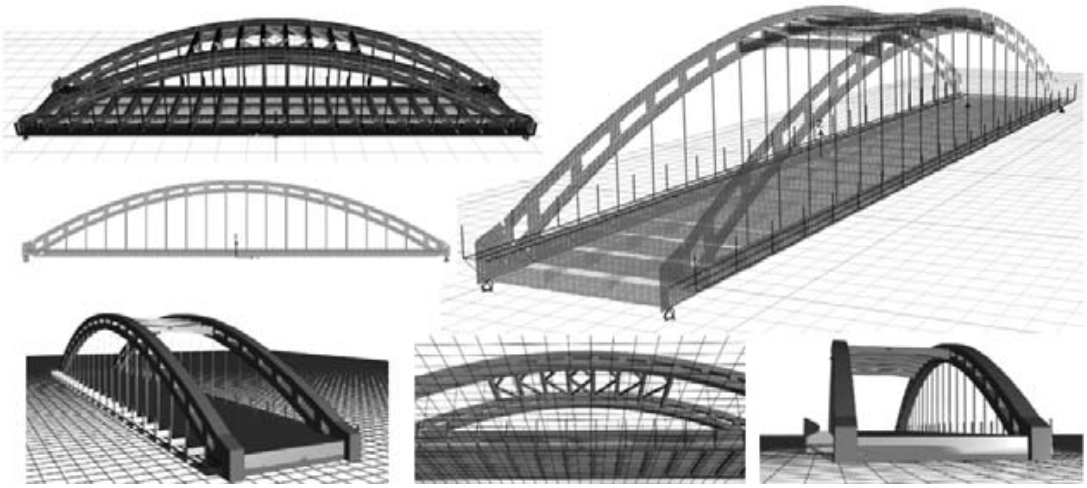


Fig. 3 - Modelo Estructural del Puente

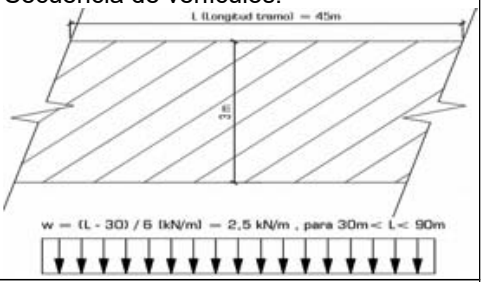
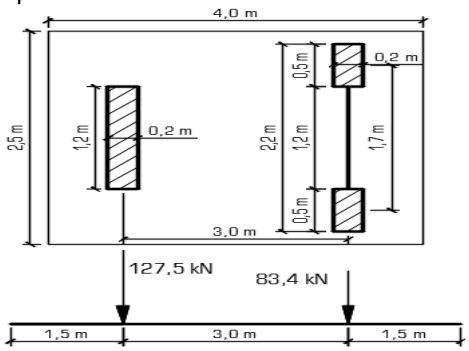
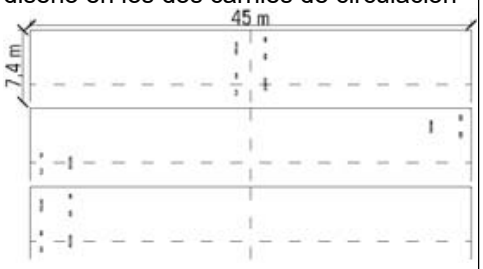
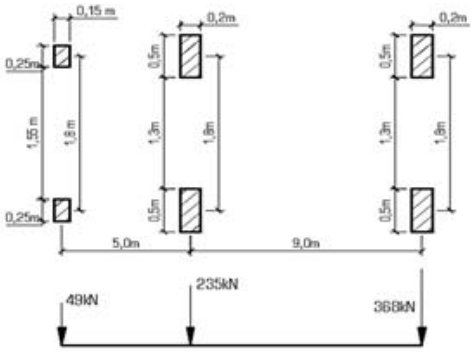
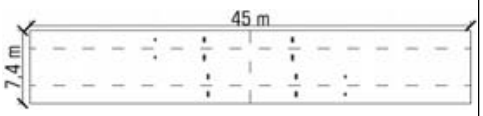
Acciones consideradas

Debido a que no se tiene registro de la normativa utilizada para el diseño y construcción del puente ya que la norma argentina de Dirección Nacional de Vialidad fue publicada en 1952, fecha posterior a la de ejecución de la obra; se cargó el modelo estructural obtenido con las hipótesis de carga de la norma vigente en la actualidad.

Tomando como base los lineamientos planteados, se consideró únicamente de las fuerzas principales, la carga permanente, la sobrecarga accidental y el impacto.

Una vez finalizado el análisis de carga con la norma argentina, se procedió a realizar la misma modelación para las cargas propuestas por la norma mexicana, a fin de poder comparar ambos resultados. Las cargas aplicadas se sintetizan en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1 – Comparación entre norma Argentina y Mexicana

	Norma Argentina	Norma Mexicana
Peso propio (CM)	• Peso de la estructura: se considera a partir de la asignación del peso específico de 23.52 KN/m^3 al material H20 que conforma todos los elementos estructurales de hormigón armado del puente. • SCP: carga correspondiente al peso propio no considerado en elementos estructurales (carpeta asfáltica, etc). Se asignó como una carga superficial uniforme sobre todo el tablero del puente de 0,7 kN / m^2	
Carga viva superficial (V)	Multitud compacta: Para aplanadora A30 w = 5.88 KN / m^2	Secuencia de vehículos: 
Sobrecarga de Vereda (V)	3.92 KN / m^2	La norma no específica por lo que se toma la misma sobrecarga especificada para la norma argentina.
Vehículo de Prueba (V)	Aplanadora de Diseño  Se consideraron 3 casos de distribución de cargas debidas a la aplanadora de diseño en los dos carriles de circulación 	Camión de Diseño  Se consideró un camión en cada carril actuando con el baricentro de las cargas en el centro de la luz. 
Efecto de multip. líneas cargadas	Solo cuando el ancho de calzada es superior a dos fajas de circulación se efectúa reducción. No aplica a nuestro proyecto.	Si se consideran cargadas 2 líneas de circulación como en el caso de nuestro proyecto, se adopta un factor de reducción R=0,90
Impacto (I)	Caso 4a (Estructura en arco, puentes de sección discontinua) y longitud menor a 50m → 1,2	Para un camión de tres ejes según la norma ITM 66.5 corresponde un incremento de la carga viva del elemento mecánico del 30%.
Fuerzas adicionales	Son las producidas por acciones que ocurren eventualmente a lo largo de la vida de la estructura. Principalmente, se tendrán en cuenta en cálculo de componentes puntuales del puente, como lo son las pilas o barandas.	

Resultados

Luego de definir las cargas se plantearon las combinaciones de carga dadas por la norma con los correspondientes factores, los que consideran la estructura en estado límite último.

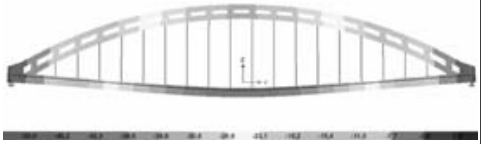
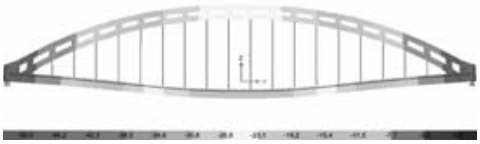
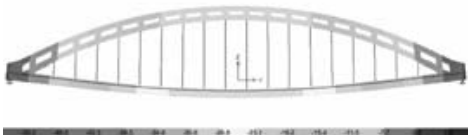
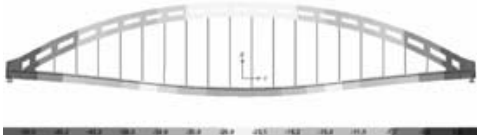
Se utilizaron los coeficientes del CIRSOC 201,2005 para transformar las cargas de servicio de la norma argentina en cargas últimas y poder de este modo compararla con la norma mexicana.

Solo se incluyeron las combinaciones que consideraran las cargas permanentes, vivas y de impacto, ya que solo fueron éstas las analizadas para el modelo.

El análisis del modelo se ejecutó mediante análisis elástico lineal, que demoró 1:04 minutos para resolver la estructura de 1086 elementos, en un procesador IntelCorei5.

Del análisis de las combinaciones de carga se obtuvieron las siguientes deformaciones de la estructura. Además, se compararon las reacciones obtenidas para la solicitación de peso propio, sobrecarga distribuida y vehículo de diseño, a fin de comparar cuál de ellas tiene mayor incidencia. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 2 a continuación.

Tabla 2 – Comparación de deformaciones entre norma Argentina y norma Mexicana

	Norma Argentina	**Norma Mexicana**
Comb. De carga y su deformada	C1 = 1,2 CM + 1,6 (V + I)  Δmáx = 4,9354 cm	C1 = 1 CM + 1 (V + I)  Δmáx = 3,3782 cm
	C2 = 1,4 CM  Δmáx = 3,0249 cm	C4 = 1 CM + 1,2 (V + I)  Δmáx = 3,6218 cm
Reacción basal total	Ante peso propio = 7998,33 kN (Dead + SCP)	
	Ante sobrecarga sup.= 2312,35 kN	Ante sobrecarga sup.= 296,47 kN
	Ante vehículo de prueba = 588,4 kN	Ante vehículo de prueba = 1196,32kN
	Para Combinación 1 = 15167,44 kN Para Combinación 2 = 11197,67 kN	Para Combinación 1 = 9981,49 kN Para Combinación 4 = 10378,11 kN

La deformación del puente considerando únicamente el peso propio es de 2.16 cm, que es aproximadamente la mitad de lo que se obtiene con las combinaciones de carga según la Tabla 2. Esto se debe a que el peso mismo de la estructura es preponderante sobre los demás estados de carga, independientemente de la norma utilizada.

Además, conjuntamente con las secciones de hormigón y acero indicadas en los planos estructurales del puente, se pudieron calcular las tensiones a las que está sometido cada elemento con los esfuerzos obtenidos mediante la modelación. De este modo se pudieron constatar las suposiciones respecto a las solicitaciones predominantes en cada uno de ellos y su comportamiento en la estructura. A continuación se expresan los resultados en la tabla 3:

Tabla 3 – Verificación de tensiones de cada elemento para norma Argentina y norma Mexicana

SECCIÓN	SECCIÓN DE HORMIGÓN [cm²]	SECCIÓN DE ACERO [cm²]	TIPO DE ESFUERZO PREDOMI-NANTE	MATERIAL VERIFICADO	TENSIÓN DE TRABAJO MAYORADA [KN/m²] y [MPa]		TENSIÓN ULTIMA [KN/m²] y [MPa]
					NORMA ARGENTINA (C1)	NORMA MEXICANA (C4)	
VIGAS PRINCI-PALES	7200 (80cmx90cm)	388.77 (55φ30)	Tracción	ACERO	84500 84.50	64500 64.50	224000 224.00
VIGAS RET. LONG.	1050 (30cmx35cm)	20.36 (2φ12+9φ16)	Tracción	ACERO	190000 190.00	172000 172.00	224000 224.00
VIGAS RET. TRANS.	2840 (40cmx71cm)	68.74 (14φ25)	Flexión	ACERO	135200 135.20	106600 106.60	224000 224.00
PENDO-LONES	-	38 (2 planchuelas de ¾"x10cm c/u)	Tracción	ACERO	95800 95.80	67600 67.60	224000 224.00
ARCO	3800	144.24 (18φ30+6φ19)	Compresión	HORMIGÓN (Considerando sección equivalente de acero)	7400 7.40	5200 5.20	20000 20.00

Conclusiones

Del análisis estructural se determina que todos los elementos modelados verificaran para las cuatro hipótesis de cargas estudiadas. Llegando a la conclusión de que el estado general del puente es bueno y no se detectan patologías que afecten la estructura.

Actualmente se están estudiando las pilas y su comportamiento frente a cargas sísmicas.

Finalmente, en el caso de ser necesario, se propondrán soluciones o recomendaciones que buscarán reducir, no sólo la vulnerabilidad estructural, sino también las posibles acciones de mantenimiento para una adecuada preservación de la obra.

Referencias

Bases para el Cálculo de Puentes de hormigón armado. Administración General de Vialidad Nacional. 1952.

CIRSOC 201. Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Centro de Investigación de Reglamentos de Seguridad para las Obras Civiles. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Secretaria de Obras Públicas de la Nación, 2005.

Formulación de la norma SCT de cargas vehiculares para diseño estructural de puentes carreteros. Secretaria de comunicaciones y transporte. Instituto mexicano del transporte. Publicación técnica, Sanfandila. 2004.

COMPORTAMIENTO AL DESGASTE Y CORROSIÓN DE AISI 316L NITRURADO POR PLASMA Y RECUBIERTO CON TiN

Diego A. Poletto, Ignacio J. Tabares

Directoras: Laura. S. Vaca, Sonia. P. Brühl

UTN – Fac. Reg. Concepción del Uruguay
Ing. Pereira 676 (3260) Concepción del Uruguay, Argentina.
e-mail de contacto: ijtabares@icloud.com , diegoarielpoletto@gmail.com

Resumen

En este trabajo se analiza el comportamiento de las películas delgadas de TiN con interfase de Ti depositada con la técnica PVD por arco catódico sobre acero inoxidable 316L previamente nitrurado. Se realizaron ensayos tribológicos, de adhesión y de comportamiento a la corrosión y se caracterizó la superficie mediante microscopía óptica y electrónica. Se pudo observar que los recubrimientos si bien no mejoraron notablemente la resistencia al desgaste sí lograron formar una barrera protegiendo las muestras contra la corrosión. La inclusión de temperatura en el proceso no mejoró notablemente la adhesión del recubrimiento, sí influyendo en un aumento de la tasa de deposición. La implantación iónica no mejoró la resistencia al desgaste notablemente pero sí protegió al sustrato de la corrosión, justificando su posterior estudio y su combinación con la inclusión de una fuente calefactora.

1. Introducción

El acero inoxidable austenítico AISI 316L, de alto contenido de cromo y bajo contenido de carbono, posee una composición cuidadosa en cuanto a impurezas, por lo que es muy solicitado en la industria química, alimenticia, farmacéutica, petroquímica, papelera y para diversas aplicaciones biomédicas. Su baja dureza y elevado coeficiente de fricción limitan sus aplicaciones, por lo que es necesario tratarlos a fin de mejorar sus propiedades tribológicas sin resentir sus propiedades anticorrosivas, para aumentar su vida útil y ampliar el rango de aplicación industrial [1-3].

La nitruración iónica es un tratamiento de difusión termoquímica asistido por plasma que modifica las capas superficiales del material. Si el nitrógeno permanece en solución y no forma nitruros se eleva la dureza superficial del material, mejorando su resistencia al desgaste sin resentir sus propiedades anticorrosivas [4-5].

Los recubrimientos PVD de nitruro de titanio (TiN) son obtenidos a partir de un arco catódico [6,7]. Los tratamientos “dúplex” consisten en la aplicación sucesiva de dos procesos superficiales, a fin de obtener propiedades que no podrían lograrse con cada proceso individual [8,9]

La implantación iónica es un proceso que ha sido estudiado y aplicado con muy buenos resultados en numerosas áreas. Esta técnica puede crear una interfase progresiva entre la superficie y el material base. Si la deposición es combinada con implantación, polarizando la pieza a un potencial altamente negativo, se logra un tratamiento superficial que, cuando la alta tensión no es aplicada los iones se adhieren a la superficie formando una película y cuando se aplican los pulsos de alta tensión negativa, los iones son implantados y este proceso se conoce como Plasma Based Ion Implantation and Deposition (PBIID) [10-12].

En este trabajo se presentan los resultados de adhesión, resistencia al desgaste y a la corrosión de recubrimientos bicapa de Ti.TiN depositado por la técnica PAPVD sobre muestras nitruradas (N), conectadas a tierra y calefaccionadas, nombradas como (NDT) o no calefaccionadas, nombradas como (ND), o polarizadas a - 6 kV, nombradas como (NDI).

2. Metodología experimental

Las muestras fueron cortadas de una barra cilíndrica de acero inoxidable austenítico AISI 316L. Se rectificaron, lijaron y se pulieron con pasta de diamante para obtener un acabado espejo en una de las caras del material.
Todas las muestras fueron nitruradas en un equipo industrial (IONAR S.A), en un proceso de 20 horas, en una atmosfera de 20% N_2-H_2, 600 Pa y 420 °C. Se realizó un sputtering previo en una atmósfera de 50% Ar-H_2 durante 2 horas a fin de remover el óxido pasivante de la superficie, característico de este tipo de aceros.

A las probetas nitruradas se les midió dureza en superficie con un microdurómetro con punta Vickers, carga de 0,05 Kg. Una de las muestras se cortó, y se observó al microscopio óptico para medir el espesor de capa modificada.

Los recubrimientos bicapa de nitruro de titanio (Ti-TiN) se obtuvieron por la técnica PVD en un plasma generado por una descarga de arco catódico, a 20 V de tensión y 125 A de corriente, entre un cátodo de Ti y el ánodo, con la pieza situada a 20 cm del cátodo y conectada a tierra o polarizada a -6 kV, 200 Hz de frecuencia y 50 µs de ancho de pulso, en el caso de la combinación con implantación. Se realizaron dos descargas en vacío de 1,5 min cada una para obtener la intercapa de Ti y, posteriormente, se introdujo un flujo de N_2 y se realizaron tres descargas de 3 min cada una para crecer la capa de TiN. Un grupo de muestras, conectadas a tierra, fue calefaccionado durante el proceso a una temperatura de 300º C.

A todas las muestras recubiertas se les probó la adhesión con indentación Rockwell C con carga de 150 kg. Se tomaron imágenes de la superficie de los recubrimientos con microscopio electrónico de barrido (SEM) y los recubrimientos se cortaron en un SEM equipado con haz de iones focalizados (FIB) para medir los espesores y observar la interfase.

Para probar la resistencia al desgaste se sometieron las muestras al ensayo de ensayo Pin-on Disk (POD), con carga de 1N, recorrido de 500m y como contraparte se usó una bolilla de alúmina de 6 mm de diámetro.

Se probó la resistencia a la corrosión de todas las muestras con el test de hisopado con una solución de sulfato de cobre pentahidratado ($CuSO_4$ +.5H_2O) como sugiere la norma ASTM A967 en su práctica “D”, que al depositar revela la presencia de hierro libre en la superficie, lo que origina una falla en la capa de óxido pasivante del material. La resistencia a la corrosión por picado se evaluó mediante el ensayo de polarización anódica, que permite determinar si un metal es susceptible a la corrosión uniforme o al ataque localizado, según norma ASTM G 61 – 86 (98).

3. Resultados

3.1 Microestructura

Las muestras nitruradas presentaron una capa bien diferenciada del material base de (10.0 ± 0.5) µm de espesor, como muestra la micrografía de la Fig. 1, y una dureza superficial de (1040 ± 30) $HV_{0.05}$.

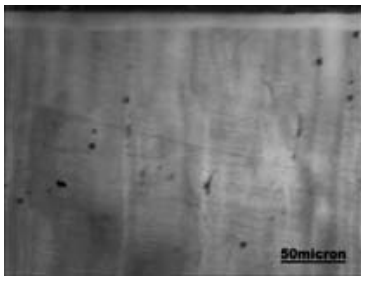


Fig.1: Micrografía de la capa nitrurada 400x

En las imágenes (a) de las Fig. 2 (NDT), Fig. 3 (ND) y Fig. 4 (NDI) se observa la presencia de microgotas y pinholes en la superficie y la diferencia en la rugosidad de los recubrimientos, siendo

más notable en las muestras NDT que en las ND, probablemente debido a la mayor tasa de deposición, de 85 nm/min, respecto de la recubierta ND, de 55 nm/min) [6].

Las imágenes (b) de las Fig. 2 y Fig. 3 y las imágenes (b) y (c) de la Fig. 4, obtenidas por (FIB-SEM) muestran el espesor de los recubrimientos y la interfase. En el caso de la muestra NDT, Fig. 2 (b), se observa una zona en la que la interfase presenta fallas, con espesores de 600 nm para la intercapa de Ti y de 2,5 μm para la capa de TiN, seguida de una zona en la que no se observa la capa de TiN, sino sólo una parte de la intercapa con espesores entre 100 nm y 250 nm. También puede observarse algo similar en la muestra NDI. La Fig. 4 (b) muestra algunas grietas que no alcanzan la superficie del recubrimiento y en la Fig. 4 (c) se observa que se ha desprendido totalmente la capa de TiN, quedando adherida la de Ti. Esto puede deberse a tensiones residuales [13]. La muestra ND presenta una interfase sin fallas, con un espesor mucho menor, de aproximadamente 800 nm, lo que se corresponde con la menor tasa de deposición. El espesor de la NDI es de aproximadamente 2 μm, con una tasa de deposición de 70 nm/min.

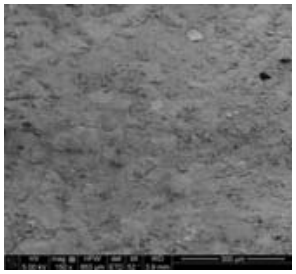
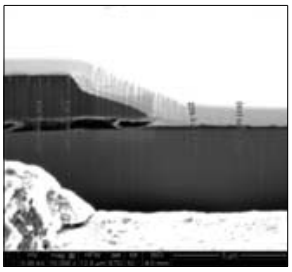
(a)  (b) 

Fig.2: Imágenes SEM muestra NDT de: (a) superficie y (b) espesor de recubrimiento

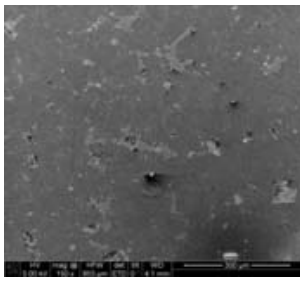
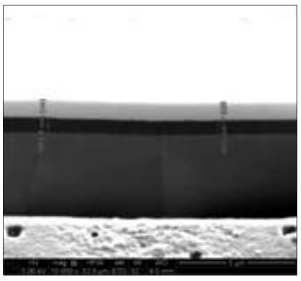
(a)  (b) 

Fig.3: Imágenes SEM muestra ND de: (a) superficie y (b) espesor de recubrimiento

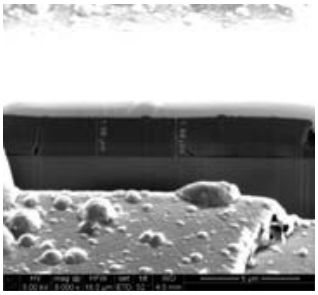
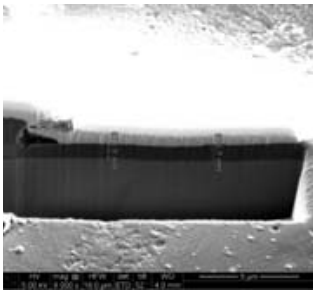
(a) (b)  (c) 

Fig.4: Imágenes SEM muestra NDI de: (a) superficie y (b) espesor de recubrimiento

3.2 Adhesión de los recubrimientos

Se realizó indentación RC con cargas de 150 kg y puede observarse en la Fig. 5 que la muestra NDT es la única que puede considerarse aceptable ya que no presenta delaminación alrededor de la impronta como las demás muestras.

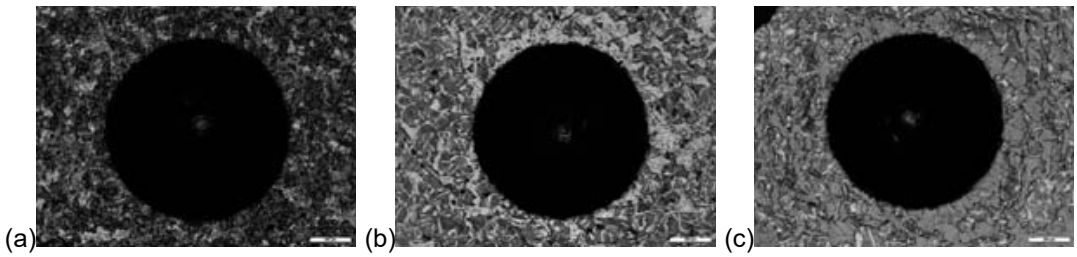


Fig. 5: Micrografías huella indentación RC con 150 kg. 10x (a) NDT, (b) ND, (c) NDI

3.3 Corrosión

Todas las muestras nitruradas depositaron cobre en la superficie al ser sometidas al test de hisopado de CuSO4 + 5 H2O, lo que indicaría que en la nitruración se formaron nitruros de cromo, dejando hierro libre en la superficie.

Ninguna muestra recubiertas se afectó al someterlas al test de hisopado por 6 minutos, como así tampoco al ataque durante 10 seg con el reactivo Marble. Esto indicaría que el recubrimiento es homogéneo, por lo que los pinholes que se observan en las imágenes SEM no deberían llegar hasta el sustrato.

Polarización anódica

La gráfica de la Fig. 6 muestra las curvas de polarización anódica y puede observarse que el mejor comportamiento a la corrosión por picado corresponde a la muestra NDI, mientras que la NDT soportó una mínima diferencia de potencial. Los valores de potencial de corrosión, de breakdown y de densidad de corriente se presentan en la Tabla 1. Si bien la muestra nitrurada soporta una diferencia de potencial de 1000V, su potencial de corrosión es más negativo. En cambio, la muestra NDI que soporta una diferencia de potencial de 1200V es la única de potencial de corrosión positivo (más noble).

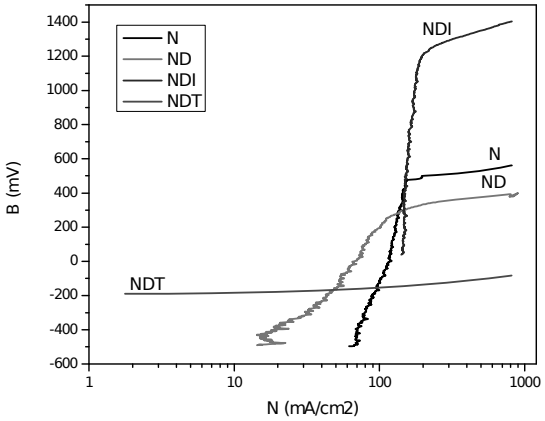


Fig. 6: Curvas de polarización anódica

Tabla 1: Datos cuantitativos del ensayo de corrosión.

Muestra	E_{corr} vs SCE mV	j_{pas} 100mV $\mu A/cm^2$	E_{bk} vs SCE mV	$E_{bk} - E_{corr}$ vs SCE mV
N	-517	121	484	1001
ND	-478	80	300	778
NDI	41	146	1234	1193
NDT	-190	-	-180	10

3.4 Desgaste – Pin On Disk

Como puede observarse en las imágenes de la Fig. 7, la muestra recubierta que presentó el mejor comportamiento al desgaste fue la NDT, que si bien es la que tuvo la mayor profundidad de huella, como se ve en la gráfica de los perfiles de la Fig. 8, ésta no superó el espesor de recubrimiento, mientras que en el caso de las muestras ND y NDI, se llegó al sustrato pero no se observa delaminación alrededor de las mismas. Sin embargo, las muestras recubiertas no mejoraron la resistencia al desgaste respecto a la nitrurada. Esto puede deberse a las discontinuidades que presentaron los recubrimientos, como lo evidenciaron las imágenes FIB-SEM que se presentaron.

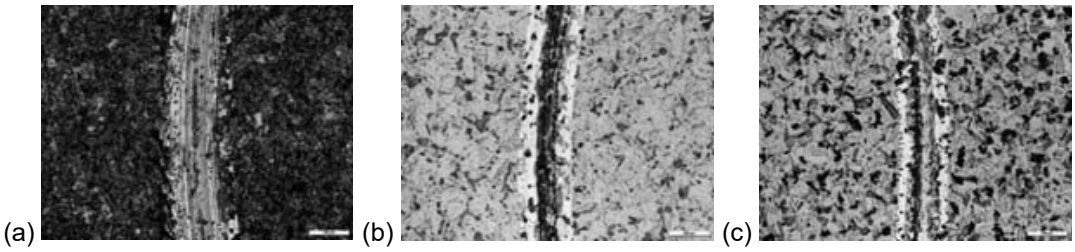


Fig. 7: Micrografía 10x de las huellas Pin On Disk (a) NDT, (b) ND, (c) NDI

Tabla 2: Datos cuantitativos del ensayo de Pin on Disk

Muestra	Coef. Fricción	Prof. huella (µm)	Vol. Perdido (10^{-3} mm^3)	Tasa de desgaste (10^{-6} mm^3/Nm)
N	0,787	1,6	6,7	13,2
NDT	0,955	2,6	16	30,4
ND	0,794	1,7	9,4	18,3
NDI	0,806	2,1	10,4	20,4

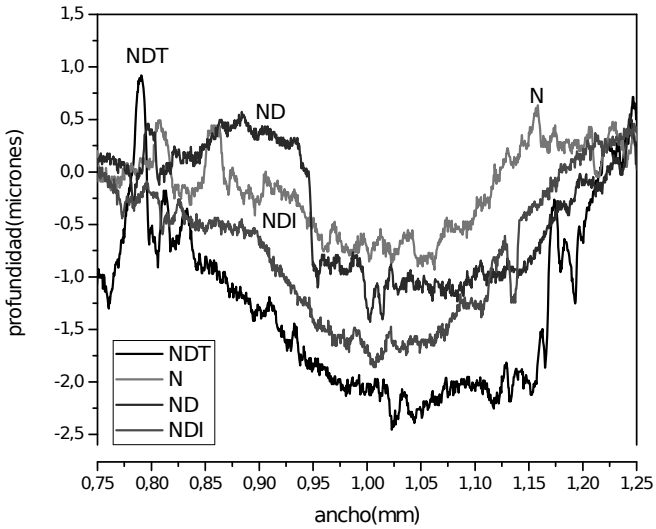


Fig. 8. Perfiles de las huellas

Conclusión

La incorporación de una fuente calefactora a la cámara del proceso incrementó la tasa de deposición pero aumentó también la presencia de microgotas y no favoreció la adhesión ni

protegió al sustrato contra la corrosión. En el caso con implantación, si bien no superó la resistencia al desgaste que presenta la nitruración justifica su aplicación ya que mejoró notablemente la resistencia a la corrosión. Sin embargo, es necesario ajustar los parámetros del proceso para lograr mejores resultados. Un tratamiento que combine la implantación iónica y la incorporación de temperatura sería un proceso a investigar en el futuro.

Referencias

[1] ASM Handbook Vol. 5: Surface Engineering, ASM Int. 1994.
[2] ASM Handbook Vol. 1: Properties and selection of Irons, Steels, and High-Performance Alloys, ASM Int. 1991.
[3] A. J. Sendriks, Corrosion of Stainless Steel, 2nd. Ed., Wiley & Sons, 1996.
[4] H. Michel, T. Czerwiec, M. Gantois, D. Ablitzer.and A. Ricard, Progress in the analysis of the mechanisms of ion nitriding, Surf. Coat. Technol., Vol. 72, p. 103, 1995.
[5] Linda Gil, Sonia Brühl, Lorena Jiménez, Ovídio Leon, Rafael Guevara y Mariana H. Staia, Corrosion performance of the plasma nitrided 316L stainless steel, Surface and Coatings Technology 201, p. 4424-4429, 2006.
[6] R. L. Boxman, P. J. Martin, D. M. and Sanders, (Eds), Handbook of Vacuum Arc Science and Technology, New Jersey: Noyes Publications, 1995.
[7] H. Bruzzone, H. Kelly, A. Márquez, D. Lamas, A. Ansaldi, C. Oviedo, TiN coatings generated with the pulsed plasma arc, Plasma Source Sci. and Technol. 5 (1996) 582-587.
[8] T. Bell, H. Dong and Y. Sun, Realising the potential of duplex surface engineering, Tribology 31 (1998) 127-137.
[9] W. Wu, X. Li, J. Chen, H. Dong, Design and characterization of an advanced duplex system based on carbon S-phase case and GiC coatings for 316LVM austenitic stainless steel, Surf. Coat. Technol. 203 (2009) 1273–1280.
[10] D. Sanders, A. Anders, Review of cathodic arc deposition technology at the start of the new millennium, Surf. Coat. Technol. 133-134 (2000) 78-90.
[11] T. R. Rautray, R. Narayanan, Kyo-Han Kim, Ion implantation in titanium based biomaterials, Progress in Materials Sci. 56 (2011) 1137-1177.
[12] L. S. Vaca, A. Márquez, S. P. Brühl, Structural and tribological properties of Ti-TiN coatings obtained of the vacuum arc, Journal of Physics: Conference Series 370 (2012), 012032.
[13] R. Ali, M. Sebastiani, E. Bemporad. Influence of Ti-TiN multilayer PVD-coatings design on residual stresses and adhesion, Materials and Design 75 (2015) 47-56.

AGLOMERADO PAPEL – CEMENTO: ALTERNATIVA DE USO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Federico N. ANDRÉS, Adrián I. YORIS

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (Lavaise 610, Santa Fe), FRSF - UTN

E-mail de contacto: cecovi_meteriales@frsf.utn.edu.ar

Trabajo realizado en el marco del proyecto "VALORIZACIÓN DE UN RESIDUO INDUSTRIAL Y SU TRANSFORMACIÓN COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN". Dirección: Ing. Rudy Grether e Ing. Néstor Ulibarrie.

Resumen

En el presente trabajo se aborda la reutilización de un residuo proveniente del lavado de botellas de la industria cervecera, investigándose la factibilidad de su uso para la producción de un material de construcción.

Se realizan pruebas preliminares de aglomeración del residuo con cemento Portland, para lo cual se plantean distintas formas de incorporación del residuo, como ser, en estado húmedo o seco, analizándose distintas razones de residuo/cemento y agua/cemento.

El material con mejor desempeño se corresponde al obtenido con la incorporación en seco del residuo, por lo que se comenzó a investigar la influencia de la granulometría en la aglomeración con el cemento.

Se experimenta con la trituración del residuo en distintos tiempos y se elaboran probetas para analizar su resistencia a compresión simple con el fin de determinar el desempeño mecánico de las variables estudiadas.

Se puede afirmar así que es factible aglomerar el residuo con cemento y que el proceso de triturado tiene un fuerte impacto en el comportamiento mecánico de los elementos generados.

1. Introducción

Durante el proceso de limpieza de las botellas de vidrio retornables en empresas de la industria cervecera se produce un residuo homogéneo constituido principalmente por etiquetas. En el caso puntal de una empresa de la localidad de Santa Fe, dicho residuo se genera a razón de 150 toneladas por semestre y se encuentra humedecido en una solución de agua y soda caústica que se utiliza para la limpieza de los envases.

Estas etiquetas tienen una composición química especial, son papeles plastificados con altos contenidos de tintas de colores vivos y poseen aditivos que impiden la rápida absorción de agua, haciéndolos difíciles de tratar para la obtención de la fibra de celulosa reciclada, además que, este proceso de reutilización no se puede extender indefinidamente debido a que ciclos repetidos de humedecimiento y secado, como lo es la producción de papel en la que se lo debe desintegrar en agua, produce una restricción mecánica al hinchamiento con una consecuente reducción del valor de retención del agua y pérdida de calidad papelera de las fibras [Ackermann y col (2000)]. Por estos motivos, es que se plantean alternativas para su reciclado, ya que el destino último de estos residuos es la disposición final en rellenos sanitarios o la incineración [Zanuttini 2000].

Otros autores, ya mencionan el efecto de las fibras de celulosa recicladas en las propiedades de la matriz de cemento proporcionando un camino alentador a seguir [Mohamed Bentchikou, 2012].

En una primera instancia, el foco de esta investigación radica en la factibilidad de aglomeración de este residuo con cemento Portland para la obtención de un material compuesto destinado al rubro de la construcción, cuyo objetivo se respaldará con ensayos y análisis de propiedades físicas y mecánicas que expresen dicha afinidad.

En segunda instancia, para comprender mejor el comportamiento mecánico del material compuesto residuo-cemento, se desarrolla un análisis de la influencia de la granulometría del residuo triturado en la resistencia a compresión simple.

2. Metodología

Se toman muestras del residuo en la planta (Fig. 1) y luego se secan en estufa a 65±5 ºC hasta peso constante (Fig. 2), dado el alto contenido de humedad de las etiquetas proveniente de la solución de soda cáustica al 2% empleada en el lavado de los envases.

Fig. 1. Toma de muestra en planta

Fig. 2. Secado en estufa.

Se plantean diferentes alternativas de utilización del residuo: sin alteraciones (en las condiciones como se obtiene de planta) y triturado; éste último, se lleva adelante con el residuo en estado húmedo y seco. Con las muestras generadas se evalúa el comportamiento de cada alternativa mediante ensayos a compresión simple de probetas cúbicas de 7 cm de lado a 28 días de edad.

2.1. Residuo sin alterar

El residuo se utiliza tal cual como proviene de planta, es decir, no se modifica el contenido de humedad, la concentración de soda cáustica, el tamaño, ni cualquier otra propiedad. Este material es mezclado con cemento y agua y de ésta manera, se logra obtener un primer acercamiento del comportamiento del material formando un panel cuyas dimensiones son 30x30x3 cm (Fig. 3).

Figura 3. Panel 30x30x3 cm.

2.2. Residuo triturado

Mediante el uso de un equipo con cuchillas rotatorias se tritura el residuo por el tiempo de 60 s, reduciendo de este modo el tamaño de las etiquetas y generando una muestra homogénea.

2.2.1. Triturado en húmedo

Se introducen en el equipo de triturado 1 parte de papel y 18 partes de agua potable de red a modo de facilitar al equipo la operación de molienda.

2.2.1.1. Triturado en húmedo, sin escurrir

Luego del triturado en húmedo se procede a la mezcla del residuo con cemento, según dosificación en Tabla 1, hasta lograr una mezcla homogénea. El residuo es utilizado con la proporción de agua que se emplea para el triturado, por lo que la mezcla queda con un importante excedente de agua que escurre libremente luego de moldeadas las probetas, en cantidades que dependen de la estanqueidad del molde.

Tabla 1. Dosificación

Material	Dosificación 1	Dosificación 2
Papel (g)	30	30
Cemento (g)	100	200
Agua* (g)	500	500

* Agua ya incorporada en el proceso de molienda

2.2.1.2. Triturado en húmedo, escurrido

En este caso, el residuo triturado, antes de ser mezclado con cemento Portland es escurrido sobre una malla fina por el tiempo de 60 s con el objetivo de disminuir la cantidad de agua libre. El moldeo es exactamente igual a lo descripto anteriormente (triturado sin escurrir) y las dosificaciones usadas son las mismas, para observar el efecto que proporciona el agua eliminada.

2.2.2. Triturado en seco

Como alternativa al triturado en húmedo se plantea una trituración del papel en estado seco, sin adicionar agua durante el proceso. Las dosificaciones utilizadas se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Dosificación

Material	Dosificación a	Dosificación b	Dosificación c
Papel (g)	50,0	50,0	50,0
Cemento (g)	333,3	333,3	333,3
Agua (g)	166,7	233,3	266,7

2.3. Análisis de trituración del residuo

Se establecen distintos tiempos de triturado (10 s, 20 s, 30 s y 60 s) para analizar el tamaño de las partículas producidas en el triturado del residuo en seco. Para el caso particular del tiempo de triturado de 30 s, se pasa la muestra triturada en una torre compuesta por tamices de aberturas #8 (2,36 mm), #16 (1,18 mm), #30 (0,60 mm), #40 (0,43 mm), #100 (0,15 mm) y #170 (0,09 mm) introducida en un tamizador de laboratorio por un tiempo de 10 min.

Los retenidos en cada tamiz son agrupados de a pares, es decir, retenido en #8 y #16, retenido en #30 y #40, y retenido en #100 y #170; y con ellos se generan las probetas correspondientes (Tabla 3).

Tabla 3. Elaboración de probetas para cada proceso y tiempo de trituración

Procesos		Tiempo triturado			
		10 [s]	20 [s]	30 [s]	60 [s]
Sin tamizar		probeta	probeta	probeta	probeta
Tamizado	#8 y #16	-	-	probeta	-
	#30 y #40	-	-	-	-
	#8 y #20	-	-	probeta	-

3. Resultados y discusión

3.1. Residuo sin alterar

En esta alternativa, el tamaño de las etiquetas es relativamente grande con respecto a las dimensiones del elemento moldeado (30x30x3 cm), por lo que resulta frágil, de dificultoso manipuleo y de estética inadecuada, con lo que se descarta su utilización y no se realizan probetas para ensayar. La generación de elementos de mayor espesor o de mayor tamaño también se descarta, dado que la adherencia entre el cemento y las etiquetas sin triturar es muy débil perdiendo continuidad en el elemento fabricado.

3.2. Residuo triturado en húmedo, sin escurrir

En el proceso de mezclado y colado no se presentan inconvenientes y poseen además buena trabajabilidad. Sin embargo, surgen dificultades posteriores al colado en los moldes, debido al exceso de agua libre que filtra por la base de los mismos.

En cuanto al ensayo de resistencia a compresión, la falla de las probetas se da por excesiva deformación, interrumpiéndose el procedimiento al alcanzar una reducción de su altura en 10% (este criterio se aplica para todos los ensayos). En la Tabla 5 se muestra la densidad de cada dosificación, como así también su valor de resistencia.

Tabla 5. Densidad - Resistencia a compresión

Dosificación	Densidad [kg/m³]	Tensión [MPa]
1	478	0,0327
2	769	0,0418

3.3. Residuo triturado en húmedo, escurrido

Durante la generación de las probetas no se presentan dificultades, obteniendo en la mezcla una trabajabilidad adecuada y correcto colado dentro del molde. El inconveniente que se plantea en la opción anterior es parcialmente solucionado, ya que se reduce la cantidad de agua que drena por la parte inferior del molde. Los resultados de resistencia a compresión se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Densidad - Resistencia a compresión

Dosificación	Densidad [kg/m³]	Tensión [MPa]
1	578	0,0190
2	842	0,0436

Las diferencias de los valores obtenidos entre las opciones con el material sin escurrir y escurrido radican en dos factores: el primero es que el agua sobrante produce un mejor acomodamiento de las partículas del residuo y en segundo lugar, la disponibilidad de agua libre en la masa implica que tanto el papel como el cemento puedan disponer de agua para absorción e hidratación respectivamente.

3.4. Residuo triturado en seco

En esta alternativa se dispone del papel triturado en estado seco, por lo que se puede reducir la cantidad de agua, que antes se planteaba como un inconveniente, y a su vez disminuir la razón agua-cemento que conlleva a obtener mezclas menos fluidas y de aceptable trabajabilidad. Esta modificación genera un material más compacto, de mayor densidad y resistencia (Tabla 7).

Tabla 7. Densidad - Resistencia a compresión

Dosificación	Densidad [kg/m³]	Tensión [MPa]
a	967	0,0238
b	1216	0,1248
c	1103	0,0710

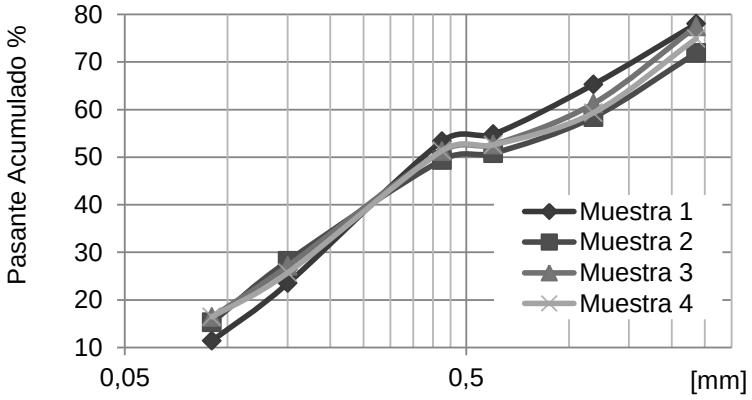
3.5. Análisis de trituración del residuo

Para llevar adelante este análisis se utilizaron las proporciones correspondiente a la dosificación b, dosificación encontrada como óptima para la elaboración de probetas utilizando residuo triturado en seco.

Estas probetas, al ser ensayadas a compresión simple, poseen una fractura superficial que no alcanza al núcleo de la misma, presentando el interior un aspecto diferente al exterior (Fig. 4). Dicho comportamiento se atribuyó al elevado contenido de partículas finas que se encuentran en el residuo triturado.

Fig. 4. Probeta ensayada a compresión simple.

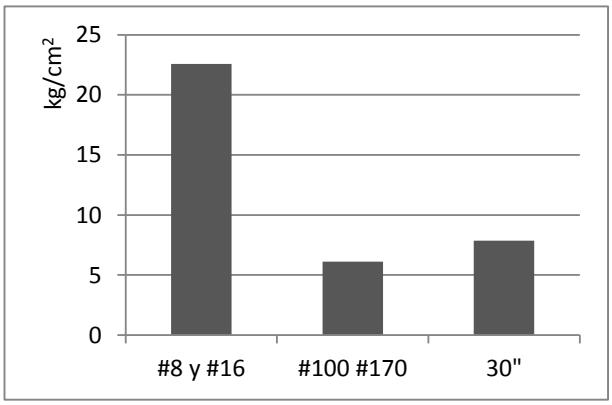
Por tal motivo se plantea la evaluación de la granulometría del residuo triturado en seco por 60 s obteniéndose los resultados mostrados en Gráfica 1. Se puede establecer que la cantidad de material fino (retenido #100 y #170) es elevado, mayor al 25%, y que los retenidos en los tamices #30 y #40 son escasos, presentándose una meseta en la gráfica. Por este motivo, no se moldean probetas con los retenidos en los tamices # 30 y # 40.



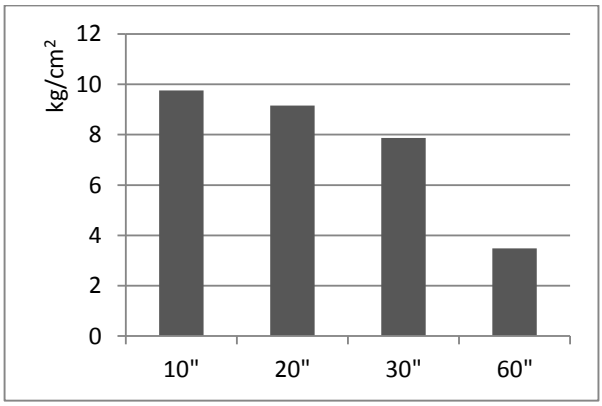
Gráfica 1. Pasante acumulado en función de la abertura de tamices.

En las Gráficas 2 y 3 se comparan los promedios de las resistencias a compresión simple obtenidas para cada conjunto de probetas con igual tratamiento y moldeo, por medio de la cual se

puede enunciar que un incremento en el tiempo de triturado produce mayor cantidad de finos que ocasionan un detrimento de la capacidad resistente del elemento. Así mismo, las probetas moldeadas con residuo triturado por 30 s y seleccionado de tamaño #8 y #16, poseen una resistencia superior que aquellas compuestas por tamaños únicamente de #100 y #170, a su vez las probetas generadas con material sin tamizar triturado durante el mismo tiempo, arroja un valor intermedio.



Gráfica 2. Tensiones promedio (triturado 30 s)



Gráfica 2. Tensiones promedio (distintos tiempos).

4. Conclusiones

- Es factible la aglomeración del residuo con cemento en cualquiera de las alternativas planteadas y se obtienen mejoras en las propiedades de los elementos generados si el residuo se encuentra triturado.
- Triturar el residuo en húmedo genera un inconveniente en el planteo de dosificaciones y en el control del agua en exceso durante el moldeo de elementos.
- El residuo en seco proporciona mejores condiciones de trabajo a la hora de moldear dado que no hay presencia de agua libre.
- El proceso de triturado del papel de etiqueta genera dos fracciones bien definidas, una gruesa y otra fina, la retenida y pasante por el tamiz #16 respectivamente.
- Una mayor cantidad de finos incorporados en el compuesto papel triturado – cemento provocan un detrimento de la capacidad resistente del elemento.
- Para lograr una capacidad óptima de resistencia a compresión de los elementos elaborados en necesario eliminar la fracción fina del papel o modificar el triturado.
- Es necesario continuar con las investigaciones para profundizar el conocimiento de la interacción papel-cemento y de esta manera evaluar la posibilidad de hacer extensivo este tratamiento a otras fuentes de papel además de las etiquetas de cerveza.

5. Referencias

Zanuttini, M.A.(2012). Reciclado celulósico (Red Iberoamerica para la revalorización del reciclado celulósico). Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral, Argentina.

Mohamed, B., Amor, G., Karen, S., Kamel S., Salah H. (2012). Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cementcomposite matrix. Construction and Building Materials. 34, 451-456.

Ackermann C., Gottsching L. y Pakarinen H. (2000). Chapter 10: Papermaking potential of recycled fiber. En: Göttsching,L y Pakarinen, H. (Eds.), Papermaking Science and Technology, Libro 7, pp. 359-438.

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE ESPECIES DE ÁLAMO COMO APORTE A LA NORMA CIRSOC 601

[2] José N. Cortizo, [1] Ignacio Guarino, [1] Fernando Quiroga, [2] Ricardo D. Bassotti, [2] Cristian O. Bay

Alumnos de grado [2] Docentes investigadores
Grupo de Estudio de Estructuras de la Facultad Regional San Rafael
Universidad Tecnológica Nacional
nicocortizo@gmail.com - cbay@frsr.utn.edu.ar

Resumen

Frente a la necesidad de determinar los valores característicos de resistencia de la madera aserrada de Álamo y proponer su incersión en el sistema internacional de clases resistentes se realiza un estudio sobre 398 piezas de álamo provenientes de la zona sur de Mendoza.
A estas piezas se las somete a ensayos de flexión simple para determinar los valores medios y característicos de Resistencia, Rigidez y Densidad según los lineamientos de la norma IRAM 9663 realizando sus correcciones por contenido de humedad y altura de probeta.
Se concluye que la existencia de médula en las piezas de madera de álamo no influye en sus propiedades físico mecánicas.
Para futuros estudios, se plantea la importancia de seguir este análisis en cuanto a la clasificación resistente de la Clase 1, inclusiva y exclusiva respecto a la existencia de médula.

Introducción

Considerando menéster determinar los valores característicos de resistencia de la madera aserrada de Álamo de cultivares del sur de Mendoza; y proponer su incersión en el sistema internacional de clases resistentes aportando los valores de Módulo Resistente, Módulo de Elasticidad y Densidad al reglamento CIRSOC 601 (2013) para su uso en cálculo estructural se someten piezas de tamaño estructural a clasificación visual para determinar su calidad por los criterios de la norma IRAM 9660.
Posteriormente, se realiza la clasificación mecánica automática que, a través de la medida de la Propiedad Indicadora, establece las distintas clases de calidad. Tras este proceso se determina la calidad resistente del ensayo de las piezas hasta la rotura según la norma IRAM 9663 de determinación de las propiedades físico-mecánicas.

Materiales y métodos

En total se estudian 398 piezas de madera estructural de Álamo de diferentes secciones y especies obtenidas de distintos aserraderos de la zona que garantizan la procedencia de los especímenes dentro de los límites geográficos del sur de la Provincia de Mendoza.
Estas piezas se agrupan en 4 muestras según tamaño y proveedor, siendo la más numerosa la muestra N°2 (TR) compuesta por 160 especímenes de 1” x 5”. Luego le sigue en cantidad de probetas, la muestra N°4 (TD) compuestas por tablas de iguales dimensiones pero provistas por otro aserradero. Finalmente tenemos las muestras N°3 (AAD) y N°4 (AR) de 80 y 60 alfajías respectivamente, con dimensiones de 2” x 3”. Todas provenientes de aserraderos de San Rafael.
Luego de clasificar visualmente los especímenes correspondientes a cada muestra según norma IRAM 9662, se obtuvieron las cantidades correspondientes a cada clase resistente y sus porcentajes de incidencia tanto para cada muestra como para el total (tabla 1).

Tabla 1 – Clasificación Visual de Muestras

CLASIFICACION VISUAL DE LA MADERA DE ACUERDO CON IRAM 9662									
MUESTRA	DIMENSIONES DE ESPECIMENES	CLASIFICACION VISUAL						TOTAL	% DE INCIDENCIA
		CLASE I		CLASE II		RECHAZOS			
		CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%		
1 (A.R.)	2" x 3"	17	28.33	32	53.33	11	18.33	60	15.08
2 (T.R.)	1" x 5"	68	42.50	83	51.88	9	5.63	160	40.20
3 (AAD)	2" x 3"	38	47.50	37	46.25	5	6.25	80	20.10
4 (TD)	1" x 5"	68	69.39	26	26.53	4	4.08	98	24.62
TOTAL		191	47.99	178	44.72	29	7.29	398	100

Análisis de resultados obtenidos por la clasificación visual

La Densidad se determinó sobre probetas de pequeñas dimensiones representantes de cada pieza. En la figura 1 se muestran los resultados obtenidos de valores medios y característicos de densidad corregidos para un contenido de humedad del 12%, para las distintas muestras. Los valores totales se calcularon, como dicta la norma IRAM 9664, es decir con la media ponderada de las poblaciones componentes.

Tabla 2 – Valores Medios y Característicos para la Densidad

DENSIDAD - GENERAL					
MUESTRA	VALORES	CLASIFICACION VISUAL			TOTAL
		CLASE I	CLASE II	RECHAZOS	
1 (A.R.)	MEDIO	421.12	429.53	424.27	426.18
	PERCENTIL 5%	368.50	351.89	354.40	355.82
2 (T.R.)	MEDIO	429.77	408.88	438.22	419.41
	PERCENTIL 5%	359.73	343.24	376.96	348.01
3 (AAD)	MEDIO	419.84	430.97	423.20	425.20
	PERCENTIL 5%	359.69	352.80	371.79	352.76
4 (TD)	MEDIO	429.94	429.35	433.25	429.92
	PERCENTIL 5%	400.31	397.22	408.01	399.86

Fig. 1 – Valores de Densidad

Se observa que el valor de la densidad es muy homogéneo, con muy poca variación, ya sea para las distintas clases resistentes como para las distintas muestras.
A la vista de cualquiera de los análisis se aprecia que no existen diferencias significativas entre las distintas muestras, y que si bien las fluctuaciones de valores entre los valores máximos y mínimos para cada una varían considerablemente, en especial los máximos, los valores medios son muy homogéneos y casi idénticos para las cuatro muestras.
Comparando el rango de valores totales de las muestras, la muestra 4 alcanza un rango de valores bastante más acotado que el resto, y muy próximos a la media, pudiendo deberse al hecho de que se trate de maderas de una misma especie de álamo, en caso de suponer que la densidad varía según la especie en cuestión.
Para el caso de la Resistencia se realizó el procedimiento que dicta la norma IRAM 9663 y los resultados obtenidos fueron para el Módulo de Rotura a flexión (MOR), se presenta la Figura 2. En ella, de nuevo se analizan los resultados para las distintas clases resistentes establecidas por la norma IRAM 9662.

Tabla 3 – Valores Medios y Característicos para MOR

MOR - GENERAL					
MUESTRA	VALORES	CLASIFICACION VISUAL			TOTAL
		CLASE I	CLASE II	RECHAZOS	
1 (A.R.)	MEDIO	40.35	26.64	21.54	29.59
	PERCENTIL 5%	29.60	14.23	12.84	13.12
2 (T.R.)	MEDIO	41.94	37.78	36.48	39.48
	PERCENTIL 5%	29.20	26.54	25.97	26.45
3 (AAD)	MEDIO	42.49	39.15	41.42	40.88
	PERCENTIL 5%	24.94	23.31	25.92	23.69
4 (TD)	MEDIO	40.53	36.06	43.34	39.46
	PERCENTIL 5%	29.34	26.69	37.00	26.82

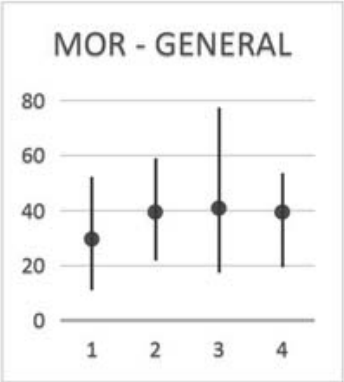


Fig. 2 – Valores de MOR

Se aprecia el comportamiento esperado, de que los valores de resistencia de la Clase 1, sean mayores que los de la Clase 2, y los de ésta última mayor a los de Rechazo. Este comportamiento se cumple tanto en los resultados medios como en los característicos (percentil 5%), lo que confirma la utilidad de la clasificación visual.
Haciendo un análisis de la varianza (ANOVA) se concluye que existen dos grupos diferenciados de muestras basados en la media del MOR. Las muestras 2, 3 y 4 forman uno de ellos, siendo los datos de 3 los de mayor intervalo. El segundo grupo está constituido por una única muestra, la N° 1, aportando las medias de resistencia más bajas en este estudio.
De acuerdo con la norma IRAM 9664, otra propiedad responsable de la clasificación mecánica de una especie de madera es el módulo de elasticidad (MOE). A continuación se presenta la tabla 4 con los valores obtenidos para dicha variable clasificadora al 12% de humedad, para las diferentes clases resistentes y para cada muestra analizada.
Antes de comenzar vale aclarar que sólo se analiza el módulo de elasticidad global en flexión para las muestras 2, 3 y 4 debido a que en la muestra N° 1 no se determinó el MOE Global sino que los valores obtenidos corresponden al MOE Local.

Tabla 4 – Valores Medios y Característicos para MOE

MOE Global - GENERAL					
MUESTRA	VALORES	CLASIFICACION VISUAL			TOTAL
		CLASE I	CLASE II	RECHAZOS	
2 (T.R.)	MEDIO	8328.62	8191.54	8209.67	8250.82
	PERCENTIL 5%	5412.73	6255.87	6479.72	6060.67
3 (AAD)	MEDIO	10193.70	9821.97	10650.80	10050.40
	PERCENTIL 5%	7994.81	5510.06	8520.66	6770.91
4 (TD)	MEDIO	10060.80	9630.88	10218.30	9953.17
	PERCENTIL 5%	8282.06	7871.82	9149.44	8137.06

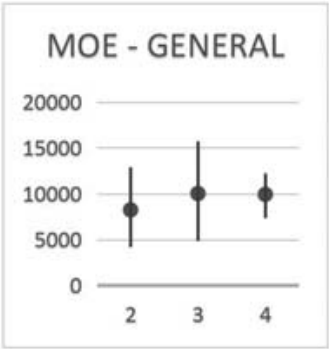


Fig. 3 – Valores de MOE

Como primeras observaciones a la vista de los resultados de la Figura 3, las clases definidas por la norma IRAM 9662 cumplen las condiciones de Clase 1, demostrando la eficacia en la diferenciación entre clases que aporta dicha norma (exceptuando el valor característico para la muestra 2).
El gráfico de la Figura 3 representa los resultados obtenidos en un test de múltiples rangos, estableciendo dos grupos de regiones homogéneas claros, el formado por las muestras 3 y 4 y el de la muestra 2.
Como resumen del comportamiento de las muestras objeto de estudio frente a las propiedades físico-mecánicas, se presentan en la tabla 2 los resultados medios, distinguiendo entre valores

bajos (B), medios (M) y altos (A) para las distintas muestras obtenidos de un análisis de varianza (ANOVA):

Tabla 5 – Comparación de Valores Medios

GENERAL				CLASE I				CLASE II			
MOR	B	M	A	MOR	B	M	A	MOR	B	M	A
1	29.6			1		40.4		1	26.6		
2		39.5		2			41.94	2		37.8	
3		40.9		3			42.49	3		39.2	
4		39.5		4		40.5		4		36.1	
MOR	37.35			MOR	41.33			MOR	34.91		
MOE	B	M	A	MOE	B	M	A	MOE	B	M	A
2	8251			2	8329			2	8192		
3			10050	3			10194	3		9822	
4		9953		4			10061	4		9631	
MOE	9418			MOE	9528			MOE	9215		
DENSIDAD	B	M	A	DENSIDAD	B	M	A	DENSIDAD	B	M	A
1		426		1		421		1			430
2		419		2			430	2	409		
3		425		3		420		3			431
4			430	4			430	4		429	
DENSIDAD	425			DENSIDAD	425.25			DENSIDAD	424.75		

Análisis sobre la influencia de la médula en las clases resistentes

La norma IRAM 9662 define a la presencia de médula, ya sea en el interior de la pieza o en sus superficies, como uno de los parámetros que reducen la capacidad resistente de la pieza. Para el caso puntual del Álamo, se intenta demostrar en el análisis siguiente que la presencia de médula no influye en su calidad resistente, ya sea estando ubicada en el interior o en las superficies de la pieza.
Se analizan 98 piezas de 1” x 5” correspondientes a la muestra 4 (ver clasificación en Tabla 1). A continuación, en la tabla 3, puede observarse la distribución de piezas resultantes en cada clase para dicha muestra:

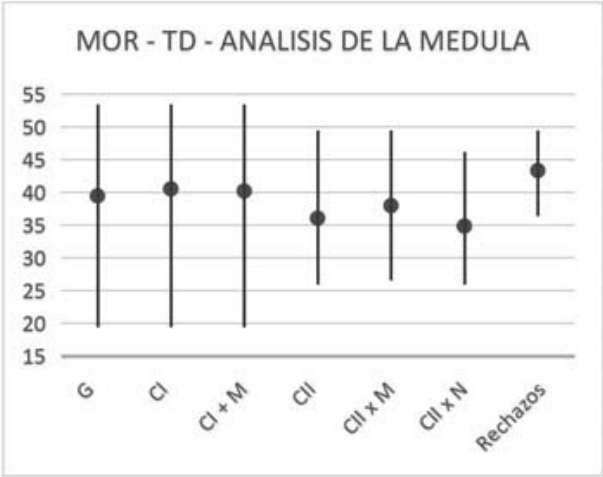
Tabla 6 – Clasificación de Tablas según existencia de Médula

CLASIFICACION SEGÚN EXISTENCIA DE MEDULA PARA CLASE II						
MUESTRA	DIMENSIONES DE ESPECIMENES	CLASE II				TOTAL
		POR MEDULA		POR NUDOSIDAD		
		CANT.	%	CANT.	%	
TD	1" x 5"	10	38.46	16	61.54	26

En la tabla 4 se toman los valores del módulo de rotura a flexión, corregido para la dimensión de referencia de 150 mm, del módulo de elasticidad global y densidad corregidos a la humedad de referencia del 12%, de acuerdo con IRAM 9663 para los distintos grupos planteados. Siendo: ***G***, el total de las piezas; ***CI***, las piezas correspondientes a la Clase I según norma; ***CI+M***, las piezas correspondientes a la Clase I más las que poseen médula sin nudosidad; ***CII***, las piezas correspondientes a la Clase II según norma; ***CIIxN***, piezas de Clase II únicamente por nudosidad; ***CIIxM***, piezas de Clase II únicamente por presencia de médula; ***Rechazos***, aquellas no pertenecientes a ninguna clase resistencia por exceso de defectos.

Tabla 7 – Valores Medios y Característicos para las distintas clases según existencia de Médula

TD - ANALISIS DE LA MEDULA								
VARIABLE	VALORES	CLASIFICACION VISUAL						
		G	CI	CI + M	CII	CII x N	CII x M	Rechazos
MOR	MEDIO	39.46	40.53	40.21	36.06	34.85	37.98	43.34
	CARACT. 5%	26.82	29.34	26.82	36.69	27.63	26.74	37.00
	CARACT. 7.5%	29.13	30.81	29.74	26.83	28.33	26.78	37.31
MOE	MEDIO	9953	10061	10064	9631	9348	10084	10218
	CARACT. 5%	8137	8282	8310	7872	7692	8900	9149
DENS.	MEDIO	430	430	431	429	426	435	433
	CARACT. 5%	400	400	401	397	392	408	408



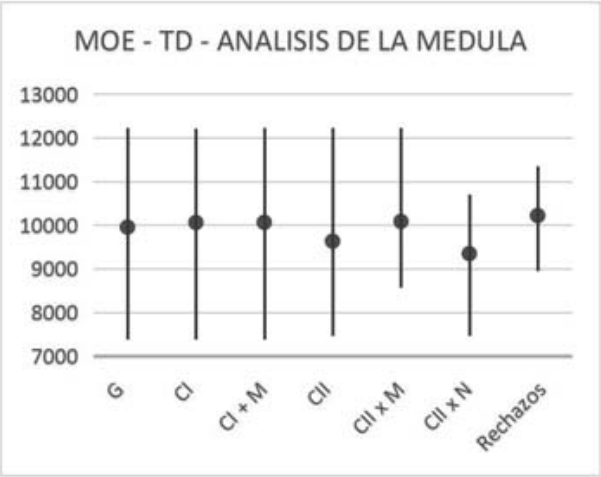


Fig. 4 a y b – MOR y MOE según la existencia de Médula

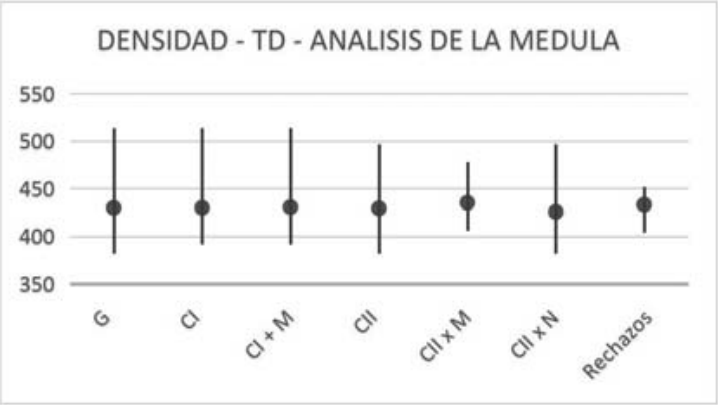


Fig. 5 – Densidad según la existencia de Médula

Conclusiones

Del análisis de las 398 piezas ensayadas se concluye en que los valores medios obtenidos para las distintas clases resistentes son aptos para su uso en cálculo estructural de construcciones de madera de álamo en el sur de Mendoza.
Según el estudio realizado, sobre las 98 piezas de la muestra 4, se concluye que la existencia de médula en las piezas de madera de álamo no influye en sus propiedades de Resistencia, Rigidez y Densidad.

Existe una tendencia significativa al aumento de los valores de resistencia, rigidez y densidad de la segunda clase al incluir las piezas con presencia de médula en ella, por lo que se cree conveniente que las piezas con existencia de médula se consideren en la primer clase resistente siempre y cuando estén libres de nudosidad.
Para futuros estudios, se plantea la importancia de seguir este análisis en cuanto a la clasificación resistente de la Clase 1, inclusiva y exclusiva respecto a la existencia de médula. Y en particular, para el caso de la Densidad, el evaluar la hipótesis de que existe una zona próxima a la médula, en donde parece que aumenta la densidad de la madera.-

Referencias

Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2013). CIRSOC 601. Reglamento Argentino de Estructuras de Madera.
Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2006). Norma IRAM 9662-1. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 1: Tablas de pino Paraná (Araucaria angustifolia).
Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2006). Norma IRAM 9662-2. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 2: Tablas de eucalipto (Eucalyptus grandis).
Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2006). Norma IRAM 9662-3. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 3: Tablas de pino taeda y ellioti (Pinus taeda y elliottii).
Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (En estudio). Norma IRAM 9662-4. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 4: Tablas de álamo (Populus deltoides).
Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2011). Norma IRAM 9663. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.
Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2011). Norma IRAM 9664. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EN APOYO A LA GESTIÓN ENERGÉTICA EN PYMES AVALANDO LA NORMA ISO 50001

Javier Marchesini[1], Gastón Andres[1], Rodrigo María García[1], Javier Ciceri[1], Augusto Rende[1], Gonzalo Muzzi[1].

Tutores/Directores: Leopoldo Nahuel[1], José Maccarone[2]

[1] Grupo de I&D Aplicado a Sistemas Informáticos - GIDAS, Dpto. de Sistemas, UTN FRLP.

[2] Grupo de Investigación de Energías Sustentables y Efic. Energética - GIESEE, Dpto. de Electrotecnia, UTN FRLP.

{lnahuel, jmaccarone, jmarchesini,gandres,rmgarcia,jciceri,arende,gmuzzi}@frlp.utn.edu.ar

Resumen

En el presente artículo se busca presentar el desarrollo de una herramienta software capaz de ayudar a realizar autogestión energética, contemplando los requisitos para en el futuro poder implementar y certificar la norma ISO 50.001 sobre Sistemas de Gestión de la Energía (SGE), y mostrar avances sobre desarrollo de tecnologías aplicadas, como parte de las actividades de investigación del Proyecto de I&D (PID homologado por SCTyP del Rectorado UTN) denominado "Desarrollo de instrumentos de relevamiento energético y de algoritmos necesarios para un software de gestión energética de organizaciones".

Se procura como objetivo primordial exponer el alcance y los avances de la herramienta software, considerando como avance más significativo su desarrollo sobre tecnologías basadas en la nube. Se describirán las tecnologías utilizadas en esta nueva plataforma y la potencialidad de desarrollar bajo éste paradigma, con el fin de destacar la potencialidad de la herramienta software que posee dentro del ámbito de eficiencia energética en PyMEs.

Introducción

La situación energética global ha cambiado en el último siglo. En los últimos 20 años, el crecimiento del consumo se ha duplicado y los estudios realizados muestran una tendencia de crecimiento notable.

La energía se transformó en un indicador clave en las organizaciones, y para lograr un uso eficiente, la Organización Internacional de Normalización (ISO) desarrolló la norma ISO 50001, donde establece requisitos para la implementación de un SGE. Esta normativa puede adaptarse a todo tipo de organización, planteando como principal objetivo la mejora continua.

La gestión energética es un tema fundamental para el desarrollo estratégico de PyMES, considerando que un uso eficiente implica un ahorro de costos y futuro sostenible. En la actualidad, una mala gestión energética acarrea dos grandes problemas. Por un lado el uso ineficiente hace que las empresas paguen elevadas multas económicas, y por otro, las actividades relacionadas con la generación de energía provocan un impacto al medioambiente.

Recurriendo a las TIC, se propone el uso de tecnologías bien conocidas del campo de computación e informática para lograr una aplicación software llamada EnMa Tool (Energy Management Tool) que brinde apoyo a la autogestión energética de PyMEs, para brindar

información valiosa que ayude a tomar decisiones correctas y paliar los efectos del consumo energético ineficiente, dando lugar al buen uso de los recursos disponibles. [1,2,3]

EnMa Tool: una propuesta tecnológica de soporte a la certificación ISO 50001

La Organización Internacional de Normalización (ISO) [4], escribió en 2011, una norma para el gerenciamiento energético y la concientización del uso eficiente de la energía. Esta norma lleva el nombre de ISO 50001 Energy Management Systems y ha sido aceptada y aplicada en diversos sectores en varios países con buenos resultados [5]. El objetivo general de esta normativa es brindarle a las organizaciones los procedimientos para que puedan obtener los sistemas y procesos adecuados para reducir el consumo energético así como para hacer un uso eficiente y mejorar el rendimiento de la energía utilizada.

Si bien la norma establece procedimientos sobre los tres niveles a nivel general de una organización (táctico, operacional y estratégico), hace hincapié sobre el más alto, es decir sobre la alta gerencia o nivel estratégico. De alguna manera esto da lugar a comprender que buenas decisiones son claves para mejorar la eficiencia de los recursos, y para lograr buenas estrategias de alto nivel, la alta gerencia debe contar con información de calidad. Es en este punto que EnMa se hace relevante. La aplicación propuesta está diseñada para dar soporte a la normativa ISO 50001 en etapas concretas de los procesos que propone, de modo que su objetivo principal será brindar información relevante generada a partir de datos sobre el consumo energético de la organización. Esta información servirá como entrada para la toma de decisiones a nivel estratégico y operativo.

Organización y forma de trabajo de la norma ISO 50001

La norma de sistemas de gestión de energía trabaja sobre un proceso PDCA (Plan, Do, Check, Act = planificar, hacer, verificar, actuar), a la vez que propone un ciclo de mejoramiento continuo en el cual se establece una realimentación constante en base a los datos relevados de la verificación (Figura 1).

Fig. 1: Modelo del sistema de gestión energético propuesto por la ISO 50001

Los pasos del proceso PDCA para el sistema de gestión energética de la ISO 50001 pueden describirse como sigue:

-Planificar: realizar la revisión y establecer la línea base de la energía, indicadores de rendimiento energético, objetivos, metas y planes de acción necesarios para conseguir resultados de acuerdo con las oportunidades para mejorar la eficiencia energética y la política de energía de la organización.

-Hacer: poner en práctica los planes de acción de la gestión de la energía.

-Verificar: monitorear y medir los procesos y las características claves de sus operaciones que determinan el rendimiento de la energía con respecto a la política energética y los objetivos e informar los resultados.

-Actuar: tomar acciones para mejorar continuamente la eficiencia energética y el sistema de gestión energética.

EnMa Tool en el marco de los Sistemas de Gestión Energética

La norma ISO 50001 no aplica sobre un tipo de energía específico. Esta propiedad la hace versátil y permite que sea aplicada sobre cualquier tipo de energía. Como se sugirió oportunamente, el aplicativo software propuesto en este trabajo, funcionará como apoyo a algunos procesos para la implementación de un sistema integral que cumpla con la norma. Igualmente, EnMa podría ser utilizado en una organización que no tenga planes de certificar o que no piense en llevar adelante un proceso de gestión según la norma, sin ningún problema y del mismo modo, poder hacer uso de la herramienta para tomar decisiones estratégicas sobre el uso de la energía.

EnMa funciona básicamente computando los datos de consumo eléctrico. A medida que se vayan cargando se irán almacenando en una base de datos y estarán disponibles cada vez que se los requiera. En base a estos datos, la herramienta proporcionará informes y reportes que asistirán al personal idóneo a tomar decisiones relevantes para la gestión energética.

Desarrollo experimental

En cuanto a los aspectos técnicos, podemos mencionar cuestiones de diseño, de implementación y el paradigma o plataforma de sustento. Como concepto general, se eligieron todas tecnologías open source (de código abierto, es decir, no propietarias), debido a su gratuidad, gran potencial, y amplio soporte de la comunidad mundial de desarrolladores.

Para el diseño de la herramienta se optó por el enfoque de la Ingeniería de Software Basada en Modelos (ISBM) [6]. Este paradigma de diseño y desarrollo funciona de manera análoga a cualquier otro proyecto de ingeniería en otras disciplinas. Esto es: se comienza con la diagramación de un modelo que se nutre de los aspectos principales del dominio y nos abstrae de detalles irrelevantes en un principio, lo cual nos permite lograr un mejor entendimiento del problema. Luego, en base a los modelos, se procede mediante un proceso de desarrollo determinado hasta lograr la aplicación. Para esto hacemos uso de distintas técnicas y procesos del campo de la Ingeniería de Software.

Para la implementación de la solución, se utilizó el patrón de diseño MVC [7] (Modelo-Vista-Controlador), un estándar en lo que respecta a desarrollo web, con una gran comunidad de colaboración, ampliamente documentado y validado por su propio éxito en todo tipo de implementaciones.

Todo el desarrollo opera bajo el paradigma Cloud Computing (computación en la nube), es decir, como un servicio que se brinda a través de servidores en Internet, lo cual permite a EnMa atender peticiones en cualquier momento y desde cualquier dispositivo (móvil o fijo) ubicado en cualquier lugar, mientras que tenga acceso a Internet y un navegador web.

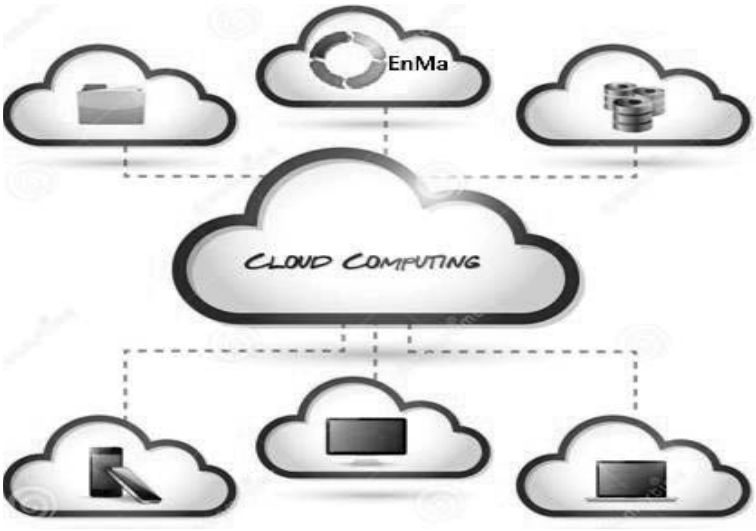


Fig. 2: Arquitectura Cloud Computing aplicada a EnMa Tool

Esto genera muchos beneficios tanto para el usuario que puede acceder al servicio de manera ubicua, como para la provisión del servicio, flexible y adaptable, que permite una mejor respuesta ante picos de uso del servicio.

Por otro lado, para el desarrollo y la implementación de EnMa Tool se eligieron las siguientes Tecnologías:

- Para el Backend: CakePHP v2.7 (framework basado en MVC), MySQL (motor de base de datos).
- Para el Frontend: HTML5, CSS3 (estilos), JavaScript, JQuery, Bootstrap.

Como producto de una segunda iteración de este proyecto se consiguió una aplicación con funcionalidades acotadas al estudio de la eficiencia en Energía Eléctrica. Este primer prototipo cuenta con las funciones principales más relevantes para una primera validación de la interfaz de usuario y manejo basado en la nube, como así también la salida y presentación de algunos reportes básicos.

En la Figura 3 se observa la pantalla principal de facturas cargadas que tendrá cada usuario:

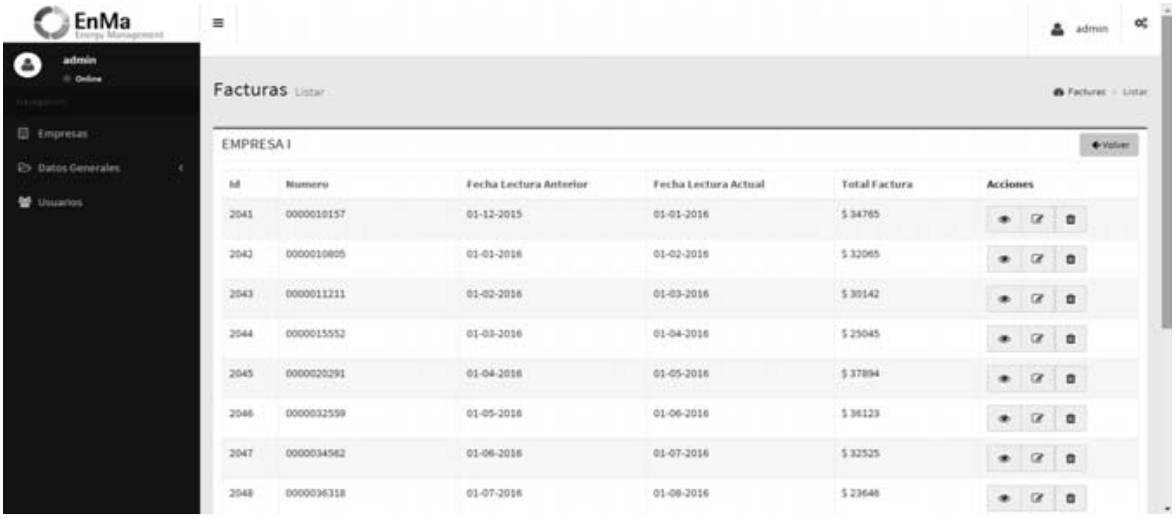


Fig. 3: Pantalla de facturas cargadas – GUI web de EnMa

El uso básico implica cargar los datos que identifican a la empresa u organización sobre la cual se va a trabajar (nombre, dirección, rubro, etc.). Esto se puede ver en la Figura 4, donde se podrá ver la vista de empresas cargadas en el sistema:

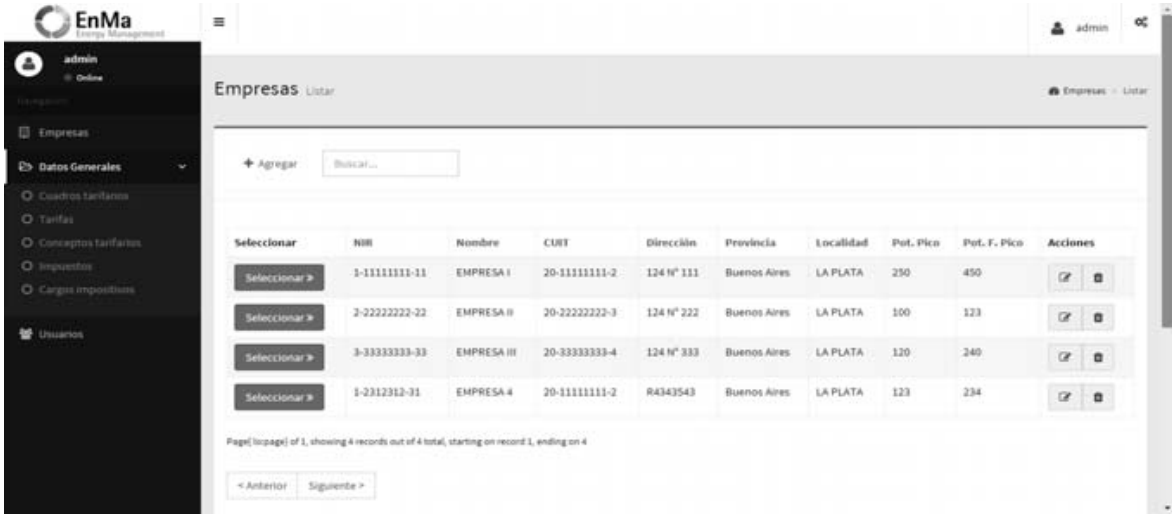


Fig. 4: Pantalla de empresas registradas – GUI web de EnMa

Como ya se mencionó, la posibilidad de procesar la información de entrada para obtener reportes a medida es la función principal de EnMa. Estos reportes serán la entrada de otros procesos contemplados en la norma ISO 50.001 y servirán como información relevante para la toma de decisiones en aspectos de eficiencia energética. En este primer prototipo se realiza la carga de facturas de consumo energético, las cuales se almacenan y procesan en los servidores en la nube. En la Figura 5 se puede observar un reporte que describe la cantidad consumida de energía eléctrica de una empresa, mostrando la diferencia entre la potencia contratada (línea roja) y la potencia consumida (línea verde).

El esquema de la base de datos es tal que permite el almacenamiento de toda la información de una factura de consumo energético a la vez que se mantienen los datos de otras facturas históricas, de manera de poder usar la potencia de un motor relacional para lograr obtener consultas tan complejas como sean necesarias según el reporte solicitado. En versiones

posteriores se agregará la posibilidad de que el usuario pueda armar los reportes mediante la interacción con la interfaz web.

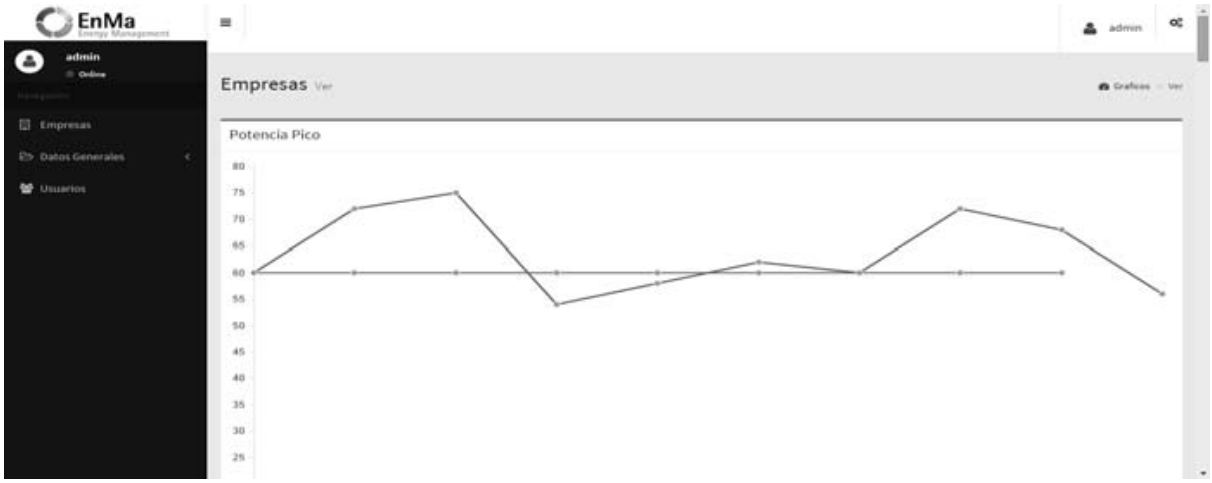


Fig. 5: Pantalla de reporte cuantitativo sobre el consumo – GUI web de EnMa

Conclusiones

Se constató la utilidad de la aplicación para la toma de decisiones sobre las contrataciones del suministro eléctrico y la concientización del consumo energético, y los beneficios del uso de tecnologías basadas en la nube en cuánto a acceso ubicuo y disponibilidad, entre otros.

La herramienta se puede adaptar a múltiples tareas y procesos detallados en la norma ISO 50.001, pudiendo de esta manera servir como una ayuda a una futura certificación si la organización lo desea. También se destacan buenos resultados en el aporte de la Ingeniería en Sistemas sobre proyectos multidisciplinarios orientados a la gestión ambiental y optimización en el uso de recursos energéticos.

En esta primera etapa de desarrollo, EnMa provee funcionalidades limitadas a la gestión de energía eléctrica pero ha sido suficiente para verificar resultados y validar los métodos y el diseño empleado. En próximas iteraciones del proceso de desarrollo, se prevé que EnMa podrá incorporar datos de consumo de otras fuentes de energía como agua y gas.

Referencias

[1] Nota Técnica N° 22 “El Mercado Eléctrico Argentino”. Ministerio de Economía de la Nación. http://www.mecon.gov.ar/peconomica/informe/notas_tecnicas/22%20NOTA%20TECNICA%20Nivel%20de%20A ctividad%20%20inf%2070.pdf
[2] Energía Eléctrica y medio ambiente, Endesa Educa: http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/xxv.-la-energia-electrica-y-el-medio-ambiente#energia%20electrica
[3] Informes estadísticos del sector energético 2011. Secretaría de Energía, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3728
[4] ISO - International Organization for Standardization: www.iso.org
[5] ISO 50001 Energy Management Systems: http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso50001.htm
[6] Pressman Roger S. “Ingeniería del Software, Un enfoque práctico”. Séptima edición. McGraw-Hill. ISBN: 9786071503145
[7] Jason E. Sweat - PHP Architect's Guide to PHP Design Patterns

TRANSPORTE TERRESTRE DE CARGA. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RENDIMIENTO Y COMPETITIVIDAD

Autor: Santini Cristian. Legajo UTN 8199.
Tutor: Ing. Marcelo Costamagna – Depto. Mecánica.
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Villa María

Resumen

En el presente trabajo se realiza un análisis comparativo de rendimiento energético de cada tipo de transporte de cargas, intentando detectar posibles mejoras tanto inmediatas como así también lineamientos futuros a seguir para conseguir un eficiente uso de los mismos. Basándose en datos extraídos de las fichas técnicas correspondientes, se analiza por separado, cada tipo de transporte. Una vez realizado este estudio, se procede a la comparativa de los mismos y a la interpretación y conclusión del ensayo.

Palabras clave: Transporte de carga, ferrocarril, bitren, energía.

Introducción

En los pasados años 2014 y 2015, diferentes factores afectaron de manera directa el rendimiento de los tipos de transporte terrestre de carga que se utilizan hoy en Argentina. El ferrocarril, luego de décadas de desatención y mantenimiento casi nulo, es beneficiado por políticas de reactivación y modernización tales como el reciente proyecto (a cargo de la empresa estatal “Fabricaciones militares”) de fabricación de vagones 0km tipo tolva, tolva contenedor y cisterna. Esta medida, entre otras, tiene como fin último la recuperación del protagonismo que este medio tuvo tiempo atrás. Por su parte, el transporte de carga por carretera, ve acrecentado su rendimiento considerablemente con la introducción del bitren, estructura de tipo modular, donde se diferencia el tractor, y dos semirremolques conectados entre sí con un enganche tipo “B”. Los pesos y cantidad de ejes en tándem de estas unidades, varían dependiendo de la carga que se vaya a transportar.

Estos desarrollos, sumados a los ya existentes, plantean un nuevo campo de análisis y comparación entre ellos. Es por esto que se considera de relevancia, el estudio que lleve a conocer los rendimientos de cada tipo de transporte, analizando además, la rentabilidad de los mismos.

Carga a transportar

Antes de comenzar con el análisis, es preciso definir, el tipo de carga a transportar. Se toma en cuenta el informe realizado por la bolsa de cereales de la provincia Córdoba, del cual se extrae la campaña de producción de granos en el periodo 2014/2015. En este periodo, el 62.6% de la producción fue soja. Por ello, tomaremos los valores de peso específico de este tipo de grano para proceder.

El peso específico de soja por metro cubico oscila entre 650 y 750 kg. La variación en el peso del metro cubico se debe a la humedad de la misma y la cantidad de cuerpos extraños que contenga.

El transporte ferroviario

El decreto 1168/92 promulgado a principios de la década del 90, limitó en gran medida el transporte ferroviario de pasajeros dejando así un sistema dedicado, salvo excepciones, al transporte de cargas. Como consecuencia inminente de este nuevo escenario, la red funcional y logística del sistema fue adaptada casi en su totalidad, al transporte nacional de mercancías.

No fue sino hasta el decreto 1261/04, el cual promovía el regreso del transporte de pasajeros, que se debió replantear el sistema y la convivencia entre los dos fines para el servicio. Estos replanteos, obligaron a realizar un estudio que permitiera el uso eficiente de este recurso, y planteara los pasos a seguir para lograr una adecuada intermodalidad con los demás modos de trasporte existentes.

Es en esta correcta intermodalidad donde se encuentra la frontera de acción deseable del actual sistema ferroviario argentino de cargas. El extracto de un estudio del banco mundial, indica que "el transporte ferroviario de cargas podría contribuir en mayor medida a la competitividad del comercio mediante una mayor participación en el transporte interno de graneles y contenedores"[1]. Para conseguir un aumento en la participación de este sistema, es necesario el accionar del estado nacional, y de los operadores privados actualmente concesionarios. Este accionar abarca aspectos jurídicos, institucionales, técnicos y de inversión entre otros.

Definición del material tractor y remolcado a analizar

-Locomotora

Se definirá la locomotora promedio que se utilice en el trasporte de cargas, y se adoptarán sus características físicas, de consumo y rendimiento para realizar el estudio correspondiente.

La locomotora elegida para el estudio, será la GT22CW. Se opta por ella, debido al extendido uso que tuvo y aún tiene dentro del transporte tanto de carga como de pasajeros. Se extrae de la bibliografía consultada, los aspectos técnicos inherentes al ensayo tales como el consumo, de unos 159 litros de gasoil por hora, y su capacidad arrastre, de 2000 toneladas[2].

-Vagón

Para el estudio del material remolcado, se utilizará como modelo el vagón tolva cerealero, desarrollado por la empresa estatal Fabricaciones Militares[3].

Entre las características necesarias para el cálculo encontramos su tara, de 18,5 t, su peso máximo por eje, de 16 t y su peso máximo sobre el riel de 60 t.

Otra cuestión importante, es su capacidad volumétrica, la cual limitará el peso portante, según el tipo de carga a transportar. Estos vagones cuentan con una capacidad volumétrica máxima de 60 m^3.

Conociendo la capacidad máxima de la locomotora seleccionada (2000 t) y el peso máximo de los vagones (60 t sobre el riel) hallamos:

Cap. máxima locomotora/peso máximo vagon= 2000t/60t=33.33

Se decide utilizar para el cálculo, 32 vagones completamente cargados, para contemplar la posible pérdida de potencia de la locomotora por desgaste o deficiencia en los rieles de tránsito.

Ahora bien, si disponemos de una capacidad volumétrica de 60 m^3 en cada vagón, será posible transportar:

$60m^3$ X $700kg/m^3$= 42 t

La suma de este valor con la tara del vagón, nos arroja un resultado de 60,5 ton, 0,5 ton más de lo permitido como peso máximo sobre el riel. Por lo tanto se tomara como referencia de carga 41,5 ton de soja.

Si multiplicamos este valor por la cantidad de vagones: 41,5 t X 32: 1328 t.

Esto indica que la locomotora no tendrá problema alguno en remolcar los vagones, debido a que su capacidad de carga máxima es superior a la calculada.

Ahora bien, si suponemos la velocidad promedio en 40 km/hs (tren totalmente cargado) podemos deducir entonces que, si el consumo es de 159 lts por hora, el consumo requerido para transportar 1328 ton de soja, será de:

$$\frac{consumo\,horario}{velocidad\,promedio} = \frac{159\,lts/hs}{40\,km/hs} = 3.975\,lts/km$$

Transporte por carretera

A diferencia del sistema antes analizado, el transporte de carga por carretera fue protagonista de un crecimiento sin pausa, impulsado por diferentes eventos históricos que se estudiarán a continuación.

A fines de la década del ’50 la inversión privada en sectores de la industria como la automotriz, la del acero y el petróleo, mantuvo el crecimiento dinámico de este tipo de transporte e intensificó la importancia de la infraestructura vial[4].

Entre 1960 y 1970, la red pavimentada se vio duplicada e incrementada un 50%.

Teniendo dimensión del lugar que ocupa este sistema dentro del transporte de cargas en el país, se procede con el análisis de su rendimiento, de modo análogo al realizado anteriormente.

Definición del material tractor y remolcado a analizar

-Camión

El camión elegido para este análisis el Ford Cargo 1729 modelo 6.7 L. Es un camión de dimensiones intermedias, con un peso de 6000kg y motor de 6693 cm^3 alcanza una potencia máxima de 290 CV a 2300 RPM.

El consumo aproximado de este camión totalmente cargado, oscila entre los 25 y 30 lts de gasoil por hora.

-Semirremolque

El material remolcado analizado en esta sección será un semirremolque tipo tolva cerealero 2+1 de la empresa Ombu. Su capacidad y dimensiones se detallan a continuación.

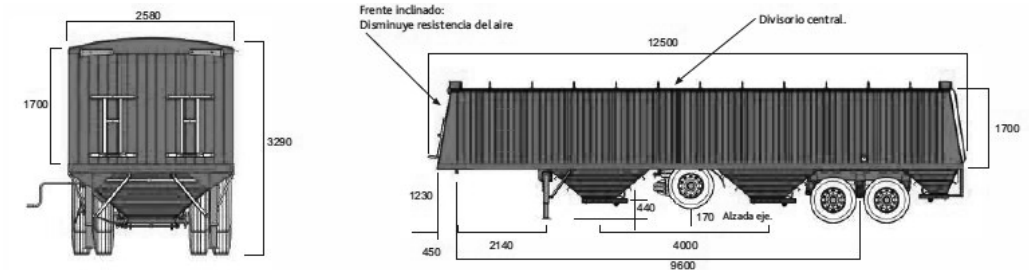


Figura N° 1 - Cotas principales del semirremolque modelo analizado.

Capacidad volumétrica: 54 m^3

Ahora bien, conociendo la capacidad de carga del semirremolque, se procede a calcular la cantidad máxima de toneladas que podrá transportar, cuando esté totalmente cargado y subsiguientemente, la relación con el consumo de combustible empleado para tal fin.

Capacidad de carga neta x peso esp. Soja= 54 m^3 x 700 kg/m^3 = 37,8 ton

PBTC (Peso bruto total combinado) = W_{camion} + W_{tara} + $W_{carga\ neta}$=

6000kg + 8180 kg + 37800 kg = 51980 Kg

Si dividimos el valor obtenido por la cantidad de ejes de la configuración analizada (1S+1D+1D+2D) observamos que el peso total sobre cada eje será aproximadamente de 10396 kg. Este peso, es aceptable, debido a que está por debajo del límite establecido por la ley 24.449 de 10500 kg por eje.

Si suponemos una velocidad promedio de marcha de 80 km/hs y realizando un análisis análogo al del sistema ferroviario, podemos interpretar que:

$$\frac{consumo\,horario}{velocidad\,promedio} = \frac{27.5\,lts/hs}{80\,km/hs} = 0.343\,lts/km$$

Para transportar 37,8 toneladas de soja, un camión con semirremolque consumirá 0.343 lts por km.

Bitren

Es preciso analizar ahora, el rendimiento del nuevo desarrollo para transporte de carga por carretera, el bitren. Este nuevo concepto, fue habilitado para el uso dentro del territorio nacional en el año 2014 mediante el dictado del decreto 574/2014[5].

Para el remolque del mismo, se empleara en el estudio un camión de mayor potencia. Este camión es el Cargo 2842, modelo FPT CURSOR 10.2 l .Con un peso aproximado de 9000kg y cilindrada de 10300 cm^3 logra una potencia máxima de 420 CV a 2100 RPM. El consumo aproximado de este camión esta entre los 28 y 35 lts/hs.

Como material remolcado se analiza el bitren desarrollado también por la empresa Ombu.

Los datos técnicos ofrecidos por el fabricante son los referidos al PBTC (peso bruto total combinado) y a la distribución de peso por cada eje.

Para este caso el PBCT es de 75 ton. Para la disposición de ejes analizada (1s+2d3d3d), la distribución de pesos será de 6+18+25,5+25,5[(4)].

Si la tara aproximada del conjunto bitren es de 14500kg, el peso correspondiente a la carga neta a transportar será de 51500 kg ya que:

PBTC (75000 kg) – Wcamion (9000kg) - Wtara bitren (14500 kg) = Wcarga neta

Si suponemos una velocidad promedio de marcha de 80 km/hs y realizando de nuevo el análisis anterior:

$$\frac{consumo\,horario}{velocidad\,promedio}=\frac{32\,lts/hs}{80\,km/hs}=0.4\,lts/km$$

Para transportar 51,5 toneladas de soja, un camión con semirremolque tipo bitren consumirá 0.4 lts por km.

Comparativa de resultados

Luego de realizado el estudio a cada tipo de transporte podemos concluir lo siguiente:

-Un tren totalmente cargado, compuesto por una locomotora GT22CW y 32 vagones tipo tolva cerealero equivale (en capacidad de carga) a 35 camiones con semirremolque o a casi 26 camiones con bitren.

-En comparación, el consumo requerido por un tren para trasportar una tonelada de soja un kilómetro es 3 veces menor que el necesario para realizarlo con un camión con semirremolque y 2.6 veces menor que al hacerlo con un camión equipado con un bitren totalmente cargado.

$$Locomotora+vagon\rightarrow\frac{3.975\,lts/km}{1328\,ton}=0.003\,lts\,.\,ton/km$$

$$Camión+semirremolque\rightarrow\frac{0.343\,lts/km}{37.8\,ton}=0.009\,lts\,.\,ton/km$$

$$Camión+bitren\rightarrow\frac{0.4\,lts/km}{51.5\,ton}=0.008\,lts\,.\,ton/km$$

-La introducción del bitren incrementa la capacidad de carga neta en un 36% con respecto al semirremolque convencional diseñado para el mismo fin, ya que:

$$\frac{Cap\,.\,carga\,semi}{Cap\,.\,carga\,bitren}=\frac{37.8\,ton}{51.5\,ton}=1.36$$

-Con la utilización del bitren, el rendimiento energético se ve mejorado en un 12,5% con respecto al semirremolque convencional.

Conclusión final:

En tiempos actuales, donde se vuelve imprescindible recurrir a energías renovables y buscar el mayor rendimiento de aquellas que son limitadas, es de gran importancia contextualizar los tipos de transporte según su rendimiento e impacto tanto social, como ambiental. Es preciso identificar las ventajas y desventajas que tiene cada modo, para hacer del transporte de cargas nacional, un servicio eficiente, que permita reducir costos y aporte así a la economía nacional en su conjunto.

Como se vio, el rendimiento del ferrocarril es ampliamente mayor que el del transporte por carretera. El abandono sufrido por parte del estado durante décadas, dejo al sistema ferroviario relegado. El resurgimiento del mismo, puede ser llevado a cabo únicamente, con un trabajo en conjunto, tanto del estado, como del sector privado. Experiencias internacionales, tales como la de EEUU, nos indican que retrotraer el sistema de líneas férreas y priorizar las que se crean esenciales para volver a activar el sistema, puede ser una solución válida.

Por otra parte, la introducción del bitren, es notoriamente beneficiosa en comparación al semirremolque convencional. En un país, donde casi la totalidad del transporte de cargas, se realiza por carretera, es evidente el impacto que tendrá sobre el consumo y por ende, sobre los costos.

Bibliografía

1-Departamento de Finanzas, Sector Privado e Infraestructura Región de América Latina y el Caribe 2006-"Argentina: el desafío de reducir los costos logísticos ante el crecimiento del comercio exterior".

2-Jorge Rubén Contestí 2005 ''La Republica que perdió el tren'', Editorial "Del encuentro".

3-Direccion general de fabricaciones militares - http://www.fm.gob.ar/?p=1014

4-Juan Alberto Roccatagliatta 2012 "Los ferrocarriles en la Argentina", Editorial Universitaria de Buenos Aires.

5-Mariano A. Spinosa 2014 "El remolque", Departamento de prensa y promoción de C.A.F.A.S.

SISTEMA DE INDICADORES DE RIESGO DE DESERCIÓN PARA LA UTN-FRLP
Análisis sobre alumnos ingresantes en los años 2013/2015

Ing. Romina Istvan, Ing. Carlos Chong Arias, Ing. Sergio Antonini
Laboratorio de Ingeniería en Sistemas de Información, LINES UTN FRLP
Av. 60 s/n° esquina 124, CP 1900, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
ristvan@frlp.utn.edu.ar; c.chong@frlp.utn.edu.ar; antonini@frlp.utn.edu.ar

Resumen
En Argentina, la deserción estudiantil es un tema preocupante en las carreras de Ingeniería. Según datos presentados en el Congreso Mundial Ingeniería 2010, la tasa de deserción es del orden del 50% en primer año y la graduación final se ubica en el orden del 20% [1]. Como parte del sistema universitario formador de ingenieros, la UTN FRLP se encuentra inmersa en esta realidad.
Esta situación motivó la generación del presente trabajo con el objetivo de ofrecer un modelo explicativo de los principales factores causales de la deserción.
La investigación explora la capacidad de la técnica Minería de Datos como una alternativa útil para encontrar información derivada a partir de la detección de patrones de atributos individuales, tomando como grupo de estudio, a los alumnos ingresantes a la institución en el período 2013/2015. En base a la información registrada detecta, a aquellos alumnos en situación vulnerable y así, brinda indicadores adecuados para la determinación de estrategias de retención ajustadas a la institución y a las particularidades de cada alumno. Constituyéndose, de esta manera, en una herramienta que ofrece características diferenciales respecto a las técnicas convencionales de investigación social.

Palabras clave: Indicadores de deserción, Indicadores de riesgo de deserción, Deserción universitaria, Minería de Datos.

1 - Introducción. Situación de la UTN FRLP

La Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata reúne los datos académicos en una base de datos centralizada. Si se analiza la relación aspirante/egresado e ingresante/egresado, se obtiene que sólo el 10.48% de los aspirantes se gradúan y sólo el 15.05% de los ingresantes alcanza con éxito la finalización de su carrera. A su vez, si se observa la relación ingresante/desertor se puede observar que de los 1321 alumnos que aprobaron el curso de ingreso, 449 desertaron y 872 no, al menos en su primer año de cursada. Esto indica que casi el 35% de los ingresantes abandona sus estudios en el primer año de la carrera. Motivo por el cual, se realiza la presente investigación considerando este período como crítico.
Este trabajo está organizado de la siguiente forma. La sección 1 expone la situación particular de la UTN FRLP en relación a los índices de deserción. La sección 2 presenta el proceso de Minería de Datos dentro del proceso de descubrimiento conocido como Knowledge Discovery in Databases (KDD), como una alternativa diferente para encontrar información derivada a partir de atributos individuales. La sección 3, presenta las fuentes de datos utilizadas dentro de la etapa de Selección de Datos del método. La sección 4 describe las estrategias tomadas en la etapa de Preparación y transformación efectuadas sobre los datos originales y presenta la vista obtenida para la extracción de conocimiento. La sección 5 describe el proceso de minería de datos y ofrece árbol de decisión y las reglas de clasificación conseguidas en base a los datos seleccionados. La sección 6 presenta la interpretación de los resultados, la sección 7 expone las conclusiones finales obtenidas y finalmente la sección 8 presenta los trabajos futuros.

2 - Método utilizado

El método elegido para el análisis de los alumnos ingresantes durante el primer año de su carrera es la Minería de Datos o Data Mining. Esta técnica, basada en la extracción de conocimiento, está principalmente relacionada con el proceso de descubrimiento conocido como "Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos" (KDD, por sus siglas en inglés), el cual se refiere al proceso no-trivial de descubrir conocimiento e información potencialmente útil dentro de los datos contenidos en algún repositorio de información [2] .

Las etapas del proceso KDD se dividen en 5 fases y son [3]:

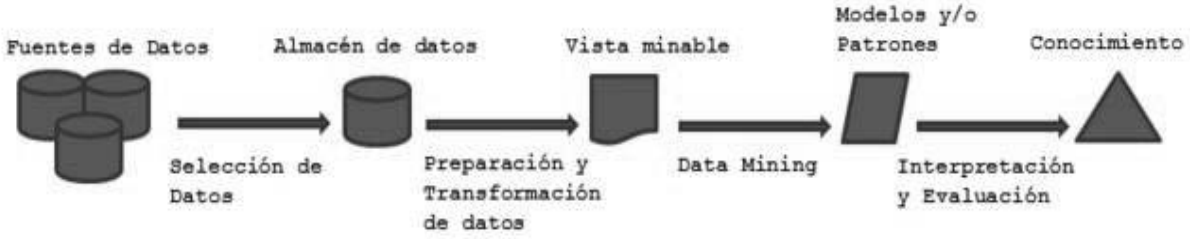


Figura 1: Etapas del Proceso KDD

3 - Selección de datos

En esta etapa se determinan las fuentes de datos y el tipo de información a utilizar.

Particularmente, la base de datos académica de la institución dispone de un número importante de atributos personales, laborales y académicos, que se complementan principalmente con los datos almacenados en una fuente de datos externa, que contiene básicamente los registros de las Encuestas PEFI (Plan Estratégico de Formación de Ingenieros).

El Plan Estratégico de Formación de Ingenieros, PEFI [4], es impulsado por la Secretaría de Políticas Universitarias y tiene como objetivo incrementar la cantidad de graduados en Ingeniería y asegurar en cantidad y calidad los recursos humanos. Para tal fin, la institución lleva a cabo, desde el año 2013 la encuesta a pedido del Ministerio de Educación de la Nación a través de una plataforma web que se mantiene actualizada anualmente y de forma obligatoria, por los mismos estudiantes. Uno de los ejes estratégicos de la encuesta es recopilar indicadores académicos que permitan determinar en forma temprana índices que identifican las causas de la deserción, registrándose para tal fin datos personales, laborales, familiares y económicos.

De modo que, de manera conjunta los datos de la base de datos Académica y encuestas PEFI, son seleccionados como datos a ser analizados, por contener información relevante y complementaria para el objeto de esta investigación.

4 - Preparación y transformación de datos

El éxito de un proceso de minería de datos depende no sólo de tener los datos necesarios, sino de que éstos estén íntegros, completos y consistentes. De esta manera, los datos seleccionados deben ser sometidos a un proceso de preparación, limpieza, integración y transformación a fin de brindar una vista minable, adecuada para el proceso de minería de datos.

Como se ha indicado, los datos seleccionados para el estudio provienen de la base de datos Académica y PEFI.

Respecto a las encuestas, las mismas son realizadas por los alumnos cuando comienzan a interactuar con la aplicación web del sistema de alumnos. Dado que muchos ingresantes, abandonan la carrera antes de consultar, inscribirse a un final o una cursada, la base de datos de encuestas sobre la que se base el estudio, no llega a ser completada por muchos de los desertores.

Por tal motivo, del set de datos elegido como base para el estudio se eliminaron los registros de alumnos que nunca completaron la encuesta, si bien se sabe que esto introduce un sesgo importante a los datos, ya que se eliminan 70 registros de desertores, dando un total de 220 registros y de no desertores). Con esta estrategia, y al eliminar filas con una cantidad excesiva de datos faltantes, se soluciona el problema de datos incompletos para la muestra en estudio.

Entre las estrategias tomadas para generar la vista minable (datos preparados para la etapa de Minería de Datos): se eliminaron atributos constantes, se utilizó la generalización para transformar el atributo Fecha de Nacimiento que pasó a tener 4 categorías posible: 18-20 años, 21-25 años, 26-30 años, 31-40 años y 40+ para más de 40 años.
Se redujo la cardinalidad de algunos atributos utilizando categorías más genéricas como ser el caso del atributo País, que pasó únicamente a ser Argentino o Extranjero. Se construyeron nuevos atributos mediante funciones de sumarización, tal como ocurrió con el atributo Beca y se discretizaron y numerizaron atributos, como en el caso Nivel de Instrucción de los Padres.
Finalmente, se estableció un atributo de estado Deserción que diferencia a los alumnos que ya han abandonado, de los que cursan normalmente.

Tabla 1: Visualiza la estructura y los nombres de los atributos de la vista minable

ATRIBUTOS	DESCRIPCIÓN	VALORES
Edad	Rango etario al momento de comenzar la carrera: 18-20 años / 21-25 años / 26-30 años / 31-40 años / 40+ años	18-20 / 21-25 / 26-30 / 31-40 / 40+
Sexo	Género de la persona.	M / F
Estado Civil	Denota la situación familiar: Soltero / Casado-Separado (incluye los estados: Unido de hecho, Unido civilmente, Casado, Separado, Divorciado, Viudo)	Soltero Casado/Separado
Técnico	Especifica si el título bachiller es Técnico o no.	SI / NO
Horas de Trabajo	Divididas en dos grupos: 0-20 horas, representa a los alumnos que no trabajan o trabajan como máximo 4 horas diarias / 20-35+, representa a los alumnos que trabajan tiempo completo.	0-20 hrs / 20-35+
Relación con Carrera	Representa la relación del trabajo del alumno, si lo tuviere con la especialidad elegida en su carrera.	0: Ninguna / 1: Parcial / 2: Total
Beca	Indica si el alumno posee alguna de las siguientes becas: Contraprestación, Investigación, Económica, Universidad, Internacional, Nacional, Provincial, Municipal u Otra Beca.	SI / NO
Cantidad de Hijos	Número entero que representa la cantidad de hijos del alumno.	Entero (0, …)
Cantidad de Familiares a cargo	Número entero que representa la cantidad de hijos familiares a cargo total. Incluye: hijos, abuelos, padres, hermanos, ...	Entero (0, …)
Instrucción Padre Instrucción Madre	Especifica el nivel educativo de la madre y del padre.	- 0 No hizo estudios - 1 Primario incompleto - 2 Primario completo - 3 Secundario incompleto - 4 Secundario completo - 5 Terciario incompleto - 6 Terciario completo - 7 Universitario incompleto - 8 Universitario completo - 9 Postgrado - 10 Desconoce
Ocupación Padre Ocupación Madre	Tipo de trabajo de la madre y del padre.	0: Trabajo Permanente / 1: Trabajo Transitorio / 2: Desconoce
Distancia a UTN	Distancia desde la localidad de residencia a la institución	hasta 15 km / más de 15 km

5 - Data Mining o Minería de Datos

La minería de datos se define formalmente como "un conjunto de técnicas y herramientas aplicadas al proceso no trivial de extraer y presentar conocimiento implícito, previamente desconocido, potencialmente útil y humanamente comprensible, a partir de grandes conjuntos de datos, con objeto de predecir, de forma automatizada, tendencias o comportamientos y descubrir modelos previamente desconocidos" [5].

La herramienta elegida para esta investigación es Rapid Miner, la cual es una herramienta de Minería de Datos ampliamente usada [6]. Implementa más de 500 técnicas de pre-procesamiento de datos, modelación predictiva y descriptiva y visualización de datos. Además de los componentes básicos, posibilita numerosas extensiones entre la que se destaca Weka [7].

El algoritmo W-J48 de WEKA es una implementación del algoritmo C4.5, que pertenece a la categoría 'aprendizaje basado en similitudes', el cual genera árboles de decisión de manera recursiva, tomando el o los atributos que mejor clasifican a los datos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos al ejecutar el proceso con algoritmo de clasificación en árboles W-J48, implementado en WEKA y ejecutado desde la interface de RM.

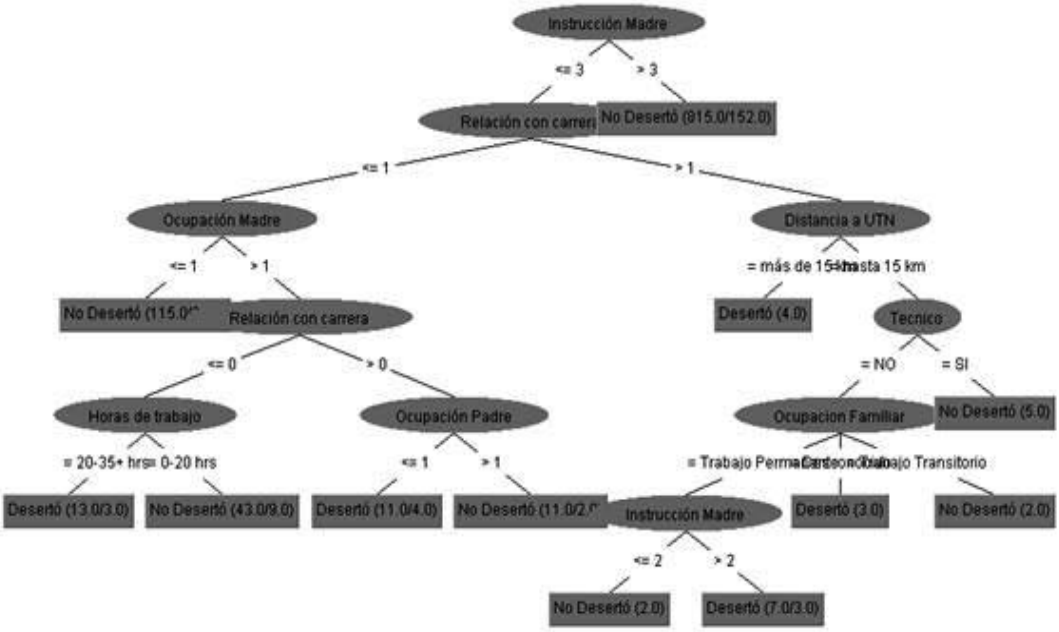


Fig. 2: Árbol de Decisión generado en la etapa de Extracción de Conocimiento

```
Instrucción Madre <= 3
|   Relación con carrera <= 1
|   |   Ocupación Madre <= 1: No Desertó (115.0/29.0)
|   |   Ocupación Madre > 1
|   |   |   Relación con carrera <= 0
|   |   |   |   Horas de trabajo = 20-35+ hrs: Desertó (13.0/3.0)
|   |   |   |   Horas de trabajo = 0-20 hrs: No Desertó (43.0/9.0)
|   |   |   Relación con carrera > 0
|   |   |   |   Ocupación Padre <= 1: Desertó (11.0/4.0)
|   |   |   |   Ocupación Padre > 1: No Desertó (11.0/2.0)
|   Relación con carrera > 1
|   |   Distancia a UTN = más de 15 km: Desertó (4.0)
|   |   Distancia a UTN = hasta 15 km
|   |   |   Tecnico = NO
|   |   |   |   Ocupacion Familiar = Trabajo Permanente
|   |   |   |   |   Instrucción Madre <= 2: No Desertó (2.0)
|   |   |   |   |   Instrucción Madre > 2: Desertó (7.0/3.0)
|   |   |   |   Ocupacion Familiar = Desconocido: Desertó (3.0)
|   |   |   |   Ocupacion Familiar = Trabajo Transitorio: No Desertó (2.0)
|   |   |   Tecnico = SI: No Desertó (5.0)
Instrucción Madre > 3: No Desertó (815.0/152.0)
```

Figura 3: Reglas de clasificación obtenidas

6 - Interpretación de resultados

La aplicación de algoritmo posibilita advertir no sólo características vinculadas con el grupo de alumnos Desertantes, sino también particularidades de la clase 'No Desertante'.

Observando los resultados alcanzados para el set de datos en estudio, se concluye:

El Nivel de Instrucción de la Madre es por sobre todo uno de los factores más relevante. El algoritmo demuestra que si la madre posee un nivel igual o mayor a Secundario Completo (nivel 4), el alumno posee mayor probabilidad de ser no desertor.

Otro factor clasificador, para los alumnos son las horas de trabajo semanales. Si el alumno no trabaja o trabaja part time, tiene mayor probabilidad de no desertar, por sobre los alumnos que trabajan de 5 a 8 horas diarias.

Por otro lado, la relación del tipo de trabajo con la especialidad de la carrera, es otro atributo importante. Cuanto mayor es la relación, menor probabilidad de desertar poseen los alumnos.

El nivel económico familiar, ocupación y tipos de trabajos de la madre y del padre influyen sobre los grupos desertores. Las familias con trabajo Transitorio o Permanente, tienen una mayor probabilidad de no desertar, sobre el resto de las familias.

La distancia a la institución es otro factor importante. Esto sumado a los datos de registros eliminados que denotan que de los 288 registros desertores, 227 alumnos residían en localidades mayores a 15 km. de distancia con la institución.

Los alumnos que provienen de bachilleratos técnicos, también demuestran una mejor actividad académica.

En resumen, esta investigación pone de manifiesto que los ingresantes de la UTN FRLP entre los años 2013-2015 desertaron por las siguientes tres causas principales: Nivel de Instrucción de la madre, Situación económica familiar, Cantidad de horas de trabajo del alumno y Distancia a la institución.

7 – Conclusiones

Como resultado del trabajo se puede afirmar que la Minería de Datos como parte del proceso de Extracción de Conocimiento (Knowledge Discovery in Databases, KDD), aplicada al conjunto de datos de ingresantes de los años 2013, 2014 y 2015 la UTN FRLP, proporcionó una manera alternativa de clasificar posibles desertores. Constituyéndose así, en una alternativa útil para encontrar información derivada, ofreciendo características diferenciales respecto a las técnicas convencionales de investigación social.

Se espera que el modelo obtenido permita determinar estrategias de retención ajustadas a la institución y a cada alumno en particular, con el fin de minimizar el porcentaje de alumnos desertores principalmente en los primeros años de la carrera.

8 - Trabajo futuro

Se propone la mejora en la calidad de los datos mediante la instrumentación de la obligatoriedad de la completitud de la encuesta PEFI, inmediatamente luego de aprobado el Curso de Ingreso por los estudiantes, de manera de recabar datos de posibles desertores, antes de que se pierda el vínculo con la institución. Asimismo, se considera la ampliación de las encuestas a través de la incorporación de indicadores que incluyan nuevos aspectos: Vocacional / Aspecto Social, Integración y Desarraigo / Profesores y Actividades Académicas / Situación Económica.

Se espera validar el modelo con el registro de alumnos ingresantes en el año 2016, a fin de visualizar el rendimiento a cerca de la clasificación realizada.

Luego de validado el modelo predictor, se incorporará al Sistema de Tutores, integrándose a las dificultades académicas de los estudiantes, asistencias/inasistencias, consultas, presentación y resultado de exámenes parciales y finales. Así, docentes y tutores podrán visualizar el factor de riesgo de deserción asociado a cada alumno, de manera poder identificar, ajustar sus estrategias de intervención y dar seguimiento más personalizado a aquellos alumnos en situación vulnerable.

Referencias

[1] CONFEDI. La Formación del Ingeniero para el Desarrollo Sostenible. Aportes del Congreso Mundial Ingeniería 2010. Buenos Aires. Octubre 2010.

[2] Han, J.; Kamber M. Data Mining: Concepts ans Techniques. Morgan Kaufmann Publishers, USA, 2001.

[3] Fayyad,U., Piatetsky-Shapiro,G., and Smyth,P. The KDD process for Extracting Useful Knowledge from Volumes of Data. Communications of the ACM. Vol.39,No. 11. 1996.

[4] Plan Estratégico de Formación de Ingenieros, PEFI 2012/2016. http://pefi.siu.edu.ar/. Accedido en abril de 2015.

[5] Frawley, W.J.; Piatetski-Shapiro, G.; Matheus, C.J. “Knowledge Discovery in Databases: an Overview”. AI Magazine, 1992.

[6] RapidMiner Studio 7.1. https://rapidminer.com/, Accedido en marzo de 2016.

[7] Weka, 2007. Data Mining Software in Java; http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/ Acceso mayo 2016.

PENTOSANOS TOTALES Y SOLUBLES EN LA FRACCIÓN HARINA DE VARIEDADES DE TRIGOS ARGENTINOS

Susana Garnero[1], Patricia Sposetti[1], Jorge Garnero[1], Florencia Luengo[1], Emiliano Yafar[1]

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco.
Av. De la Universidad 501. 2400. San Francisco. Córdoba. Argentina.

Resumen

Los pentosanos presentes en trigo y otros vegetales, son constituyentes que integran, junto con otros componentes, las paredes celulares del endospermo y salvado y que poseen importantes propiedades nutritivas y tecnológicas. El objetivo del presente trabajo es determinar el contenido en pentosanos solubles (PS), insolubles (PI) y totales (PT) en 32 variedades de trigos argentinos en la fracción harina y relacionarlas con su fecha de espigazón (FE), junto con su propiedad dietética y captadora de agua. Las determinaciones analíticas están basadas en la extracción e hidrólisis ácida de estos polímeros para degradarlos a monómeros y poder medirlos colorimétricamente. Los resultados promedios para segunda FE fueron: PS(1,16±0,16) %,PI(1,75±0,38) % y PT(2,91±0,04)%; para la tercera FE: PS (1,11±0,23)%,PI(1,91±0,26)%y PT(3,01±0,69)%; para la cuarta FE: PI(1,14±0,25)%,PI (2,57±0,59)%y PT(3,71±0,57) %. El análisis estadístico de varianzas estableció diferencias significativas para las variedades de la cuarta FE; lo mismo que el análisis de las propiedades asociadas, donde fibra dietética fue de (0,81±0,06) % y la absorción de agua de (62,2±2,10) %.

Palabras claves: pentosanos; arabinoxilanas; fibra dietética; espigazón.

1. Introducción

Los pentosanos o xilanos, llamados genéricamente hemicelulosas, constituyen algo más del 3% del total de polisacáridos presentes en las harinas de trigo Estos polisacáridos tienen la capacidad de absorber agua en cantidades superiores a 10 veces su propio peso. Son uno de los principales componentes de la fibra dietética y su contenido afecta de gran manera las propiedades reológicas de la masa de harina de trigo y las características de productos de panificación (Roels et al., 1993).

Estos compuestos están ampliamente distribuidos por todo el reino vegetal y en general se cree que forman parte de las paredes celulares y el material de unión que mantiene juntas las células. Químicamente son muy diferentes, variando su composición desde un azúcar simple, como el que se encuentra en las β-glucanas, hasta los polímeros que pueden contener pentosas, hexosas, proteínas y fenoles. Los azúcares frecuentemente citados como componentes de las hemicelulosas de los cereales incluyen: la D-xylosa, L-arabinosa, D-galactosa, ácido D-glucurónico y ácido 4-O-metil-D-glucurónico (Hoseney, C., 1991).Por su solubilidad en agua, se los agrupa en pentosanos solubles (PS) e insolubles (PI). Los solubles, están constituídos por arabinoxilanas y arabinogalactanas con ramificaciones escasas de L-arabinosa, mientras que los insolubles también son arabinoxilanas pero no arabinogalactanas con ramificaciones de L-Arabinosa más abundantes, sobre todo unidas a los C2 y C3 de la cadena de xilopiranososa (Hoseney,C., 1991).

La principal propiedad de los pentosanos es su gran capacidad para absorber agua, por lo que pueden formar soluciones altamente viscosas, y se ha demostrado que más del 20% del agua en las masas de harina de trigo está asociada con los pentosanos solubles. El efecto de los pentosanos de trigo sobre las características de las masas de panificación se ha estudiado más sistemáticamente desde la década de los 60's, observándose resultados contradictorios. Algunos

autores indican que tienen efectos negativos sobre la masa de panes (Roels et al.1993); mientras que otros sostienen que tienen efectos positivos (D'Appolonia y Schwarz, 1992).

Otra propiedad importante es su rol como fibra dietética. La fibra dietética está constituida por un grupo heterogéneo de sustancias de origen vegetal que son resistentes a la absorción y digestión en el intestino delgado pero que sufren una digestión total o parcial en el colon (Valenzuela y Maiz, 2006).La fibra dietética puede clasificarse según su solubilidad en agua: soluble e insoluble. Sus propiedades y efectos fisiológicos están relacionados principalmente por la relación que guardan estos componentes sin importar su origen (Matos, Chambilla, 2010). La fibra soluble que dispersa en agua forma soluciones altamente viscosas, contiene mayoritariamente polisacáridos no celulósicos tales como pectinas, gomas, algunas hemicelulosas (arabinoxilanos y arabinogalactanos) y mucílagos (Córdoba, 2005). Abundan en frutas y algas marinas (Lajolo et al. 2001). La fibra insoluble, que no se dispersa en agua, está compuesta por celulosa, hemicelulosas y ligninas y abunda en cereales, leguminosas y frutas.

El objetivo del presente trabajo es la determinación de los pentosanos totales, solubles e insolubles en la fracción harina de 32 variedades de trigos argentinos y su relación con la semana de espigazón del cultivo así como su relación con propiedades dietéticas y captadoras de agua a los fines de lograr resultados que permitan seleccionar variedades apropiadas cuando el interés en estos componentes se oriente hacia las propiedades mencionadas.

2. Materiales y Métodos

2.1 Materiales

Las muestras están compuestas por 32 variedades de trigo pertenecientes a los cultivares ACA (304, 305, 315, 601); Baguette (17,18, P11); BIOINTA (1002, 1005,1006, 2004,3000, 3003,3004, 3005); BUCK (Ranquel, Malevo, Meteoro, Taita); INIA Tijereta; KLEIN (Proteo, Yarará, Gavilán, Capricornio, Carpincho, Guerrero, Pantera); LE (2271, 2330, 2333, 2341) y THEMIX L. Los equipos utilizados fueron balanza analítica Metler P1000N; molino Agromatic AG modelo ACQ; estufa de secado Dalvo modelo Sb434; Espectrofotómetro Hach DR 2800; reactor de hidrólisis, VelpScientífica Eco 25; determinador de gluten, Glutomatic Modelo 200; Mufla Indef Nº 133; peachímetroAltronix TPX-1; agitador tipo vórtexThermoScientific M 37610; centrífuga Cavour VT 3216. Los reactivos utilizados xilosa 99% marca Anedra; Orcinol 5 g marca Sigma Aldrich; carbonato de sodio anhidro Cicarelli; ácido clorhídrico 35 % Cicarelli; sacarosa Anedra; lactosa Anedra; cloruro de sodio Cicarelli.

2.2 Preparación de las muestras

Las muestras se prepararon y se acondicionaron para la determinación experimental según IRAM 15854-1, 1990; la molienda de los granos se realizó según IRAM 15890, 1990 empleando un molino Agromatic AG modelo ACQ, separándose la fracción harina. Para ensayos posteriores a las muestras se las agrupó por semana de espigazón correspondiente al mes de octubre. Segunda semana, 12 muestras, ACA 301; Baguette (17,18 y 11P), BIOINTA(1002, 2004,1005 y 1006); BUCK(Ranquel y Proteo); LE (2333 y 2341); tercera semana, 13 muestras, ACA(304,305 y 315); BIOINTA(3000, 3004,3005 y 3003); Buck(Malevo y Meteoro); KLEIN (Yarará y Gavilán); LE 2330 y THEMIX L y cuarta semana7 muestras, BUCK Taita; INIA Tijereta; KLEIN (Capricornio, Carpincho, Guerrero y Pantera); LE 2271.

2.3 Composición y caracterización de las harinas

La determinación de humedad se realizó según Norma IRAM 15850, 1999; la determinación de proteína se realizó según Método 56-10, AACC, 2000; la determinación de gluten, según Norma IRAM 14864, 2007; la determinación de fibra cruda, método gravimétrico, Método 962.09, AOAC, 2000; la determinación de la absorción de agua según método de Bertin,Ch. et al. 1988. También

se determinaron aquellas variables predictivas que están relacionadas con las fracciones de pentosanos. El índice de retención de agua alcalina (IRAA) se determinó según Método 56-10 AACC, 2000 y los ensayos predictivos que miden el perfil de capacidad de retención de solventes (SRC) por el método 56-11 AACC, 2000.

2.4 Determinación de pentosanos totales, solubles e insolubles

La determinación cuantitativa de pentosanos solubles (PS) y totales (PT) se realizó siguiendo el método propuesto por Hashimoto, S. et al. (1987). Los pentosanos insolubles (PI) se determinaron por diferencia entre los PT y PS.

2.5 *Análisis estadístico*

En todos los casos las determinaciones se efectuaron por duplicado y los resultados se informaron por el valor promedio. Las relaciones entre los parámetros medidos fueron realizadas mediante ANAVA y los supuestos se evaluaron mediante la prueba LSD de Fisher para un grado de significancia de 5 %.Se empleó el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al. 2008).

3. Resultados y discusión

Los resultados promedios de los ensayos de caracterización de las harinas se muestran en la Tabla 1. Los promedios de las variables obtenidas para las variedades que espigaron en la segunda (Seg) semana (FE/sem) de octubre fueron: humedad (H) de (12,87±0,42)%; proteína base seca (P) de (15,21±1,14)%; gluten base húmeda (G) de (29,12±4,44)%; fibra cruda en harina (FC) de (0,77±0,09)% y absorción de agua (AW) de (68,70±5,67)%. Para la tercera (Ter) semana: H (12,64±0,62) %; P (15,42±0,97) %; G (29,84±3,84)%; FC (0,76±0,16)%; AW (65,40±8,51)%. Para la cuarta (Cuar) semana: H (12,55±1,37) %; P (15,70±0,76)%; G(30,67±2,51)%; FC (0,86±0,12)% y AW (62,18±9,93)%.Se puede observar que la humedad no superó el valor de 13 %; El % de P y el % de G mostraron una relación lineal positiva; el contenido en fibra cruda de la harina no superó el 0,90 % y tiene una relación positiva descendente con la absorción de agua que resulta poco significativa.

Tabla1. Variables de caracterización de las harinas.

FE/ Sem	H (%)	P (%)	G(%)	FC (%)	AW (%)
Seg	12,87±0,42	15,21±1,14	29,12±4,44	0,77±0,09	68,70±5,67
Ter	12,64±0,42	15,42±0,97	29,84±3,64	0,76±0,16	65,40±8,51
Cuar	12,55±1,37	15,70±0,76	30,67±2,51	0,86±=,12	62,18±9,93

FE/sem: fecha de espigazón por semana; H: humedad; P: proteína base seca; G: gluten base húmeda; FC, fibra cruda de la harina base seca; AW: absorción de agua base seca.

Los resultados promedios de los ensayos de caracterización de las variables con propiedades predictivas sometidos a análisis de ANAVA y prueba LSD de Fisher para una significancia del 5 %, se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados promedios y pruebas de LSD de Fisher (p<0,05) para las variables con propiedades predictivas.

FE/Sem	IRAA (%)	SRC sac (%)	SRC w (%)	SRC car (%)	SRC lac (%)
Seg	69,60±0,93^{B}	89,41±1,04^{A}	63,88±0,61^{A}	69,69±0,59^{A}	107,65±2,48^{A}
Ter	71,48±0,93^{B}	87,46±1,04^{B}	63,88±0,61^{A}	70,68±0,59^{A}	102,79±2,48A^{B}
Cua	72,89±1,26^{A}	85,17±1,42^{B}	61,45±0,83^{B}	70,21±0,8^{A}	94,58±3,37^{B}

FE/sem: fecha de espigazón por semana; IRAA: índice de retención de agua alcalina; SRC: capacidad de retención de solventes; sac: sacarosa; w: agua; car: carbonato de sodio; lac: ácido láctico. Supraletras iguales en una columna indican que no hay diferencias significativas desde el punto de vista estadístico.

El índice de retención de agua alcalina (IRAA) tiene en cuenta la solubilidad de harinas en soluciones de hidróxido de sodio 0,1N de los componentes no hidrofílicos (entre ellos los PI) y según la Tabla 2, los trigos que espigaron en la cuarta semana presentan diferencias significativas, indicando con ello que hay respuesta a este ensayo por parte de los componentes no hidrofílicos. La capacidad de retención de solventes con solución de sacarosa al 50 % es proporcional a los PS y solo se observan diferencias significativas en los trigos que espigaron en la primera semana. El SRC base agua está relacionado con los componentes hidrofílicos y propiedades de absorción de agua de las harinas, observándose diferencia significativa en la cuarta semana de espigazón en relación a lo predicho por IRAA. El SRC en solución de carbonato de sodio al 5 % está asociado a las gliadinas, una de las fracciones mayoritarias de proteínas del trigo. Mientras que el SRC en soluciones de ácido láctico al 5 % está asociado a la otra gran fracción proteica: las gluteninas. Estas dos últimas determinaciones (SRC car y SRC lac) no guardan relación con los pentosanos pero se evaluaron a los fines de completar el perfil SRC.

La Tabla 3 muestra los resultados derivados de la cuantificación de pentosanos solubles, totales e insolubles y su posterior análisis de varianza con pruebas de LSD de Fisher a una significancia del 5 %.

Tabla 3. Resultados promedios y prueba LSD de Fisher (p<0,05) para las variables pentosanos solubles, insolubles y totales.

FE/Sem	PS (%)	PI (%)	PT (%)
Seg	1,16±0,04^{A}	1,75±0,12^{B}	2,91±0,11^{B}
Ter	1,11±0,04^{A}	1,91±0,12^{B}	3,01±0,11^{B}
Cua	1,14±0,04^{A}	2,57±0,16^{A}	3,71±0,15^{A}

FE/SEm: fecha de espigazón por semana; PS: pentosanos solubles; PI: pentosanos insolubles; PT: pentosanos totales. Supraletras iguales en una columna indican que no existen diferencias significativas desde el punto de vista estadístico.

Los PS no muestran diferencias significativas en las tres semanas de espigazón y su valor promedio no supera 1,2 %. Los PI tienen diferencias significativas para la cuarta semana de espigazón y sus valores promedios van aumentando, no superando el máximo promedio de 2,60 %. Los PT son significativos en la cuarta semana, con valores máximos promedios de (3,71±0,15) %. Existe una relación de 1:3 entre pentosanos solubles e insolubles, lo que está en correspondencia con lo observado por Hoseney, C., 1991. La distribución porcentual de PI, PS y PT se muestra en la Figura 1, donde se destaca el aumento progresivo de los PI y el estancamiento de los PS con el progreso de la semana de espigazón. Esta relación también está justificada en la Tabla 2, donde IRAA y SRCw (dos propiedades predictivas relacionadas a los pentosanos insolubles y absorción de agua) son significativas en la cuarta semana.

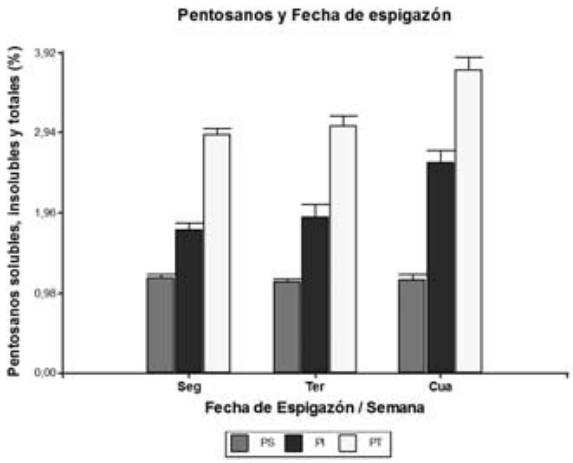


Figura 1. Gráfico de barras correspondiente a los valores promedios de PS,PI y PT en las tres semanas de espigazón estudiadas que se corresponden con los resultados mostrados en la Tabla 3. Los bastones sobre sobre las barras corresponden a los errores estándar.

4. Análisis de resultados

En los resultados de la Tabla 1, se observan valores normales que corresponden a trigos argentinos tal como lo expresado en De la Horra et al, 2012. Analizando según las FE, se destaca la disminución de la AW de los componentes solubles de la harina con promedios de 68,7 % a 62,18 % y valores ascendentes de FD, con valores de 0,77 % a 0,86 %. De la Tabla 2, se destaca un aumento del IRAA desde 69,60 % a 72,89 % y una disminución del SRCsac desde 89,41% a 85,17%. De los resultados de la Tabla 3, donde se observa un aumento del PI desde 1,75% a 2,57% y una leve disminución del PS desde 1,16 % a 1,14 %. La variación de los resultados para los ensayos AW, FC, IRAA y SRCsac está de acuerdo a la variación de los PI, PS y PT en función de la FE. La disminución de la AW se debe a que al aumentar los PI menores son las posibilidades para que los componentes solubles absorban agua; el aumento de la FD, se justifica porque la FD está compuesta por celulosas, hemicelulosas y lignina; el aumento del IRAA se debe a que este ensayo predictivo está asociado a los PI y otros componentes no solubles en agua y la disminución del SRC sac debe atribuirse a la disminución de los PS, que son solubles en soluciones de sacarosa al 50 %.

5. Conclusiones

Los PS, PI y PT en la fracción harina de 32 variedades de trigo con fechas de espigazón en la segunda, tercera y cuarta semana de octubre, muestran un contenido en PI (1,75±0,12; 1,91±0,12; 2,57±0,16) % que es aproximadamente el 75 % de los PS (1,16±0,04; 1,11±0,04; 1,14±0,04) % y un aumento significativo de PI con la semana de espigazón, mientras que el contenido de PS permanece prácticamente constante. El análisis estadístico de varianzas estableció diferencias significativas para las variedades de la cuarta FE en lo que respecta a PI, manteniéndose sin diferencias significativas los PS; lo mismo ocurrió con FD (0,81±0,06) % y AW (62,2±2,10) % que mostraron valores significativos en concordancia con PI cuarta FE. Como conclusión, se establece una dependencia directamente proporcional de los PI y por ende de PT, con la fecha de espigazón permitiendo inferir que aquellas variedades con FE tardía son más promisorias en contenido de pentosanos totales y que estos componentes están relacionados directamente a la fibra dietética y la absorción de agua de las harinas influyendo en la selección de estas variedades cuando se desee destacar propiedades nutricionales y tecnológicas respectivamente.

Referencias

AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, USA, 10ª Edition.

AOAC.Officials Method of analysis.1990.15 thEdition. USA.

Bertin,Ch.; X. Rouau y J.F. Thibault. 1988. Structure and properties of sugar beet fibres. *J.Sc.FoodAgric.* 44, 15-29

Córdoba, A. 2005. Caracterización relacionada con la textura de suspensiones de fibras alimentarias. (Tesis doctoral). Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. 205 p.

D'Appolonia B.J. & Schwarz P.B.1992.Importance of cereal non-starchy polysaccharides in end-products" Cereal Chemists and Technology: A long past and a Brigth future" *9th Int. Cereal and BreadCongress,* París, 43-55.

De la Horra A.E.; M.L. Seghezzo, E. Molfese, P.D. Ribotta and A.E. León, 2012. Wheat flours quality indicators: industrial quality index and its relation with predictive tests. Agriscientia XXIX (2): 81-89

Di Rienzo J.A.; F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M.Tablada y C. W. Robledo. 2008. InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Hoseney R.C. 1991.Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Ed. Acribia. Zaragoza. España. 88-91.

IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Buenos Aires. Argentina.

Lajolo, F., F. Saura-Calixto, F. Wittig de Penna, E. Wenzel de Meneses.2001. Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y salud. Ed. Librería Varela. 469 p.

Matos-Chamorro, A. y E. Chambilla-Mamani. 2001. Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. Revista de Investigación.

Roels S.P., Cleemput G. Vandewalle X. Nys M. &Delcour J.A. 1993.Bread volume potential of of variable-quality fluors with constant protein level as determined by factors governing mixing time and baking absortion levels.*Cereal Chem*. 70 (3), 318-323

Valenzuela, A. y A. Maiz. 2006. El rol de la fibra dietética en la nutrición enteral. Revista chilena de nutrición, 342-351.

CONOCIMIENTOS PREVIOS DE MECÁNICA CLÁSICA DE INGRESANTES A INGENIERÍAS EN LA UTN – FRSF: DESCRIPCIÓN, ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO

Carlos I. Sanseverinatti

UDB Física, Departamento de Materias Básicas (Lavaisse 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe, UTN

E-mail de contacto: nacho.sanse@hotmail.com

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Mag. Claudio Enrique, en el marco del proyecto "El Laboratorio Interactivo de Tecnologías Básicas, para Aprender Ciencias Significativamente".

Resumen

Este trabajo tiene el propósito de describir y analizar los resultados obtenidos de una encuesta realizada a alumnos ingresantes. La misma fue diseñada para evaluar las ideas previas - provenientes de la escuela secundaria y del curso de ingreso a la universidad – desarrolladas en la resolución de problemas de Mecánica Clásica. Como muestra se tomó a alumnos de una de las comisiones de la carrera de Ingeniería Industrial, y el cuestionario fue entregado sin previo aviso el primer día de clase. La preguntas fueron ordenadas de menor a mayor complejidad, junto al tipo de herramientas a ser desarrolladas. Se realizaron análisis cualitativos y cuantitativos. Los resultados hallados permiten vislumbrar que estos alumnos tienen las competencias básicas para resolver sólo problemas de sencilla o media dificultad, producto de un pensamiento lógico y formal desarrollado en la escuela media y en el ingreso a la universidad.

Palabras Claves: Educación en Física – Mecánica Clásica – Conocimientos Previos – Competencias Básicas

1- Introducción

En el contexto de la Psicología Cognitiva en particular, la resolución de problemas es un área de interés por cuanto implica el procesamiento interno de la información. Al resolver un problema, el alumno selecciona e interpreta información, conjetura relaciones y organiza búsquedas activando y articulando procedimientos. Así, se establecen o refuerzan relaciones entre los conceptos y se consolidan o enriquecen sus significados (Ausubel *et al*, 1997; Garrett, 1988, 1995; Massa *et al,* 2002; Sánchez, 2005). El conocimiento alcanzado a través de este proceso debe funcionar para lo que pretende explicar o interpretar, confirmado tanto desde la experiencia cotidiana como en términos de las leyes o principios de la disciplina en la que se está llevando a cabo. También debe tener coherencia (Ritchie *et al*, 1997) dentro del marco teórico en el cual se sustentan las relaciones y los resultados y debe ser consistente con conocimientos previos, con las condiciones de contorno y con el significado atribuido a la potencial solución buscada.

Primero debemos explicar qué se entiende por "problema". Para que una situación se constituya en un problema, es necesario que el individuo lo reconozca como tal - se constituya en un desafío - y no disponga de estrategias inmediatas para alcanzar la meta (Sánchez, 2011).

Por otra parte, en este trabajo se analizan las estrategias empleadas en la resolución de problemas de Cinemática con el objeto de identificar las competencias básicas o genéricas con

que cuentan los alumnos al resolver los problemas seleccionados. Según el CONFEDI (2014), "Competencia es la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales".

En este trabajo consideramos a las mismas desarrolladas tanto en el nivel secundario como en el curso de ingreso – en particular, el de Física - , y específicamente la asociada a la capacidad para resolver situaciones problemáticas y el poseer pensamiento lógico y formal.

Para finalizar, sostenemos que en todo proceso educativo debe ser una condición innegociable la participación activa de los estudiantes de ingeniería - o *ingenieros en formación* - en la gestión de su aprendizaje. Dado que "…en función de que el estudiante debe desarrollar procesos reflexivos que permitan acercarlo al mundo y apropiarse del mismo a través de diferentes mecanismos implicados en el estudiar, es que se considera que debe contar con estrategias, técnicas y estilos que le permitan construir el conocimiento". (CONFEDI, 2014).

2. Metodología

En este trabajo se presentan resultados preliminares y con carácter descriptivo del proyecto de investigación denominado "El Laboratorio Interactivo de Tecnologías Básicas, para Aprender Ciencias Significativamente", donde en una primera etapa se decidió identificar y caracterizar las ideas previas de ingresantes a carreras de ingeniería. A futuro, este trabajo se continuará con líneas de investigación más complejas donde se indagarán si hay o no correlaciones entre distintas preguntas del cuestionario, así como agrupar los alumnos según similaridades basadas en el análisis estadístico multivariado conocido como conglomerados o clúster.

En esta investigación se tomó como muestra a una comisión de ingresantes a la carrera de Ingeniería Industrial de la cohorte 2015 en la UTN – FRSF. La misma consta de 37 alumnos a los cuales se les entregó un cuestionario el primer día de clases correspondiente a distintos temas de Mecánica Clásica, y se realizó de manera anónima y sin previo aviso.

El temario se diseñó con seis preguntas ordenadas de menor a mayor complejidad, en donde en las cinco primeras interrogaciones el alumno debe elegir la opción correcta sobre un total de cuatro alternativas, mientras que en la última pregunta debe argumentar las causas de una situación real concreta como es el amortiguamiento de un péndulo simple.

Se decidió emplear problemas cualitativos, que son aquellos que los alumnos pueden resolver a través de razonamientos teóricos sin tener que recurrir a cálculos numéricos o a manejos experimentales, dado que "…en general, este tipo de actividades están dirigidas a establecer relaciones entre los contenidos específicos de la materia estudiada y los fenómenos que permiten explicar. Ayudan a que el alumno reflexione sobre sus conocimientos personales y sobre sus propias teorías, al hacer que las aplique al análisis de fenómenos concretos." (Pozo y Gómez Crespo, 2013). Como se evidencia en el texto citado anteriormente, este tipo de problemas permite vislumbrar como los alumnos ponen en juego sus conocimientos personales y sus teorías; o sea, sus ideas previas.

3.Análisis de resultados

El cuestionario está conformado por seis preguntas sobre mecánica clásica. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

La finalidad de la pregunta 1 fue la identificación de las características cinemáticas de un movimiento rectilíneo uniforme. La respuesta correcta es la 1.c), y fue respondida por un total de 36 alumnos sobre los 37 (97,3%).
El resultado hallado es bastante coherente con la "realidad" que presenta el alumnado, dado que el movimiento rectilíneo uniforme es el más sencillo de comprender y además es que más se ha trabaja habitualmente en las escuelas de enseñanza media; además de ser el primero presentado en el curso de ingreso a la universidad.

Respecto a la pregunta 2, nuestro objetivo fue analizar si los alumnos, mediante un análisis dimensional, deducían las unidades de la aceleración y comparaban sus resultados con las alternativas presentes. Sobre el total de 37 alumnos, 25 de ellos realizaron dicha tarea – e incluso llegaron a corregir la expresión - b) - ; mientras que 12 alumnos respondieron de manera errónea sin hacer ningún análisis.

La meta de la pregunta 3 fue identificar las propiedades de un movimiento rectilíneo uniformemente variado donde actúa la aceleración de la gravedad y cambian las condiciones iniciales. Suele ser bastante común en los ingresantes el considerar que existe una aceleración de la gravedad "hacia arriba" durante el movimiento ascendente, y una "hacia abajo" cuando el objeto desciende, y dicho conocimiento previo a veces es muy difícil de modificar.

Los resultados hallados fueron variados, aunque la mayoría optó por la opción correcta, la b), y fueron un total de 27 sobre 37 (73%).

Respecto a la pregunta 4 se analizó si los estudiantes interpretan el *vector* aceleración. Es habitual que los ingresantes identifican que un cambio en el módulo de la velocidad implica una aceleración en la misma dirección, siendo esta última positiva si hay un incremento de la rapidez, o negativa si la rapidez disminuye. Estas hipótesis son validas cuando el movimiento es rectilíneo.
Por otro lado, en el caso del movimiento circular uniforme - y con analogía respecto al movimiento rectilíneo uniforme - , puede llevar a que los alumnos consideren que la aceleración sea nula. Esto es válido si estamos hablando de magnitudes físicas relacionadas a la rotación, para lo cual se debe especificar que la aceleración *angular* es nula. Pero es sabido que cuando el movimiento es circular uniforme, la velocidad tangencial cambia su dirección - debido a la presencia de la aceleración centrípeta - pero no su módulo. La respuesta correcta fue elegida por el 54% (opción b).

En relación a la pregunta 5, el objetivo fue ver si los alumnos ingresantes interpretan la 3º ley de Newton. Normalmente es la más difícil de comprender, dado que ésta involucra a dos cuerpos que están interactuando, a diferencia de las dos primeras leyes que involucran a uno solo, que es el cuerpo que aparece aislado en el diagrama de cuerpo libre. El resultado obtenido indicó que sólo dos (2) de los alumnos respondieron afirmativamente – opción a) -:

Si bien estos dos alumnos han respondido correctamente la interrogación relacionada con la tercera ley de Newton, al analizar los otros tipos de respuestas de los mismos se encontró que en

uno de ellos sólo respondió afirmativamente la Pregunta 1, la cual es de conocimientos muy elementales; mientras que el otro alumno respondió afirmativamente las Preguntas 1, 2, y 4. En consecuencia, se presume que, al menos, el primero de ellos respondió la Pregunta 4 con cierto carácter de azar y no de razonamiento.

La pregunta 6 tenía como objeto vislumbrar cómo los ingresantes argumentan sus respuestas en una cuestión algo compleja para sus aprendizajes previos. Es sabido que los sistemas oscilantes idealizados no tienen fricción. Dicho de otro modo, no hay fuerzas no conservativas, por lo que la energía mecánica total es constante y un sistema con estas características físicas debería seguir oscilando eternamente sin disminución de su amplitud.
En la realidad esto no sucede dado que fuerzas disipadoras causan amortiguamiento, y el movimiento correspondiente se llama oscilación amortiguada. El caso más sencillo para un análisis detallado es un oscilador armónico simple, con una fuerza de amortiguamiento por fricción directamente proporcional a la velocidad del cuerpo oscilante.

Las categorías se seleccionaron de acuerdo a las respuestas halladas. Éstas fueron consideradas: a. correcta; b. errónea; c. parcialmente correcta; d. no sabe/no contesta; e. otro tipo de respuesta.
Los tipos de respuestas de los ingresantes han sido las siguientes – entre paréntesis figuran la cantidad de cada una de ellas cuando se han repetido - :
- la causa de la amortiguación del péndulo es la interacción con la gravedad;
- el coeficiente de rozamiento con el aire;
- el fin de la fuerza como causa del fin del movimiento;
- el rozamiento del aire (5). Uno de ellos indica que en el vacío esto no ocurre;
- el rozamiento con el aire más fuerza gravitatoria (3);
- combina fuerzas de atracción con desaceleración;
- fuerza como causa de la velocidad del movimiento;
- fuerza de rozamiento (3).

Las dos respuestas consideradas de “otros tipos” han sido dos: una argumenta que el péndulo se detiene porque considera al coeficiente de rozamiento con el aire, mientras que otro alumno explica de manera tautológica que este fenómeno se produce porque “con cada oscilación del péndulo, éste va perdiendo velocidad hasta que se hace cero y el péndulo se detiene”.

4. Discusión

En base a los resultados hallados, se puede afirmar de manera preliminar que:
a. la gran mayoría de los alumnos dominan las características de un movimiento rectilíneo uniforme (Pregunta 1)**;**
b. un porcentaje algo menor distingue las características de un movimiento con aceleración constante, sea éste rectilíneo (Pregunta 3); circular uniforme (Pregunta 4); así como las unidades de dicha magnitud física (Pregunta 2). E incluso han empleado un razonamiento hipotético deductivo en este último ítem;
c. por el contrario, existen falencias muy marcadas en el empleo de la tercera ley de Newton (Pregunta 5):
d. para finalizar, también hay mucha confusión en el estudio de un movimiento complejo como es el de un oscilatorio amortiguado. Varios alumnos consideraron a la fuerza Peso como causa de la

amortiguación; concepto por supuesto erróneo. Muy pocos identificaron a priori la presencia de una fuerza de rozamiento que es el agente causal de dicho movimiento.

En lo que hace a las competencias genéricas desarrolladas en la resolución de los problemas en este cuestionario, se observa que, en líneas generales, porcentajes medios y altos de estos alumnos tienen la capacidad para resolver ciertas situaciones problemáticas de sencilla o media dificultad, producto de un pensamiento lógico y formal desarrollado en la escuela media y en el ingreso a la universidad. Lo que se sugiere es que los alumnos que han tenido deficiencias en la resolución del cuestionario sean aquellos que deban tener mayor apoyo en sus aprendizajes; por ejemplo, pueden ser los seleccionados para asistir a las clases de tutorías.

No obstante, existen dudas respecto a contenidos más complejos que se deberían tomar como referencia para que el o los docentes refuercen los mismos; por ejemplo, la aplicación de la tercera ley de Newton.

Párrafo aparte merece un comentario el péndulo amortiguado, dada su dificultad. Este tema tal vez sea una excepción porque dicho contenido generalmente no es desarrollado en los cursos previos. De todos modos, creemos que debe ser tenido en cuenta – aunque con menor profundidad – dado que indica que estos alumnos deben hacer un esfuerzo en modificar sus ideas previas. No olvidemos que estas ideas están presentes en los ingresantes, son difíciles de erradicar, pero necesitan primero ser analizadas para luego poder ser modificadas para que se pueda realizar un aprendizaje significativo de la Física.

5- Conclusiones

Esta investigación sobre conocimientos previos de alumnos ingresantes a las carreras de Ingeniería que se dictan en la UTN – FRSF permitió analizar cuáles contenidos tienen desarrollados y de qué manera, de modo de poder aprovecharlos- o corregirlos – para favorecer el aprendizaje significativo de la Mecánica Clásica.

Por otra parte, y en el caso de que se declaren los datos personales del alumnado – donde previamente debe realizarse un acta – acuerdo de confidencialidad entre las partes involucradas -, la encuesta puede ser una herramienta muy útil para identificar a aquellos ingresantes que tienen deficiencias en sus conocimientos científicos producto de sus ideas previas erróneas, y en consecuencia sean seleccionados para que puedan mejorar su aprendizaje a través de clases complementarias, como por ejemplo las tutorías.

Se sugiere realizar una continuación de esta investigación en otros temas de Mecánica Clásica con el objeto de identificar los conocimientos previos y las competencias desarrolladas por el alumnado durante situaciones problemáticas. No olvidemos que estas ideas están presentes en los ingresantes, son difíciles de erradicar, pero necesitan primero ser analizadas para luego poder ser modificadas para que puedan realizar un aprendizaje significativo de la Física.

Para finalizar, este trabajo puede hacerse extensivo también a cualquier otra disciplina dentro de las llamadas Ciencias Experimentales.

Bibliografía

Ausubel, D., Novak, J. y Hanesian, H. (1997).Psicología Educativa: Un punto de vista cognitivo. México: Editorial Trillas.

CONFEDI (2014). Documentos de CONFEDI: Competencias en Ingeniería. Mar del Plata: Universidad FASTA Ediciones.

Garret, R.(1988). Resolución de problemas y creatividad:implicaciones para el currículo de ciencias. Enseñanza de las Ciencias, 6(3), 224-230.

Garret, R. (1995). Didáctica de las Ciencias Experimentales. Alambique, 5, 6- 15.

Massa, M., Sánchez, P. y Llonch, E. (2002). Convergencias y divergencias en la resolución de problemas de Física: un estudio comparativo en grupos expertos, Memorias (CD) del III Taller Internacional de Didáctica sobre la Física Universitaria. DIDACFISU 2002, Cuba.

Pozo, J. y Gómez Crespo, M. (2013). Aprender y Enseñar Ciencias. Madrid: EdicionesMorata.

Ritchie, S., Tobin,K. y Hook, K. (1997). Viability of Mental Models in Learning.Chemistry.Journal of Research in ScienceTeaching, 34, 223- 238.

Sánchez, P. (2005). El proceso de modelado en la resolución de un problema. Un estudio de caso. Memorias de la XIV REF XIV. Bariloche, Argentina.

Sánchez, P. (2011). Las Representaciones Mentales en la Resolución de Problemas de Mecánica Clásica.Tesis de Doctorado. Facultad de Psicología. Madrid: UNED

REVISIÓN DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE LA REACCION DE TRANSESTERIFICACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE ETIL ÉSTERES DE ÁCIDOS GRASOS

Tomas J. Vottero[(1)], Maria F. Stropiano[(1)], Ezequiel Magnani [(2)]

Tutores: Mg. Ing. Luis A. Toselli – Esp. Ing. Romina Beltran

[(1)]Grupo de Investigación en Simulación para Ingeniería Química (GISIQ), - F. R. Villa María de la UTN Av. Universidad 450, X5900HLR, Villa María, Córdoba, Argentina.

[(2)]Ingeniería de proyectos. Área de investigación y desarrollo, Porta Hnos S.A.

e-mail: vottero.tomas@gmail.com

Resumen

Los ácidos grasos presentes en los aceites vegetales se encuentran en forma de triglicéridos. La estructura de esta molécula se ve modificada cuando se somete a una reacción de transesterificación (TE).

Se han utilizado diferentes aceites vegetales para la reacción de transesterificación en la cual se evaluaron diferentes variables, principalmente tipo de catalizador, relación másica catalizador/aceite y tiempo de reacción. Se pretende determinar el perfil de ácidos grasos que componen dichos aceites, siendo de mayor interés los poliinsaturados de cadenas de 18 átomos de carbono (C18): omega 9, 6 y 3. El perfil de ácidos grasos fue determinado mediante la técnica GC/FID, y la observación cualitativa del avance de la reacción a través de cromatografía de capa fina (TLC).

La transesterificación es crucial para el desarrollo tecnológico de un proceso que consiste en la obtención de etil ésteres de ácidos grasos (EEAG) a partir de aceites vegetales comestibles no convencionales, en el marco de un convenio establecido entre la Facultad Regional Villa María de la UTN y la empresa Porta Hermanos S.A. de la ciudad de Córdoba.

En términos generales se indica que se ha estudiado la influencia de las distintas variables y concluido que la concentración de catalizador tiene relación directa en el avance de la reacción.

Introducción

El desarrollo del proyecto tiene que ver con el refinado de aceites vegetales, realizar la reacción de transesterificación y la posterior concentración de los ácidos grasos de interés nutracéutico en la forma de etil ésteres.

En la transesterificación de aceites vegetales, un triglicerido reacciona con un alcohol en presencia de catalizadores los cuales pueden ser ácidos o bases fuertes, produciendo una mezcla de ésteres alquilicos de ácidos grasos y glicerol[1].

El proceso global consta de tres reacciones reversibles consecutivas, en las cuales se generan productos intermedios: di y monogliceridos[2]. La relación estequiometria requiere de un mol de triglicérido y tres de alcohol, aunque un exceso de etanol se utiliza para aumentar el rendimiento en ésteres de ácidos grasos y para permitir una mejor separación del glicerol formado (Figura 1).

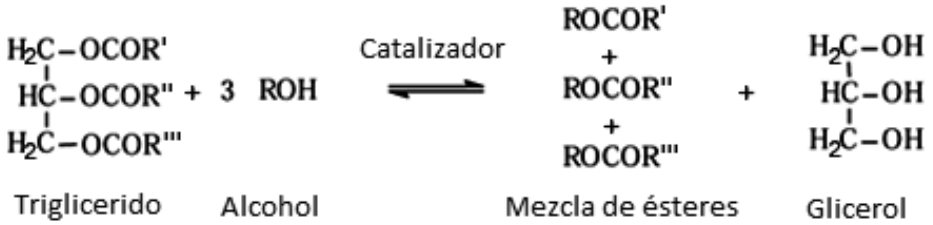


Figura 1. Transesterificación de aceites vegetales.

El mecanismo de la reacción de transesterificación catalizada por bases se representa en la figura 2. El primer paso (Ec. 1) es la reacción de la base con el etanol, produciendo un alcoxido y el catalizador protonado. El alcoxido ataca nucleofilicamente al grupo carbonilo del triglicérido generando un intermediario (Ec. 2), a partir del cual el éster alquílico y el correspondiente anión de diglicerido se forman (Ec. 3). Este último desprotona el catalizador, regenerando la especie activa (Ec. 4), lo cual lo hace apto para reaccionar con una segunda molécula del alcohol e iniciar un nuevo ciclo reactivo.[3,4]

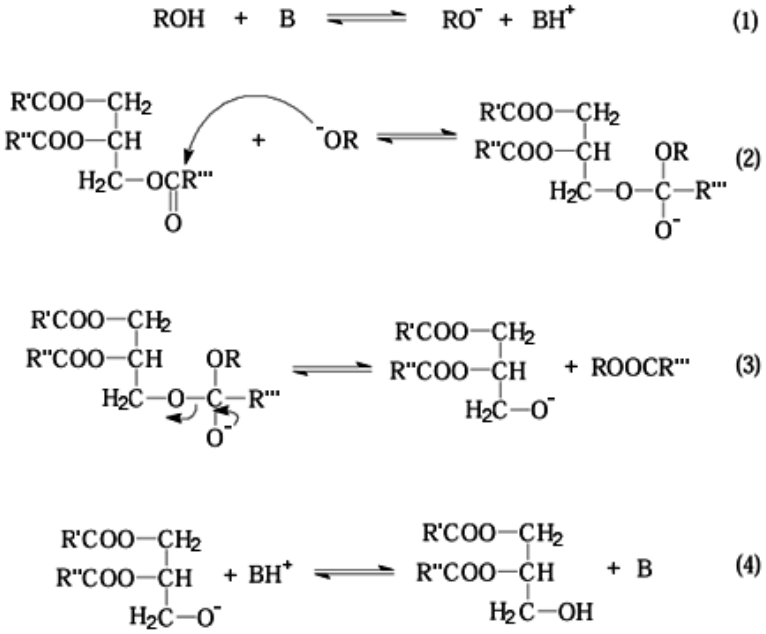


Figura 2. Mecanismo de la transesterificación catalizada por una base

La transesterificación catalizada por bases, ocurre con mayor velocidad que aquella en las que se emplean ácidos[2]. Por esta razón, los procesos industriales generalmente utilizan catalizadores de naturaleza básica, como alcóxidos de metales alcalinos[2] e hidróxidos.

La influencia de la relación molar etanol/aceite, el tipo y la concentración del catalizador utilizado y la temperatura de operación influyen en el avance de la reacción, por lo que el manejo de estas variables resulta fundamental para garantizar el rendimiento global del proceso hasta alcanzar valores de interés industrial, lograr así su éxito económico.

Distintas técnicas cromatografías son utilizadas para la determinación cualitativa y cuantitativa de etil ésteres de ácidos grasos: la cromatografía de capa fina (TLC) es una técnica muy difundida para observar de manera cualitativa el avance de la reacción, y dentro de las cuantitativas se encuentra la cromatografía gaseosa con detección de llama (GC-FID); técnica muy utilizada para la determinación de los ésteres.

Materiales y métodos

Aceites vegetales:

Aceites de girasol comercial, que tiene un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados y tocoferoles (Vitamina E).

Aceite de chía refinado.

Aceite vegetal comestible no convencional: En este trabajo a partir de material crudo obteniéndose en el proceso de refinado para su posterior transesterificación. En las dos operaciones se trabajó a escala laboratorio, caracterizándose su perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases y la conversión de aceite en etil ésteres por cromatografía de capa fina.

El refinado del aceite incluyo las operaciones de desgomado, neutralización, lavado y secado bajo vacío para eliminar restos de humedad que son contraproducentes en la transesterificación.

La reacción se realizó utilizando etanol anhidro en exceso, el cual es de interés por la empresa ya que esta materia prima es producida por la misma, aceite vegetal refinado y se empleó catálisis alcalina. Los diferentes ensayos permitieron realizar una revisión y evaluación de la influencia de los distintos catalizadores y la cantidad a utilizar, así como el tiempo de reacción.

Luego de la transesterificación, se acidificó el medio y se destiló el etanol en exceso. La separación de la glicerina fue por decantación. Por último, a la fase superior de la decantación (mezcla de etil ésteres) se le realizaron lavados y decantaciones sucesivas, y finalmente el secado al vacío del producto de reacción.

Los resultados se procesaron y expresaron en % área de etil y % peso etil ésteres/peso de muestra a través de una curva de calibración de metil ésteres; los cuales fueron obtenidos por cromatografía gaseosa con detector FID. También se determinó el cociente de etil ésteres obtenidos con respecto al aceite refinado a reaccionar. Se observó cualitativamente el avance de reacción a través de cromatografía de capa fina, usando plaquetas de silica gel, hexano y éter etílico como eluyentes y una cámara de iodo sublimado para revelado de la placa.

Resultados

En la figura 3 se muestra un cromatograma donde se encuentra el perfil de ácidos grasos presentes en el aceite de girasol comercial transesterificado, con los tiempos de elución correspondiente a los etil ésteres de ácidos grasos presentes en la muestra.

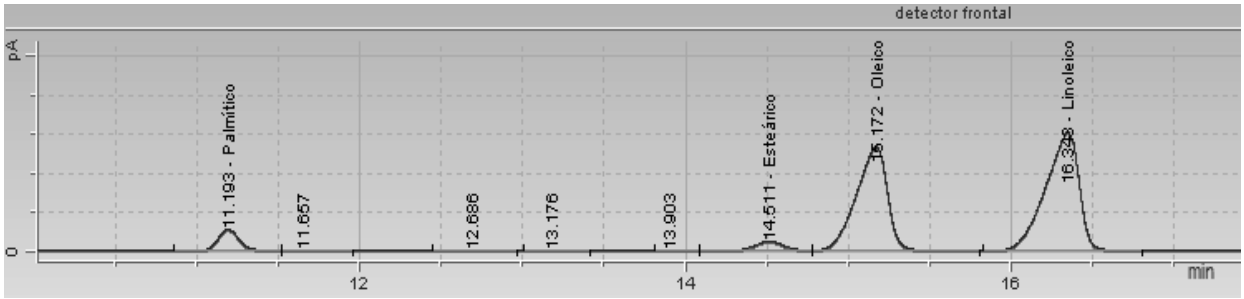


Figura 3. Perfil de ácidos grasos presentes en el aceite de girasol comercial

En la tabla 1 se encuentra el porcentaje de áreas del aceite de girasol, y su comparación con otras referencias.

Tabla **1**. Porcentajes de área de los diferentes etil esteres en el aceite de girasol comercial.

Ácidos grasos	% Área	% Referencia[5]
Livianos	9,2	10,3
C18 insaturados	90,8	88,6
Pesados	-	1,1

En la figura 4, se encuentra el cromatograma correspondiente al aceite vegetal no convencional refinado y transesterificado, con los tiempos de retención en cada pico de cada etil éster.

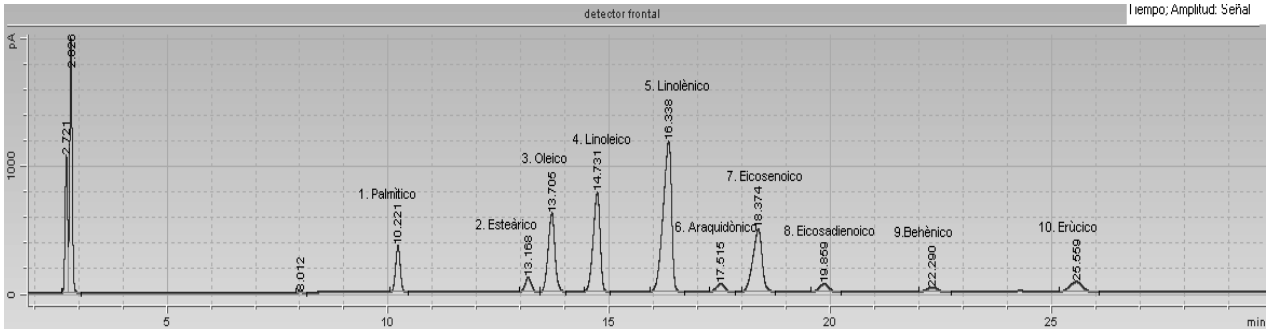


Figura 4. Cromatograma del aceite no convencional refinado.

En la tabla 2 se expresan los % de área correspondiente al os diferentes etil ésteres de ácidos grasos que constituyen la muestra analizada.

Tabla 2. Perfil de ácidos grasos presentes en el aceite vegetal no comestible.

Ácidos grasos	% Área	**% Referencia[6]**
Liviano	9,17	11,3
C18 insaturados	67,51	70,7
Pesados	23,32	18,0

En la figura 5, se encuentra el perfil de ácidos grasos correspondiente al aceite de chia, la presencia de otros picos de los cuales no se conoce que tipo de compuesto es.

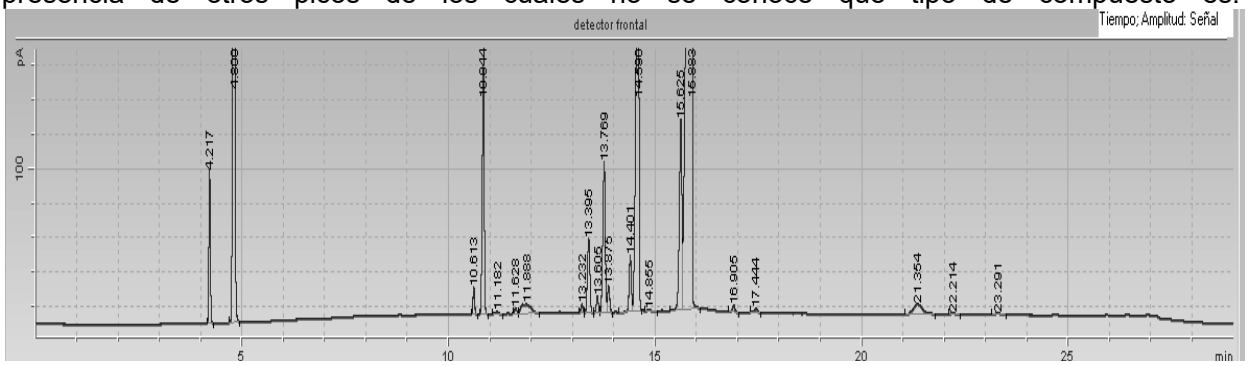


Figura 5. Cromatograma del aceite de chía y presencia de picos no reconocidos.

En la tabla 3 se expresa el % de área de los etil ésteres de ácidos grasos sin considerar los picos desconocidos, y en la tabla 4 se expresa el % de área incluyendo la presencia de los mismos para observar la variación de estos de acuerdo al modo que se analice la muestra.

Tabla 3. Ácidos grasos presentes en el aceite de chia y su respectivo % de área sin considerar los picos desconocidos.

Ácidos grasos	% Área
Liviano	9,40
C18 insaturados	89,23
Pesados	1,37

Tabla 4. Ácidos grasos presentes en el aceite de chia y su respectivo % de área considerando los picos desconocidos.

Etil éster	% Área
Livianos	7,15
C18 insaturados	78,83
Pesados	1,21
Picos no reconocidos	12,81

En las figuras 6, 7 y 8 se pueden ver las cromatografías en capa fina de aceite crudo, y aceite transesterificado respectivamente.

Figura 6. Aceite vegetal crudo

Figura 7. Aceite vegetal transesterificado

Figura 8. Aceite vegetal transesterificado

Conclusiones

Se ha verificado la evolución de la reacción de transesterificación mediante catálisis alcalina y determinado que la concentración de catalizador optimiza una mayor conversión.

Los valores obtenidos en la determinación del perfil de EEAG por cromatografía gaseosa, han demostrado repetividad y reproducibilidad. Las concentraciones promedio alcanzadas responden satisfactoriamente a los objetivos pretendidos.

La técnica de cromatografía de película delgada (TLC) utilizada para las transesterificaciones, permitió analizar de manera comparativa la eficiencia cualitativa alcanzada bajo diferentes condiciones de reacción, resultando válida para los requerimientos de proceso.

Se considera cumplida de manera satisfactoria la etapa de desarrollo de experiencias a escala laboratorio. Los resultados obtenidos permiten avalar la conveniencia de afrontar las erogaciones que demanda el continuar los estudios a mayor escala de producción.

Referencias

1. 25. Wright, H.J.; Segur, J.B.; Clark, H.V.; Coburn, S.K.; Langdon, E.E.; DuPuis, E.N. *Oil & Soap* 1944, 145.

2. Freedman, B.; Butterfield, R.O.; Pryde, E.H. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1986, *63*, 1375.

3. Taft, R.W. Jr.; Newman, M.S.; Verhoek, F.H. *J. Am. Chem. Soc.* 1950, *72*, 4511.

4. Guthrie, J.P. *J. Am. Chem. Soc.* 1991, *113*, 3941.

5. George Anastopoulos, Ypatia Zannikou, Stamoulis Stournas, Stamatis Kalligeros. (2009). Transesterification of Vegetable Oils with Ethanol and Characterization of the Key Fuel Properties of Ethyl Esters, Energies 2009, 2, 362-376.

6. Bryan R. Moser, Steven F. Vaughn (2009). Evaluation of alkyl esters from Camelina sativa oil as biodiesel and as blend components in ultra low-sulfur diesel fuel, Bioresource Technology 101 (2010) 646–653.

EVALUACION EXPERIMENTAL DE TECNICAS DE REFINADO DE ACEITES VEGETALES COMESTIBLES

María Florencia Stroppiano [1] Nadia Z. Comba [2]

Tutor: Esp. Ing. Romina Beltrán

[1]Grupo de Investigación en Simulación para Ingeniería Química (GISIQ), - F. R. Villa María de la UTN Av. Universidad 450, X5900HLR, Villa María, Córdoba, Argentina
[2] Ingeniería de proyectos. Área de investigación y desarrollo, Porta Hnos S.A.

e-mail: florstroppiano@hotmail.com

Resumen

En el siguiente trabajo se realizan las técnicas experimentales para el refinado de un aceite vegetal comestible crudo no tradicional y otro que resulta como subproducto de proceso, evaluándose a escala laboratorio el comportamiento de sus principales variables. Tales experiencias han sido llevadas a cabo como una primera etapa de un desarrollo tecnológico integral realizado en el contexto de un convenio específico establecido entre la Facultad Regional Villa María de la UTN y la empresa Porta Hermanos S.A. En primer lugar se procedió a la eliminación de fosfátidos comparándose la eficiencia del desgomado entre las opciones clásicas realizadas con agua frente al de tipo ácido que es el más utilizado industrialmente. Mediante refinado químico se realizó la separación de los ácidos grasos libres, por neutralización, previa determinación del índice de acidez del aceite, eliminándose posteriormente los restos de solución alcalina con lavados con agua, hasta obtener un pH aproximadamente neutro, finalizando esta operación mediante el control de su acidez final. Por último, se procedió a la eliminación del agua residual mediante la operación de secado bajo vacío. Se concluyó que para ambos casos resulta conveniente la aplicación del refinado ácido, aun cuando los resultados para las dos tecnologías evaluadas fueron satisfactorios.

Palabras claves: Técnicas de refinado, aceites vegetales, aceites comestibles.

Introducción

Los aceites vegetales son sustancias compuestas principalmente de triglicéridos, insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos. En menor proporción se encuentran otros componentes, algunos de los cuales afectan significativamente las propiedades físicas y químicas de los aceites (Gunstone, 2008). Hablar de estos componentes menores, es hacer referencia a ácidos grasos, fosfolípidos, tocoferoles, esteroles, hidratos de carbono, resinas, proteínas, trazas de metales, pigmentos, entre otros. Algunos de los cuales son insaponificables (no contienen ácidos grasos en su estructura).

El objetivo de refinar y procesar el aceite crudo es precisamente eliminar los materiales indeseables. Básicamente se refiere a tratamientos purificadores, destinados a separar ácidos grasos libres, fosfátidos y otras impurezas del aceite (Bailey, 1976). Involucra varias etapas teniendo como propósito eliminar la mínima cantidad posible de constituyentes deseables (triglicéridos, vitamina E). Las impurezas interfieren en la calidad y procesamiento del aceite, una vez eliminadas pueden ser recuperadas y utilizadas como subproductos.
Existen diferentes procesos que permiten separar los constituyentes indeseables del aceite. Como pretratamiento se aplica el desgomado, que pretende eliminar los fosfolípidos del aceite, seguido de una refinación física o química, según se haga referencia a desodorizado/desacidificación o de un tratamiento con álcali para eliminar los ácidos grasos libres, respectivamente. La química es más agresiva, debido al álcali y es utilizada cuando la exigencia de calidad del aceite resultante es menor; en tanto que, en la física se utilizan técnicas más respetuosas con el medioambiente y adecuadas para aceites de alta acidez y bajo contenido en gomas (fosfolípidos), generando

productos de mejor calidad y reduciendo pérdidas en el proceso. Luego, es posible aplicar operaciones de blanqueo, desodorizado, winterizado, entre otras. Dichas etapas se pueden combinar en función de los objetivos deseados y de la adaptación del aceite para ser sometido a diferentes operaciones. Pudiendo utilizarse solo métodos físicos, químicos o una mezcla de ellos (Copeland y otros, 2002).

Se trabajó fundamentalmente sobre un crudo comestible no tradicional, al cual se le asigna un importante potencial, cuya identificación se reserva en el contexto de la cláusula de confidencialidad establecida con la empresa en cuestión. Es decir, se aplicaron y analizaron técnicas de refinado sobre un aceite comestible no tradicional.

Materiales y métodos

Las técnicas implementadas a escala laboratorio constaron de las siguientes operaciones: 1. Desgomado, 2. Neutralización, 3. Lavado y 4. Secado de la muestra. En la etapa de desgomado se aplicaron dos técnicas cuya diferencia establece en el primer caso tal operación con agua y luego con ácido. Se realizó un análisis y un ajuste de las principales variables en cada una de las etapas de ambos métodos de refinado a efectos de encontrar las condiciones más adecuadas para el tratamiento de los dos tipos de aceites en cuestión.

Materiales

Aceite crudo, agua destilada, ácido fosfórico al 85%, soluciones de hidróxido de sodio, etanol anhidro, fenolftaleína, plancha térmica, agitador magnético, balanza, centrífuga, bomba de vacío, cronómetros, termómetros, ampollas de decantación, probetas, condensador, balones, kitasatos, Erlenmeyer, buretas, soportes, pipetas.

Desgomado con agua

Se calentó con agitación aceite hasta 75ºC, adicionando luego el 2% de agua destilada en volumen del aceite. Tales condiciones se mantuvieron durante 1 hora. La mezcla se decantó en tiempos variables (24 a 72 horas) con posterior centrifugado durante 30 minutos (Universidad de Carabobo, Facultad de Ciencias y Tecnologías, 2012)

Desgomado con acido

Se calentó con agitación una fracción de aceite crudo hasta 80ºC, adicionándose luego ácido fosfórico al 85% manteniéndose las condiciones durante 30 minutos. Posterior a la separación de los fosfolípidos, se procede al neutralizado y lavados correspondientes.

Neutralizado

Se pretende una completa eliminación de los ácidos grasos libres, los cuales se transformarían en jabones insolubles en el aceite. Otras sustancias ácidas presentes se combinan con el álcali, separándose también como impurezas adsorbidas por los jabones formados en dicho proceso.

El álcali más utilizado es la sosa caustica (hidróxido de sodio), debido a la acción decolorante que presenta, pero tiene la desventaja de que, por ser tan fuerte, suele saponificar aceite neutro, además de los ácidos grasos libres (Bailey, 1976).

Dicho tratamiento elimina además al gosipol y pigmentos del aceite, debido a la fácil combinación de los mismos con la sosa caustica. Aclarándose el aceite, por extracción física de pigmentos carotenoides debido a la adsorción en el jabón formado.

Se realizó una serie de lavados con agua caliente (10 - 20% el flujo de aceite), para eliminar los restos de solución alcalina y jabones (O´Brien, 2009), efectuándose dos lavados con el objetivo de

asegurar una elevada eficiencia del refinado. La temperatura del agua debe ser de 5°C aproximadamente superior que la del aceite, para que la separación sea eficaz. La mezcla de aceite-agua requiere de un buen mezclado a efectos de lograr la máxima transferencia de jabón del aceite a la fase acuosa. Finalmente, se centrifugó para separar el agua arrastrando aproximadamente el 90% del contenido de jabón presente. La eficiencia de esta etapa se determinó comparando el índice de acidez inicial y al final de la operación.

Para determinar este índice se pesó 5 g de muestra en un Erlenmeyer y se añadió 25 ml de alcohol anhidro neutralizado. Se agitó con calentamiento, hasta ebullición para homogeneizar la mezcla. Se llevó a temperatura ambiente, se añadió fenolftaleína y se tituló con NaOH (Alarcón H. E., 2007). Se calculó el índice de acidez con la ecuación 1.

$$IA = V * N * 40 * f \qquad (1)$$

V= ml de NaOH gastados
N= normalidad del NaOH (0,1 N)
F= factor (0,996)
Donde IA nos estaría indicando la acidez para los gramos de aceite pesados.

Ya determinado el IA de una muestra del aceite desgomado, se realizó el cálculo correspondiente, mediante la ecuación 2 para preparar la solución cáustica.

$$gNaOH : \frac{gAceiteAnalizados * IA}{g\ AceiteTotales} \qquad (2)$$

Con los gramos de NaOH necesarios para neutralizar el aceite total desgomado, se preparó una solución al 15%, se calentó tanto la solución como el aceite a 57 °C aproximadamente, se mezcló la solución con el aceite y se mantuvo bajo estas condiciones durante 10 minutos. Luego se centrifugó durante 15 minutos y se separaron los jabones formados. En la figura 1 se muestra el material que se separar en esta etapa.

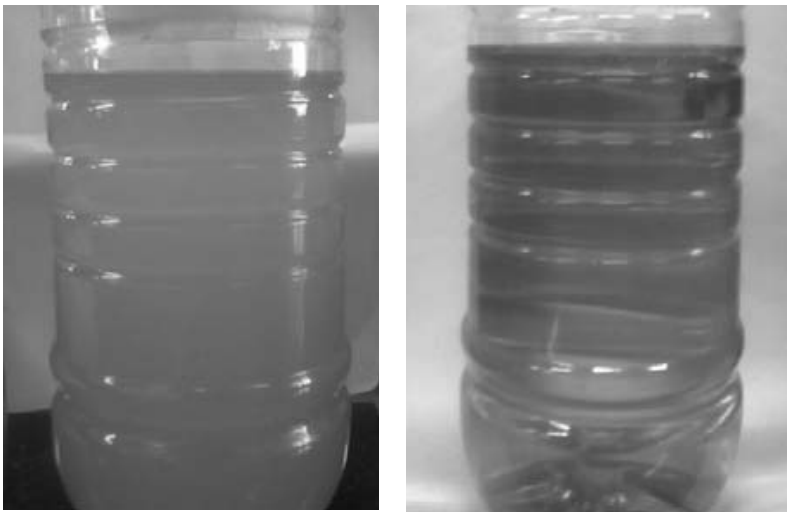
Lavado del aceite neutralizado

La muestra se calienta a 85-88ºC y se le adiciona agua a 90-93ºC aproximadamente. Se mantiene durante 5 minutos con agitación y luego se lleva a decantar.
Una vez separada el agua se vuelve a realizar un segundo lavado. Luego de separar el agua y para asegurar que el aceite no le queden restos de la misma se centrifuga durante 15 minutos.

Figura 1: Jabones formados en la neutralización.

Secado a vacío

Es una etapa previa a su almacenamiento o decoloración para controlar que el contenido de humedad se encuentra por debajo del 0,1%, la muestra es sometida una agitación suave a 60ºC con vacío durante 30 minutos. En la figura 2 se muestra comparativamente el aceite crudo y el aceite refinado.



Aceite crudo Aceite Refinado

Figura 2: Comparación de aceite crudo y refinado

Análisis de resultados

Desgomado: La cantidad de agua adicionada fue evaluada en un rango variable aún más amplio que el recomendado en la bibliografía especializada (Blanco Rodríguez P., 2007; O`Brien, 2009). Pudo establecerse para este caso la conveniencia de operar con un 2% valor para el que pudo extraerse la mayor cantidad de hidratables posibles.

No se observaron mayores diferencias de separación para temperaturas evaluadas entre 65 y 90 °C, por lo que se optó trabajar en valor de 75 °C también precisados en la bibliografía. Para valores superiores se observó algún déficit de rendimiento en etapas posteriores.

Se requirió de operaciones de decantación y posterior centrifugado para lograr una buena separación. La centrifugación fue realizada con tiempos de operación de 10, 15 y 30 min obteniéndose los mejores resultados con este último valor.

La operación de desgomado ácido para este aceite en particular resulta ser más eficiente a partir del análisis de los resultados obtenidos, los cuales presentan mejoras en el proceso que han sido evaluadas en el orden del 10 %.

Neutralización: En la práctica, los valores promedio obtenido comparativos, para Índice de Acidez (IA) y Ácidos Grasos Libres (AGL) del aceite crudo desgomado se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Datos de valoración antes y post neutralización.

	Previa neutralización	Post neutralización y lavado
V	4,59	0,428
g de aceite analizados	5	5,003
IA (g)	0,0183	0,001706
% de ácidos libres	2,36	0,24

El contenido en ácidos grasos libres se expresa mediante la acidez calculada según el método tradicional (Panreac Química S.A. Analíticos en alimentaria, métodos oficiales de análisis, 1999). Se expresa en % de ácido oleico.

Del análisis de los valores puede observarse la eficiencia de la operación. Los resultados alcanzados resultan satisfactorios para el uso posterior que se pretende.

Se requirió de dos lavados para asegurar la eliminación total de solución alcalina, lo cual se controló con la medición del pH del agua de lavado.

Secado: Se observó la factibilidad de operar con un bajo nivel de agitación y se alcanzaron los objetivos de calidad pretendidos para el producto evaluado. Ya que no presentó posteriormente características físicas que perjudicaran su uso cuando se lo sometió a diferentes operaciones.

Conclusiones

De lo antes expuesto se puede concluir que:

A los efectos del uso posterior pretendido para el material (transesterificación y posterior destilación por camino corto para obtención de etil ésteres de ácidos grasos omega 3) la secuencia de operaciones de desgomado, neutralización, lavado y secado resulta satisfactoria para los aceites crudos en cuestión.

Ambas opciones de desgomado fueron válidas no obstante el lavado ácido resulta más promisorio para operaciones a mayor escala.

La selección de un refinado químico como se ha indicado para realizar la desacidificación del aceite desgomado aun cuando fueron analizadas y estudiadas, mediante su aplicación a escala laboratorio permitieron alcanzar valores finales aptos para los requerimientos posteriores de proceso.

No fue necesario implementar la etapa de decoloración en el refinado, por cuanto los pigmentos presentes en el producto intermedio obtenido resultan luego eliminados en la fracción pesada subproducto de la destilación molecular y no afecta la calidad de los etil ésteres concentrados.

Referencias

Alarcon Hernandez Elizabeth. Tecnología de Oleaginosas. Universidad Nacional abierta y a distancia. Sogamoso, 2013.
Bailey Alton Edward. Aceites y grasas industriales. Obra indispensable a Químicos e Ingenieros interesados en la producción y fabricación de aceites y grasas. Reverté, 1961.
Blanco Rodrígues Pilar. Proyecto Final de carrera. Diseño de una planta piloto de refinación de aceites vegetales. Universidad de Cádiz, 2007.
Copeland, Richard y Blecher Maurice. Patente Española, ES 2248218T3. Procedimiento para la purificación de aceite vegetal. España, 2002.
Gunstone Frank. Oils and fats in the food industry. Food Industry Briefing Series. United Kingdom, 2008.
O'Brien, Richard D.Fats and Oils. Formulating and Processing for Applications. 3rd Edition. U.S.A., 2009.
Scientific Psychic. Grasas, aceites, acidos grasos, triglicéridos. 2015
Panreac Química S.A. Analíticos en alimentaria, métodos oficiales de análisis. Aceites y Grasas.1999.
Universidad de Carabobo, Facultad de Ciencias y Tecnologías, Informe de Pasantías. Determinación del método óptimo para la medición del contenido de ceras en aceite de girasol, blanqueado y desencerado. Barbula, 2012.

APLICACIÓN DE LA DESTILACIÓN MOLECULAR DE CAMINO CORTO A LA SEPARACIÓN DE MACROMOLÉCULAS DE ACEITES VEGETALES

Virginia M. Bragagnini Napolitano[(1)], Tomas J. Vottero[(1)],Ezequiel Magnani [(2)]

Tutor: Mg. Ing. Luis A. Toselli.

[(1)] Grupo de Investigación en Simulación para Ingeniería Química (GISIQ), - F. R. Villa María de la UTN Av. Universidad 450, X5900HLR, Villa María, Córdoba, Argentina.
[(2)] Ingeniería de proyectos. Área de investigación y desarrollo, Porta Hnos S.A.
e-mail: viri29_1@hotmail.com

RESUMEN

Se han desarrollado ensayos experimentales a escala piloto para concentrar etil ésteres de ácidos grasos obtenidos por transesterificación de aceites vegetales comestibles. Los mismos se llevaron a cabo con el objetivo de concentrar los tipos poliinsaturados de C18, en particular el correspondiente al alfa-linolénico (ALA), dado su interés de comercialización a partir de dichos aceites, a diferencia de otros compuestos de interés como los ácidos eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA), presentes de manera natural en otros derivados de productos marinos. Tales ensayos constituyen una de las etapas principales de un desarrollo tecnológico que comprende el tratamiento integral del proceso de obtención de etil ésteres de ácidos grasos a partir aceites vegetales comestibles no tradicionales, en el contexto de un convenio específico establecido entre la Facultad Regional Villa María de la UTN y la empresa Porta Hnos S.A.

Se evaluaron diferentes condiciones de operación, principalmente temperaturas y niveles de vacío, a efectos de optimizar la separación deseada utilizando un destilador molecular de camino corto facilitado por la empresa. La concentración del producto se llevó a cabo operando en múltiples etapas. La primera destilación parte del material transesterificado obtenido en una instancia previa, separándose los etil ésteres -EE- de un residuo constituido por otros suproductos de distintos tipos y características (no etil ésteres- NEE). Luego los EE fueron destilados sucesivamente hasta alcanzar un producto concentrado resultante de cortes intermedios entre livianos y pesados, los que se recuperaron luego como subproducto. Se empleó cromatografía en fase gaseosa para su cuantificación. Como resultados se menciona la determinación de las condiciones de operación que permiten llevar el proceso a escala productiva y la obtención de un producto acorde a requerimientos.

INTRODUCCIÓN

Los aceites vegetales provienen de frutos, semillas u otras partes de plantas con alto contenido de ácidos grasos, en los cuales se acumulan como fuente de energía. Las etapas de éste proyecto comprendieron el refinado de éstos aceites y su posterior transesterificación, a efectos de su purificación y elevación del contenido de ácidos grasos y su conversión a ésteres, macromoléculas que finalmente fueron separadas y concentradas.

Algunos aceites comestibles pueden ser utilizados para la producción de concentrados con propiedades funcionales (Patil D., 2014), estos principios activos sirven para tratar una gran cantidad de enfermedades (European Food Information Council, 2003).

Existen diferentes métodos de separación y concentración, entre ellos se incluyen: la separación basada en destilación, cristalización a baja temperatura, extracción supercrítica, separación enzimática, acomplejamiento con urea y también algunas técnicas de cromatografía (Patil, 2014). En este trabajo se utiliza la destilación molecular como objeto de estudio, pretendiéndose comprobar la factibilidad de concentrar compuestos específicos.

Separar y purificar productos orgánicos de elevado peso molecular, presenta la dificultad de evaporarlos y concentrarlos sin que se descompongan o se afecte el color u otras cualidades

por las altas temperaturas requeridas para la operación. Muchas sustancias, tal como éstas, se descomponen químicamente a temperaturas inferiores a su punto de ebullición.

La destilación molecular es una tecnología basada en la evaporación de ciertos componentes de una mezcla de baja volatilidad en contacto con una superficie calefaccionada y su inmediata condensación en una superficie fría muy cercana a la anterior. Es llevada a cabo a muy bajas presiones, del orden de 5 – 10 bar, de este modo se consiguen mayores volatilidades relativas de los componentes intervinientes, lo que permite trabajar a bajas temperaturas, aptas para la separación de este tipo de moléculas termolábiles. El operar a bajas presiones permite separar dos componentes con puntos de ebullición cercanos con mayor facilidad que a presiones mayores. Esto se debe a que las diferencias entre las presiones de vapor aumentan a medida que se reduce la presión de operación. El nombre destilación molecular proviene del nivel de vacío utilizado, el cual se denomina flujo molecular. El equipo donde se lleva a cabo la destilación es un evaporador de camino corto (Pedroni, 2014).

La cromatografía de gases (CG) con detección de ionización de llama es la técnica más elegida para la determinación de composiciones de ácidos grasos, después de la conversión a derivados de éster simples. Estos pueden ser identificados individualmente por CG, con una certeza razonable según sus tiempos de retención relativos (O'Brien R., 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de aceites: Las materias primas de partida son conocidos a nivel de investigación por su alto contenido inicial de ácidos grasos de interés nutricional como el oleico, linoleico y linolénico. Se pretende, a futuro, procesar otro aceite crudo disponible como un subproducto de proceso que resulta de interés aprovechar desde el punto de vista comercial. Se mencionan:

- Aceite de Girasol Comercial (AGC): éste cuenta con un contenido importante de ácidos grasos poliinsaturados,y de vitamina E. Se realizó su transesterificación evaluándose su contenido de ácidos grasos por CG a efectos de considerar la posibilidad de concentrar los componentes de interés.
- Aceite Vegetal No Tradicional (AVNT): El mismo no se identifica en razón de tratarse de un desarrollo protegido por cláusulas de confidencialidad establecida en el convenio vigente con la empresa. No obstante, se indica que posee una cantidad importante de ácidos grasos poliinsaturados w-6 y w-3, además de ácido oleico (monoinsaturado). Con éste se realizaron ensayos de refinación y su posterior transesterificación para los mismos fines.

La caracterización de los ácidos grasos presentes se realizó mediante CG. Posteriormente, y previa preparación de la alimentación, se llevaron a cabo ensayos de destilación molecular, en un destilador de camino corto a diferentes condiciones de operación, (presiones y temperaturas). El control composicional de destilado y residuo de esta fase del proceso permitió evaluar la separación alcanzada y se determinó mediante operaciones posteriores la secuencia de procesamiento de los diferentes cortes en varias etapas.

El refinado y la reacción de transesterificación de los aceites estudiados se desarrolló como una secuencia previa a escala laboratorio empleando etanol (producto de interés para la empresa) e hidróxido de sodio como catalizador, previo análisis de su reactividad (Reyero, 2014), obteniéndose los parámetros de reacción. Luego se evaluaron técnicas alternativas de desgaseo previas a la destilación, de acuerdo a:

Desgaseo estándar del alimentador del destilador molecular: el sistema incorporado al equipo consta de un recipiente de vidrio encamisado (Figura 1), por el cual circula agua de calentamiento. El conjunto se mantiene bajo vacío para facilitar la eliminación de gases y vapores presentes. Niveles de vacío combinado con el calentamiento de la muestra en el alimentador se evaluó para diferentes tiempos y temperaturas considerándose su incidencia en el proceso. Opciones de desgaseo con rotovapor: con calentamiento y despresurización con un equipo tradicional y desgaseo con un sistema de laboratorio: empleando agitador magnético con calefacción y sensor de temperatura y fuente de vacío independiente, permitieron evaluar las mismas variables que en el sistema estándar y comparar eficiencias para cada caso.

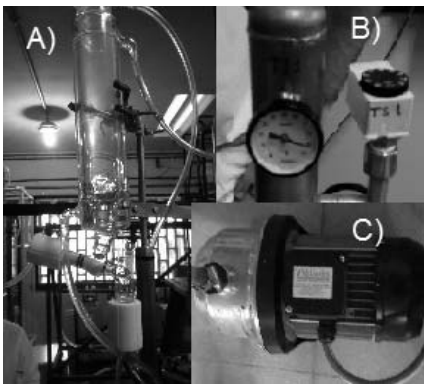


Figura 1. Sistema de desgaseo de destilador molecular. A) Alimentador encamisado. B) Resistencia calefactora con regulador. C) Bomba de agua para sistema de vacío.

Cada fracción a destilar, previamente desgaseada, fue procesado en el equipo experimental que se muestra en la figura 2. Los parámetros de destilación y composiciones fueron medidos y evaluados a efectos de determinar una secuencia operativa óptima para la obtención de un producto acorde a requerimientos. Se llevaron a cabo diferentes ensayos que fueron monitoreados por cromatografía de gases evaluándose concentraciones de productos de transesterificación, desgaseo, destilados y residuos, obteniéndose además sus respectivas relaciones de masa para las distintas etapas.

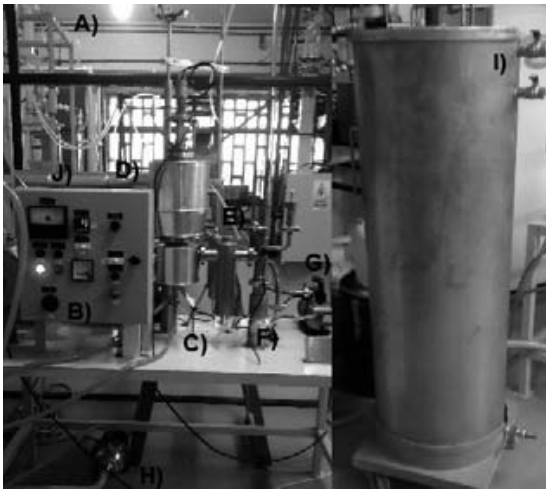


Figura 2. Equipo de destilación molecular: A) Alimentador. B) Tablero. C) Condensador. D) Cuerpo del destilador. E) Trampa de frio. F) Bomba difusora. G) Bomba de vacío. H) Bomba de agua. I) Tanque de agua. J) Sistema de calefacción con aceite térmico.

El control en CG se realizó (luego de su calibración con diluciones de un patrón específico) mediante extracción con hexano de las mezclas de etil esteres, previamente tratado con sulfato de sodio anhidro. Se utilizó un equipo Agilent 6820, columna: HP-FFAP 15 m, 0.53 mm x 1.5 μm, volumen de inyección: 1 μL, gas portador: helio (1 mL/min), gases para detector: nitrógeno (10ml/min), aire (300ml/min), hidrógeno (30ml/min). temperatura de detector: 280 ºC, temperatura de inyector: 250 ºC, modo split y programa de temperatura: 180 ºC (2 min), 10 ºC/min hasta 240 ºC, mantenidos por 30 min. Los resultados se expresan en % de Área, tomando 100% a la sumatoria de los picos detectado e integrados posteriores al frente del solvente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del AGR: En la tabla 1 se muestran tiempos de retención para los diferentes ácidos grasos identificados. Se obtuvieron las composiciones porcentuales que fueron comparadas con las referencias disponibles observándose diferencias pocos significativas. A manera de ejemplo, en la figura 3 se observa el cromatograma de una de las muestras analizadas.

Tabla 1. Caracterización promedio de ácidos grasos - AGC.

Ácidos grasos	Tiempo de retención (min)
Palmítico C16:0	13,84
Esteárico C18:0	18,09
Oleico C18:1, n−9	18,95
Linoleico C18:2, n−6	20,52

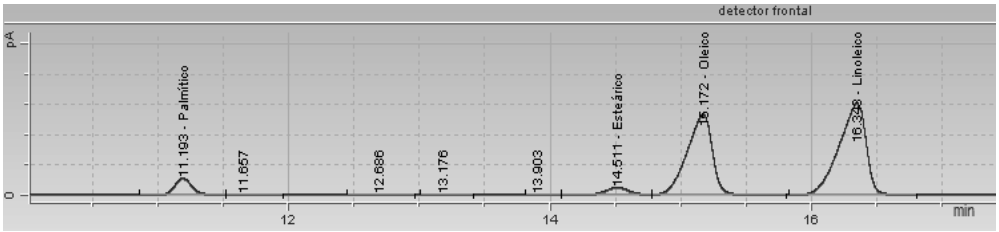


Figura 3. Cromatograma de caracterización de ácidos grasos en Aceite de Girasol.

Análisis del AVNT: En la tabla 2, se muestran los resultados de los tipos de ácidos identificados y sus tiempos de retención

Tabla 2. Caracterización promedio de ácidos grasos - AVNT

Ácidos grasos	Tiempo de retención (min)
Palmitico C16:0	13,73
Esteárico C18:0	17,93
Oleico C18:1, n−9	18,70
Linoleico C18:2, n−6	20,21
Linolénico C18:3, n−3	22,56
Araquidónico C20:4, n−6	24,39
Eicosenoico C20:1	25,58
Eicosadienoico C20:2	27,95
Behénico C22:0	31,74
Erúcico C22:1 n−9	36,63

En la figura 4 se muestra un cromatograma en donde se identifican los ácidos grasos presentes. Para la presentación de análisis posteriores estos se agrupan en livianos (palmítico y esteárico), C-18 (oleico, linoleico y linolénico) y pesados (araquidónico, eicosenoico, eicosadienoico, behénico y erúcico).

Un análisis global de alimentación de producto transesterificado desgasseado en función de % área y % peso versus los de la muestra seca correspondiente se muestra en la tabla 3. Una cuantificación porcentual de ellos se muestra en función de sus áreas y de manera global por cuestiones de confidencialidad, pero fue debidamente obtenida como valores promedios para cada componente a partir del total de las muestras analizadas.

El análisis cromatográfico identifica únicamente los etil ésteres de los ácidos grasos, no así triglicéridos, ni moléculas no saponificables. Se pudo determinar también que la reacción no alcanzaba una conversión completa.

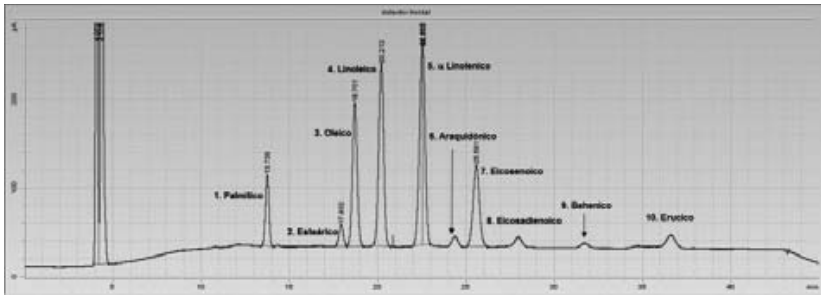


Figura 4. Cromatograma de una muestra de aceite transesterificado.

Tabla 3 Comparación de resultados porcentuales promedios de áreas de la muestra húmeda vs. secas para cada método utilizado.

Ácidos Grasos	% Área Muestra Húmeda	% Área Muestra Seca Alimentador	% Área Muestra Seca Rotovapor	% Área Muestra Seca Kitasato
Livianos	8,35	8,34	8,63	8,07
C-18	68,02	68,35	67,60	67,39
Pesados	23,63	23,31	23,78	24,54
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Ensayos de Destilación Molecular: En primera instancia se realizaron destilaciones con temperaturas superiores a 145 °C, vacío inferior a 1,5 torr y caudales variables de alimentación.

Los resultados muestran una relación de R/D (residuo sobre destilado) de aproximadamente 1 y los cromatogramas de la alimentación seca y el destilado, permiten observar un aumento significativo de la concentración de AG en éste, y una disminución casi a cero en el residuo.

Algunas muestras de residuos no contenían directamente ácidos grasos en un orden detectable para el método utilizado en CG. Los resultados para % área no fueron considerados y para % peso en ese caso fueron considerados como cero.

Se realizaron ensayos de destilación molecular a una menor temperatura a cada uno de los destilados anteriores; el caudal se mantuvo en el mismo al igual que el vacío. Los resultados se muestran en la tabla 4, se consiguió una relación menor R/D, en el orden de 0,5.

Después de analizar los resultados de los ensayos a menor temperatura, se puede ver que, teniendo en cuenta el porcentaje relativo en áreas de los destilados, aumentó la cantidad de C-18 en la muestra en un 13%. Para las mismas también aumentó en porcentaje de livianos, pero disminuyó significativamente el de pesados (148%). En el caso de los residuos, sufrieron una disminución de livianos y C-18, aumentando la cantidad de pesados.

Tabla 4. Resultados de ensayos de destilación molecular en función de los cromatogramas analizados de alimentación seca, destilado y residuo, de bidestilados.

Ácidos Grasos	% Área Alimentación	% Área Destilados	% Área Residuos
Livianos	8,26	12,24	2,70
C-18	68,18	78,27	45,97
Pesados	23,56	9,5	51,33
Total	**100**	**100**	**100**

CONCLUSIONES

De lo expresado en este informe se puede concluir:

- ✓ Con respecto a la caracterización de los aceites por CG, la correlación entre los valores porcentuales experimentales y de referencia, sugieren una correcta selección de método de preparación de muestras y operación del equipo.
- ✓ En función del aceite de partida (transesterificado), se necesita mejorar el rendimiento de reacción y alcanzar una mayor conversión. Una concentración de etil ésteres superior de partida permitiría una mejora de la operación global. Se considera que la técnica de destilación molecular es eficiente en este sentido.
- ✓ El desgaseo no ha mostrado diferencias significativas entre los métodos aplicados.
- ✓ Se debe avanzar en la investigación para conseguir condiciones de operación más estables, y de esta forma, poder llegar a un ensayo que permita concentrar en mayor proporción los ácidos del grupo C-18, que son los de interés. Además, se cree que puede ser necesario agregar a las etapas del proceso, una fase de operación que permita eliminar los ésteres livianos, debido a que los mismos son más difíciles de separar de los C-18.

REFERENCIAS

Martinello, M; Bonino, F; Gatica, E; Pramparo, M. Modelado y análisis de destilación molecular de película descendente. Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Río Cuarto. 2003.

M. Pramparo, S. Prizzon y M.A. Martinello. Estudio de la Purificación de Äcidos Grasos, Tocoferoles y Esteroles a partir del Destilado de Desodorización. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Río Cuarto. 2005.

Oliver, A y Segura C. El Libro Blanco de los Esteroles Vegetales. 2da edición. España, 2005.

Gunstone, Frank. Oils and fats in the food industry. Food Industry Briefing Series. Dundee, UK, 2008.

Prizzon, Santiago. Introducción a la tecnología de destilación molecular. Advance Organic Materials S.A., 2009

O'Brien, Richard D. Fats and Oils. Formulating and Processing for Applications. 3rd Edition. U.S.A., 2009.

Kapoor, R. and Patil, U. K., Mini Review: Importance and production of omega-3 fatty acids from natural sources, International Food Research Journal 18, 493-499, 2011.

Dipak Patil. Recent trends in production of polyunsaturated fatty acids (PUFA) concentrates, Journal of Food Research and Technology, 2, 15-23, 2014.

Pedroni, Jose M. El destilador molecular y sus aplicaciones en la industria de aceites y grasas. Buenos Aires, Argentina, 2014.

Reyero, Inés. Kinetics of the NaOH-catalyzed transesterification of sunflower oil with ethanol to produce biodiesel. Fuel Processing Technology 129, 147–155, 2015.

FRACCIONAMIENTO CON UREA DE ETIL ÉSTERES DE ÁCIDOS GRASOS OBTENIDOS POR TRANSESTERIFICACION DE ACEITES VEGETALES.

Virginia M. Bragagnini Napolitano[(1)], Ezequiel Magnani [(2)]

Tutor: Mg. Ing. Luis A. Toselli.

[(1)]Grupo de Investigación en Simulación para Ingeniería Química (GISIQ), - F. R. Villa María de la UTN. Av. Universidad 450, X5900HLR, Villa María, Cba., Arg. [(2)]Ingeniería de proyectos. Área I+D, Porta Hnos S.A. e-mail: viri29_1@hotmail.com

RESUMEN

Los aceites vegetales comestibles son productos alimenticios constituidos principalmente por glicéridos de ácidos grasos, además de otros lípidos. Los mismos tienen una función vital para el organismo y son una de las más importantes fuentes de energía, proporcionan vitaminas A, D, E y K y ácidos grasos esenciales. Los componentes funcionales presentes en los aceites son necesarios en la nutrición humana para cumplir con funciones de carácter metabólico y/o estructural. Por ese motivo, y al comprobarse que ayudan en la prevención de diversas patologías y deterioros de la salud, se pone especial atención en las investigaciones y desarrollos de alimentos enriquecidos con estas fracciones lipídicas. Por esta razón se elaboran complementos (cápsulas, pastillas, tabletas y otras formas similares) en los que se pueden concentrar tales principios activos.

Actualmente se está trabajando en un desarrollo tecnológico en el contexto del convenio específico establecido entre la Facultad Regional Villa María de la UTN y la empresa Porta Hermanos S.A. El mismo comprende el tratamiento integral del proceso de obtención de etil ésteres de ácidos grasos a partir aceites vegetales comestibles no tradicionales. Como parte de tales actividades se investigó sobre diferentes técnicas para su concentración. De manera particular se evaluó a escala laboratorio diferentes variables para el fraccionamiento mediante formación de complejos con urea.

La misma se basa en la formación de complejo de inclusión de urea y ácidos grasos. Estos resultan en la cristalización de los ácidos grasos saturados y monoinsaturados permitiendo así la separación de los poliinsaturados pretendidos.

Se desarrolló una serie de experiencias a efectos de evaluar el comportamiento de las principales variables tendientes a la optimización de esta metodología y su combinación con otras etapas de separación, lo cual permitió alcanzar una concentración de etil ésteres de ácidos grasos de C18, con valores cercanos al 90%.

Como conclusiones se indica que los resultados obtenidos permitieron disponer de información suficiente para desarrollar los respectivos balances másicos y energéticos a escala piloto que hacen posible evaluar la factibilidad de proyectar el desarrollo e implementación de esta tecnología a una mayor escala de producción.

INTRODUCCIÓN

El descubrimiento de la importancia de los lípidos en una nutrición sana es un proceso que se inició a partir de los años veinte (Ortega, R.M., 2010). Anteriormente se creía que la grasa no desempeñaba un papel esencial en la alimentación si se consumían cantidades suficientes de vitaminas y minerales con la dieta.

Los componentes funcionales presentes en los aceites son necesarios en la nutrición humana como fuente de energía y para cumplir con funciones de carácter metabólico y/o estructural. Por ese motivo, y al comprobarse que ayudan en la prevención de diversas patologías y deterioros de la salud, se pone especial atención en las investigaciones y desarrollos de alimentos enriquecidos con estas fracciones lipídicas; además de revisar los procesos de producción actuales de modo que sean menos agresivos y la mayoría de los ingredientes funcionales que se encuentran de manera natural permanezcan en el aceite.

Existen muchos métodos patentados para la separación, concentración o purificación de las macromoléculas de interés presentes en los aceites vegetales. Entre los métodos presentados se encuentra el de cromatografía el cual tiene como base para la separación el número de moléculas de carbono y el grado de insaturación, utilizando adsorbentes adecuados. Otro método de interés es el de cristalización a baja temperatura, el cual se basa en la separación de compuestos solubles en solventes orgánicos a temperatura ambiente, que se vuelven insolubles a temperaturas inferiores a 0°C y cristalizan. También existe la separación mediante la utilización de un fluido supercrítico, que utiliza las propiedades de éste para separar por peso molecular y por grado de insaturación. Métodos enzimáticos y de cristalización con urea también fueron y son actualmente estudiados, con buenos resultados para la separación de concentrados de ácidos grasos (Patil, D., 2014).

La separación utilizando el método de acomplejamiento con urea está basada en la formación de un complejo de inclusión de la urea y el ácido graso. Este material sólo es un cristal tetragonal. Sin embargo, en presencia de un ácido graso forma un cristal hexagonal, al constituir este complejo de inclusión. Solamente las moléculas de ácidos grasos lineales tienen la posibilidad de formar tales estructuras. De este modo los saturados y los monoinsaturados pueden ser separados de los poliinsaturados, que son los de interés. Este método es simple y adecuado para obtener concentrados de ácidos grasos C-18 poliinsaturados; pudiéndose emplear en conjunto con otras técnicas de concentración y purificación.

Los métodos para el análisis de las mezclas de ácidos grasos, son esenciales para las investigaciones y el control de calidad; en este sentido las técnicas cromatográficas cobran mucha importancia. La cromatografía de gases (CG) con detección de ionización de llama es la técnica elegida para la determinación de composiciones de ácidos grasos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo la caracterización del aceite vegetal no tradicional, ni comercialmente conocido, que por motivos de encontrarse en etapa de evaluación estudio no es posible dar su completa descripción, respondiendo a cláusulas de confidencialidad establecida en el convenio existente. Este producto posee una cantidad inicial importante de ácidos grasos poliinsaturados w-6 y w-3, además de ácido oleico (monoinsaturado).

Se realizaron ensayos de refinación de este aceite y la posterior transesterificación según métodos descritos en la bibliografía utilizada (Reyero, 2014). Se llevó a cabo la caracterización de los ácidos grasos presentes, mediante la técnica de cromatografía de gases, en donde se realizaron ensayos cualitativos y cuantitativos, mediante la comparación con una curva patrón.

Entre las técnicas de concentración evaluadas en este estudio se han desarrollado otras opciones llevándose a cabo ensayos de destilación molecular, en un destilador de camino corto. Finalmente se realizaron ensayos de acomplejamiento con urea. Esta etapa de trabajo se encuentra aún en desarrollo y la información presentada responde a adelantos de resultados a partir de análisis preliminares.

Se analizaron las variables de interés y se descartaron otras luego de evaluar que no afectaban significativamente al proceso. Se estudiaron las mismas, con el fin de mejorar el porcentaje de concentración de w-3 y 6. Además se tuvo en cuenta el rendimiento en masa de concentrado, debido a que dichos valores normalmente son bajos y resultan muy importantes al momento de diseñar un proceso general para su obtención.

El solvente que se utiliza para el tratamiento con urea puede ser un alcohol, que en este caso de estudio es etanol, debido a la integración que se podría obtener con otros procesos de producción existentes. Inicialmente se disuelve la urea en la proporción deseada, llevando dicha mezcla a calentamiento moderado, con agitación mecánica y recuperación de vapores para mantener la relación deseada. Cuando se logra la completa disolución y se alcanza la temperatura de operación se agrega el aceite como etil ésteres y se mezclan a dicha temperatura durante 45 minutos. Posteriormente se permite reposar para iniciar la cristalización a temperatura ambiente, para luego refrigerar y finalizar dicho proceso a bajas temperaturas.

Las variables analizadas fueron la relación urea-ácido graso, la relación urea-alcohol, el tiempo de cristalización a temperatura ambiente y el tiempo de cristalización a -18°C.

Para analizar los resultados se utilizó la técnica de cromatografía de gases. Los resultados se expresan en % de Área, tomando 100% a la sumatoria de las áreas de todos los picos detectado e integrados posteriores al frente del solvente (Norma IRAM para análisis cromatográfico de ácidos grasos).

RESULTADOS

Se estudiaron relaciones urea-ácidos grasos de 2, 2,5 y 3; y la relación urea-alcohol varió entre 3, 3,5 y 3,75. Además los tiempos de cristalización utilizados fueron de 2, 4 y 6 horas, tanto en ambiente como bajo condiciones de refrigeración. Se analizaron las combinaciones posibles mediante un diseño de experimento y se ensayaron; los resultados obtenidos se detallan en forma parcial en la tabla 1.

Tabla 1: Diseño de experimento: Tabla de datos.

BLOQUE	Rel UF[1]	Rel EU[2]	Horas a Tamb [3]	Horas freezer
1	2	3,5	4	4
1	3	3,75	4	6
1	3	3,75	2	4
1	3	4	4	4
1	2,5	3,5	4	6
1	3	3,75	6	4
1	2,5	3,75	4	4
1	2,5	3,75	4	4
1	2,5	3,5	6	4
1	3	3,75	4	2
1	2,5	4	6	4
1	2,5	3,75	6	2
1	2,5	4	4	6
1	2,5	3,5	4	2

[1]Relación urea-ácidos grasos
[2]Relación urea-etanol
[3]Horas a temperatura ambiente

Los resultados obtenidos de los ensayos anteriores muestran una marcada concentración de ácidos grasos w-3 y w-6 en la mayoría de los casos analizados. Las concentraciones alcanzadas varían entre 96 y 85% del conjunto de dichos ácidos.

En la figura 1 se muestra un cromatograma de un aceite transesterificado original, sin tratamiento de cristalización con urea.

En la figura 2 se muestra un cromatograma de un aceite que posee una concentración elevada de los ácidos grasos de interés, debido al tratamiento de cristalización.

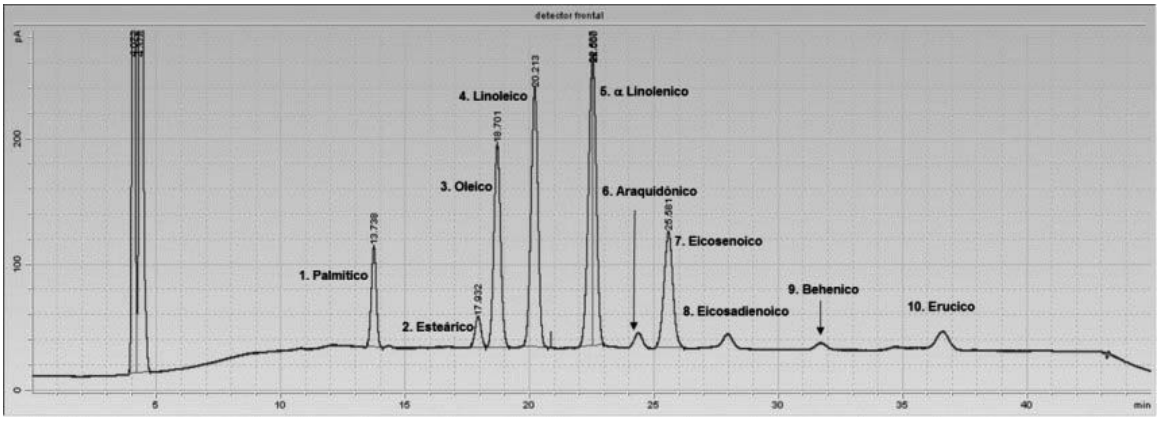


Figura 1: Cromatograma de aceite transesterificado.

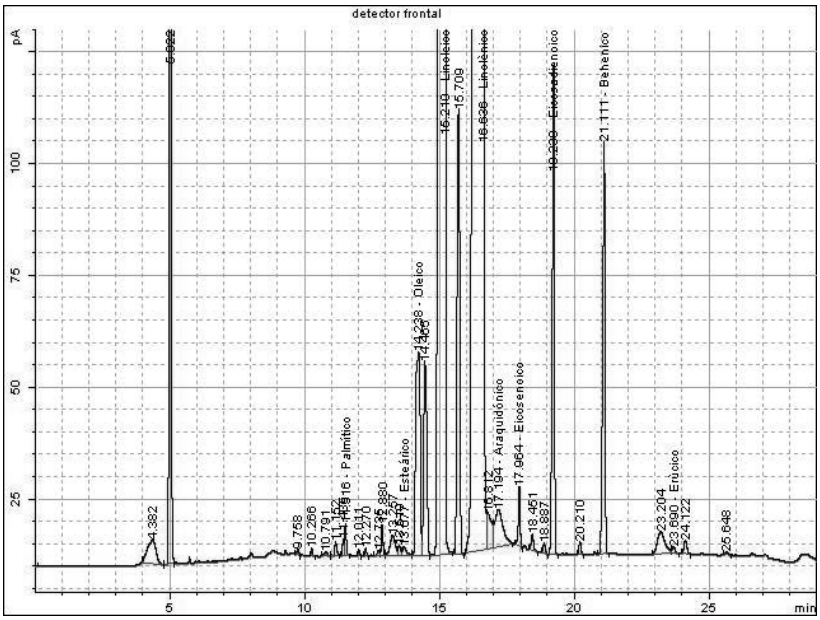


Figura 2: Cromatograma de aceite concentrado por cristalización.

Los porcentajes de concentración mencionados anteriormente son % de área con relación a todos los picos detectados por el cromatógrafo.

Es de especial interés tener en cuenta el rendimiento obtenido posterior a la reacción con urea, en relación a la masa que se extrae de aceite, luego de recuperar el alcohol y lavado del aceite. Los valores obtenidos en cuanto a rendimiento en masa son coincidentes con los valores esperados y presentado en la bibliografía.

CONCLUSIONES

De lo expresado anteriormente se puede concluir que:

- El método de cristalización con urea es de interés para realizar la concentración de ácidos grasos que son importantes para la nutrición, debido a su comprobado aporte en la prevención de patologías y disminución de los deterioros de la salud.

- La selección de variables resulto adecuada para validar el método empleado, siendo las más significativas relación urea-ácido graso y el tiempo de cristalización a baja temperatura para la obtención del producto.

- Las concentraciones finales obtenidas de ácidos w-3 y w-6 fueron satisfactorias y permiten considerar alternativas de producción a mayor escala.

REFERENCIAS

Azreena Idris and Col., Urea Fractionation of used palm oil methyl ester. Journal of palm oil research, Vol. 26. Pag. 226-231. 2014.

Dipak Patil. Recent trends in production of polyunsaturated fatty acids (PUFA) concentrates, Journal of Food Research and Technology, Vol. 2, página 15-23. India, 2014.

Gunstone, Frank. Oils and fats in the food industry. Food Industry Briefing Series. Dundee, UK, 2008.

Kapoor, R. and Patil, U. K., Mini Review: Importance and production of omega-3 fatty acids from natural sources, International Food Research Journal 18: 493-499. India, 2011.

M. Pramparo, S. Prizzon y M.A. Martinello. Estudio de la Purificación de Äcidos Grasos, Tocoferoles y Esteroles a partir del Destilado de Desodorización. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Río Cuarto. 2005.

Reyero, Inés. Kinetics of the NaOH-catalyzed transesterification of sunflower oil with ethanol to produce biodiesel. Fuel Processing Technology 129 (2015) 147–155. Pamplona, España, 2014.

O'Brien, Richard D. Fats and Oils. Formulating and Processing for Applications. 3rd Edition. U.S.A., 2009.

Oliver, A y Segura C. El Libro Blanco de los Esteroles Vegetales. 2da edición. España, 2005.

EVALUACIÓN DE EXTRACTOS VEGETALES NATURALES EN LA INHIBICIÓN DE BACTERIAS DEL GÉNERO *LEUCONOSTOC*

Mónica Serra[1], Micaela Sanmartino[1], Micaela Pairone[1], Susana Garnero[1], Jorge Garnero[1], Alfonsina E. Andreatta[1,2]

[1]Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco. Av. de la Universidad 501. 2400. San Francisco. Córdoba. Argentina.

[2]IPQA - Instituto de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Procesos y Química Aplicada-CONICET- FCEFyN- Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, X5016GCA Córdoba, Argentina

Resumen

El presente estudio, se focaliza en la inhibición de bacterias alterante de los alimentos que se encuentran como flora contaminante en salchichas tipo Viena y cuyo crecimiento se manifiesta en el producto envasado al vacío a partir de dos a tres semanas de almacenamiento bajo refrigeración provocando hinchazón de los envases. Investigaciones previas sugieren que esta alteración es producida por bacterias del género *Leuconostoc* que crecen en condiciones anaerobias con formación de gas. Se aislaron bacterias del género *Leuconostoc* de la superficie de salchichas tipo Viena envasadas al vacío y se procedió a la observación de la morfología celular al microscopio, tinción de Gram, siembra en diferentes medios de cultivo e incubación a diferentes temperaturas, formación de gas, formación de dextrano y tipificación genética de la cepa que confirmaron el género Leuconostoc. A su vez, con el objetivo de encontrar inhibidores/bactericidas de origen natural de la bacteria en estudio, se han obtenido diferentes extractos naturales a través de la técnica de hidrodestilación a partir de hojas de tomillo, laurel, eucalipto, cedrón, menta, diente de león y perejil; frutos de pimentón y ajo; flores y frutos de clavo de olor y cáscaras de limón y pomelo. Posteriormente, con cada uno de los extractos obtenidos, se procedió a realizar ensayos de sensibilidad microbiana para conocer el efecto inhibidor o bactericida sobre a esta bacteria.

1. Introducción

El interés de evitar el crecimiento de bacterias heterofermentativas del género *Leuconostoc* principalmente *L. mesenteroides* ssp., y sus efectos no deseables sobre productos cárnicos, plantea diferentes métodos para inhibir su crecimiento: utilización de microorganismos bactericidas, utilización de aditivos o el uso de procesos tecnológicos. En general, las especies del género *Leuconostoc* crecen rápidamente, debido a que su metabolismo es eficiente energéticamente, lo que influye de manera significativa en la caída de pH, producción de exudado lechoso y olor agrio. El crecimiento de estas bacterias está asociado con la aparición de ciertos compuestos volátiles tales como aldehídos y ácidos orgánicos (Diez et al., 2009).

Con respecto a la utilización de microorganismos bactericidas, se aislaron bacterias productoras de ácido láctico naturalmente presente en productos cárnicos envasados al vacío para analizar su poder bactericida. *L. carnosum 4010*, fue seleccionada como potencial bactericida por presentar fuerte actividad frente a *Listeria monocytogenes* en productos cárnicos sin producir compuestos de sabor indeseables en los mismos (Budde et al., 2003). En este sentido, también se observó que la bacteria *Lactobacillus sakei* 10 A de metabolismo homofermentativo en alimentos cárnicos envasados al vacío inhibe el crecimiento de *L. mesenteroides, B. thermosphacta* y *L. monocytogenes* de metabolismos heterofermentativos (Vermeiren et al., 2006).

Con respecto al uso de aditivos, se ha observado que la adición de sales orgánicas da como resultado una vida útil más prolongada del producto (Diez et al., 2009). Otros autores han encontrado una inhibición de crecimiento bacteriano con lisozima, nisina y EDTA (Gill & Holley, 2000).

El uso de procesos tecnológicos como la aplicación de altas presiones y pasteurización, ha extendido la vida útil del producto cárnico, produciendo una disminución de la población de *L. mesenteroides* (Diez et al., 2009). El uso de extractos naturales también está siendo estudiado. En este sentido, el efecto del extracto de romero fue investigado en la inhibición de bacterias de la familia *Enterobacteriaceae* y en *Pseudomonas* sspp., en salchichas de cerdo frescas almacenadas a 4 °C (Georgantelis et al., 2007) resultando un posible uso comercial de este extracto en la preservación de estos productos sin el uso de nitritos u otros aditivos.

Por otra parte, fue investigada la inhibición de la bacteria *L. monocytogenes* sobre salchichas tipo bologna por un film antimicrobial que contiene extracto de mostaza o sinigrina (Lara-Lledó et al., 2012) y se ha estudiado la actividad antimicrobiana de extractos de la planta *Petiveria alliacea L.* en distintas condiciones experimentales (Sandra et al., 2013). También, un film de quitosano con el agregado de extracto de té verde fue utilizado como envase activo para extender la vida en anaquel de salchichas de cerdo (Siripatrawan & Noipha, 2012). A su vez, se encontró que el ácido jasmónico, obtenido en plantas por lipoxigenación del ácido linolénico, posee un efecto inhibitorio sobre las cepas de *L. mesenteroides* (Michelena et al. 2005). De todos estas investigaciones, se ha demostrado la prolongación de la vida útil de los productos estudiados.

En este trabajo, en particular, se propone encontrar extractos naturales con poder inhibitorio y bactericida frente a las bacterias del género *L. mesenteroides* presentes en salchichas tipo Viena envasadas al vacío, cuyo crecimiento se manifiesta en el envasado al vacío a partir de dos a tres semanas de almacenamiento bajo refrigeración provocando hinchazón de los envases.

2. Procedimiento

Para llevar a cabo este trabajo, fueron necesarias las siguientes etapas: obtención de extractos naturales, tipificación bioquímica y molecular de la bacteria en estudio, preparación de ensayos de sensibilidad a los extractos y determinación de concentración inhibitoria mínima (CIM) y de la concentración bactericida mínima (CBM) a partir del método de macrodilución en caldo.

Todas las operaciones de inoculación y siembra se realizaron con materiales esterilizados en autoclave y bajo condiciones de asepsia, en una campana de bioseguridad (Telsar Clase II–A).

2.1. Obtención de extractos naturales

La Tabla 1 menciona los diferentes productos naturales renovables a partir de los cuales se obtuvieron los correspondientes extractos naturales. La extracción, se realizó mediante un equipo clásico de hidrodestilación constituido por un balón de fondo redondo de 500 mL, un manto calefactor con regulación de calentamiento y un condensador. La muestra a destilar se preparó mezclando 50 g de material vegetal triturado, con 250 mL de agua destilada. El método consistió en llevar a ebullición la suspensión acuosa del material por 120 min., condensando los vapores y colectándolos en una ampolla de decantación para poder a continuación, separar la fase de aceite esencial de la acuosa. La temperatura de extracción fue de 100 °C, la presión de operación de 1 atm (Andreatta et al., 2009). Los extractos se conservaron en viales y fueron cerrados herméticamente con tapa de goma y precinto de aluminio.

2.2. Tipificación bioquímica y molecular de la cepa

La bacteria con la que se trabajó pertenece al género y especie *L. mesenteroides.* Las bacterias de este género son cocos Gram (+), catalasa (-), glucosa tipo 4, forman pares y cadenas, anaerobias facultativas, heterofermentativas (producen etanol, dióxido de carbono, acetato, y lactato), poseen reacción negativa al crecimiento a 45 °C, disimilación negativa a la

arginina, no son móviles ni forman esporas. El medio selectivo utilizado para el cultivo de *L. mesenteroides* es Man Rogosa Sharpe (MRS), consiguiendo un óptimo desarrollo en estufa de cultivo a 30 °C y en un tiempo de 24 a 48 h. Todas estas características constituyen a la tipificación bioquímica de la bacteria.

Por su parte, la identificación por técnicas de biología molecular se realizó mediante la identificación de microorganismos por secuenciación de un fragmento del gen que codifica el 16S rRNA en el Instituto de Lactología Industrial de la Universidad Nacional del Litoral (Santa Fe, Argentina). A partir de los cultivos originales se sembró por estría una placa de agar MRS (37°C, 24 h) a los fines de obtener colonias aisladas y comprobar la pureza de los cultivos. Posteriormente, se realizó la observación microscópica de las muestras con contraste de fases (1000x). Se procedió a la realización de la reacción catalasa a partir de una colonia aislada, con agua oxigenada 10 vol. Se determinó la capacidad de producir gas a partir de glucosa (prueba de heterofermentación) sembrando la cepa en caldo MRS con campana de Durham invertida, incubando los cultivos a 34°C durante 48 h. Se observó la presencia de gas (o no) en el interior de la campanita. Posteriormente se extrajo ADN cromosómico utilizando el kit GeneElute™ Bacterial Genomic DNA (Sigma, St Louis, MO, USA) a partir de cultivos *overnight* en caldo MRS (34°C, 16 h) provenientes de una colonia aislada (agar MRS). La identidad de los microorganismos se determinó por amplificación y posterior análisis de un producto de 1500 bp perteneciente al gen 16S rDNA, utilizando primers universales (pA y pH; Edwards et al., 1989). La reacción de amplificación se realizó utilizando 5 μl de ADN como templado, 2,5 U de Taq polimerasa (GE Healthcare, Little Chalfont, United Kingdom), 200 nM de dNTPs (GE Healthcare) y 400 nM de cada primer (Sigma-Genosys, The Woodlands, TX USA) en 50 μl de volumen final, añadiendo un control negativo de reacción (sin ADN). La reacción de PCR se realizó en un termociclador GeneAmp PCR System (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA) bajo las siguientes condiciones: 3 min a 94°C, 36 ciclos de 1 min a 94°C, 2 min a 51°C y 2 min a 72°C, incluyendo un paso final de extensión de 7 min a 72°C. El producto de PCR fue separado mediante electroforesis en gel de agarosa 1,5 % en buffer TBE, adicionado de GelRed (Biotium, Hayward, CA, USA) y se visualizó bajo luz UV (Sambrook & Russell, 2001). Los productos de amplificación obtenidos se purificaron, a partir de agarosa, utilizando el kit QIAquick Gel Extraction (Qiagen) y su secuencia nucleotídica fue determinada por "primer extension" (dos reacciones de secuenciación para cada muestra, una con cada uno de los primers) en el Servicio de Secuenciación de Macrogen Inc. (Seúl, Corea). Los datos de secuencias (con ambos primers) fueron ensamblados y comparados utilizando el análisis de secuencia del software disponible en el nodo EMBL (CNB, CSIC, España). La identidad de la cepa fue determinada por similitud con las secuencias disponibles mediante la comparación del tipo "nucleotide-nucleotide BLAST" de la base de datos NCBI (www.ncbi.nlm.nhi.gov/blast).

2.3. Ensayos de sensibilidad

Se realizaron los ensayos de sensibilidad frente a los diferentes extractos naturales aquí analizados. Para ello, se utilizó el método de difusión en agar por medio de discos, donde el disco con una cantidad específica de antimicrobiano, es aplicado a una superficie de MRS agarizado de una caja de Petri inoculado previamente con *L. mesenteroides*. El inóculo se preparó siguiendo el método de suspensión directa de colonias en solución salina para obtener una densidad de 0,5 en la escala de Mc Farland; que se corresponde, aproximadamente, con una concentración de 1,5 x 10^8 UFC/mL. Se aplicó el inóculo con un hisopo embebido en la solución estandarizada y se distribuyó uniformemente sobre el medio de cultivo agarizado. Los discos estériles, se corresponden a papel de filtro de 6 mm de diámetro los cuales fueron impregnados con 10 μL de cada extracto natural. Posteriormente, las cajas de Petri se incubaron a 30 °C por 48 h. El antimicrobiano difunde desde el disco al medio de cultivo produciendo una zona de inhibición.

Posteriormente, se tomó una muestra en los halos de inhibición, se sembró en placas de Petri con MRS sin antimicrobianos y se incubó a 30 °C por 48 h. Posteriormente se observó evidencia o no de crecimiento de *L. mesenteroides* en las muestras, determinando si las concentraciones de los extractos son bactericidas o inhibitorias.

2.4. Método de macrodilución en caldo

Para medir cuantitativamente la actividad *in vitro* del extracto natural que presentó actividad bactericida en las anteriores pruebas de sensibilidad frente a un cultivo de *L. mesenteroides*, se continuó con la utilización de la técnica de dilución en medio de cultivo. Este método consistió en la preparación de una serie de tubos con medio de cultivo, a los cuales se les agregó el extracto natural en distintas concentraciones. Luego se inoculó cada uno de los tubos con una suspensión estandarizada del microorganismo en estudio. Las pruebas se examinaron después de incubar a 30 °C por 24 – 48 h. A partir de estos resultados, se determinó la CIM y la CBM del extracto natural frente al microorganismo ensayado. CIM y CBM se definen como la mínima concentración de extracto natural, inhibitoria y bactericida respectivamente, que en un período de tiempo predeterminado, es capaz de inhibir ó inducir a la muerte del 99.9% respectivamente, el crecimiento in vitro de un inóculo de *L. mesenteroides* previamente estandarizado.

La preparación de las diluciones se realizó en tubos de vidrio con tapas de plástico con diferentes concentraciones del extracto natural en el medio de cultivo comprendidas entre (0,09 a 9,54) %m/v donde el volumen final mínimo, de cada tubo, fue de 1 mL. Como control, se utilizó un tubo con el medio de cultivo sin el extracto natural.

La preparación del inóculo se realizó con la misma técnica descripta en la sección 2.3. Luego se agregó un ansa del inóculo estandarizado a cada tubo de las diluciones anteriores junto al tubo de control de crecimiento con posterior homogeneización de la mezcla, teniendo en cuenta que el tiempo empleado no debe ser superior a 15 min entre la preparación del inóculo y su colocación en el tubo.

3. Resultados

De las características particulares de la bacteria en estudio, se pudo comprobar en el laboratorio las siguientes: morfología de coco, Gram (+), formación en pares o cadenas; formación de dióxido de carbono y de dextrano; crecimiento en MRS, en Mayeux, en caldo nutritivo; crecimiento positivo en caldo MRS con solución de NaCl 3%, crecimiento negativo en caldo MRS con solución NaCl 10%

Por su parte, de los resultados obtenidos de la *tipificación biológica* en la identificación de microorganismos por secuenciación de un fragmento del gen que codifica el 16S rRNA, el aislamiento (cocos ovalados en cadena, productor de gas en MRS a 34°C) pudo identificarse como perteneciente a la especie *L. mesenteorides* con un elevado grado de certeza (99 %), sin poder discernirse mediante la técnica empleada, la subespecie (*mesenteroides* o *dextranicum*).

Posteriormente a la identificación de la bacteria en estudio, se realizaron las pruebas de sensibilidad a partir de los extractos provenientes de hojas de tomillo, laurel, eucalipto, cedrón, menta, diente de león y perejil; frutos de pimentón y ajo; flores y frutos de clavo de olor; y cáscaras de limón y pomelo. Se obtuvieron halos de inhibición de 10 mm con el extracto de pomelo; de 16 mm con el extracto de limón; de 9 mm con el extracto de menta y de 12 mm con el extracto de eucalipto. Con los restantes extractos no se obtuvieron halos de inhibición. A continuación, para las situaciones donde se formó el halo de inhibición, se efectuaron siembras a partir de los halos de inhibición, en una segunda placa con medio MRS agarizado. De esta observación, se pudo ver que el extracto obtenido a partir de cáscaras de limón presentó concentración bactericida ya que no exhibe crecimiento en esta placa con MRS, mientras que los extractos de menta, pomelo y eucalipto presentaron concentración de inhibición por producir crecimiento en las mismas. La Tabla 1 resume los resultados obtenidos en las pruebas de sensibilidad.

Tabla 1. Pruebas de sensibilidad para los diferentes extractos naturales utilizados

Producto natural	Parte de la planta usada	Diámetro del halo (mm)	Crecimiento en placa
Limón	Cáscaras	16	(-)
Eucalipto	Hojas	12	(+)
Pomelo	Cáscaras	10	(+)
Menta	Hojas	9	(+)
Tomillo	Hojas	n.d.	
Laurel	Hojas	n.d.	
Cedrón	Hojas	n.d.	
Diente de León	Hojas	n.d.	
Perejil	Hojas	n.d.	
Pimentón	Frutos	n.d.	
Ajo	Frutos	n.d.	
Clavo de olor	Flores y frutos	n.d.	

n.d.: no detectado

Considerando que el extracto natural obtenido de las cáscaras de limón presentó actividad bactericida se continuó su estudio como antimicrobiano, para la cuantificación de la actividad in vitro de este extracto natural frente al crecimiento de *L. mesenteroides*. Para ello, se efectuaron pruebas, aplicando el método de macrodilución en caldo, con diferentes diluciones del extracto natural en el medio de cultivo MRS y en caldo nutritivo. Para ello, se prepararon diferentes concentraciones del antimicrobiano comprendidas entre 0,09 a 9,54 %m/v. Se observó que, para lograr la inhibición de la cepa en estudio, se requirió una menor concentración del extracto en caldo nutritivo que en el MRS La CIM del extracto natural en el caldo nutritivo, se encontró en un rango de (0,17 – 0,29) %m/v; mientras que en el MRS se encontró entre (0,29 – 0,43) %m/v.

4. Conclusiones

Diferentes extractos obtenidos a partir de productos naturales renovables han sido evaluados para la búsqueda de inhibidores y bactericidas de la bacteria *L. mesenteroides,* presente en salchichas tipo Viena, envasadas al vacío a partir de dos a tres semanas de almacenamiento bajo refrigeración.

De esta investigación se concluye que el extracto obtenido a partir de la cáscara de limón puede ser utilizado como potencial bactericida mientras que los extractos naturales obtenidos de hojas de menta, hojas de eucalipto y cáscaras de pomelo pueden ser utilizados como potenciales inhibidores de las mismas.

5. Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional por la ayuda económica recibida (PID 3486 y 3458) y a la empresa La Piamontesa por la facilitar la bacteria en estudio.

6. Referencias

Andreatta, A. et al., 2009. Caracterización de Aceites Esenciales del departamento San Justo (Córdoba).

Budde, B.B. et al., 2003. Leuconostoc carnosum 4010 has the potential for use as a protective culture for vacuum-packed meats: Culture isolation, bacteriocin identification, and meat application experiments. *International Journal of Food Microbiology*, 83, pp.171–184.

Diez, A.M., Jaime, I. & Rovira, J., 2009. The influence of different preservation methods on spoilage bacteria populations inoculated in morcilla de Burgos during anaerobic cold storage.

International Journal of Food Microbiology, 132(2-3), pp.91–9.
Edwards, U., Rogall, T., Blockerl, H., Emde, M. and Bottger, E. 1989. Isolation and direct complete nucleotide determination of entire genes. Characterization of a gene coding for 16S ribosomal RNA. *Nucleic Acids Research* 17(19), 7843-7853.
Georgantelis, D. et al., 2007. Effect of rosemary extract, chitosan and α-tocopherol on microbiological parameters and lipid oxidation of fresh pork sausages stored at 4°C. *Meat Science*, 76(1), pp.172–181.
Gill, A.O. & Holley, R. A., 2000. Inhibition of bacterial growth on ham and bologna by lysozyme, nisin and EDTA. *Food Research International*, 33(2), pp.83–90.
Lara-Lledó, M., Olaimat, A. & Holley, R.A., 2012. Inhibition of Listeria monocytogenes on bologna sausages by an antimicrobial film containing mustard extract or sinigrin. *International Journal of Food Microbiology*, 156(1), pp.25–31.
Michelena, G. et al., 2005. Efecto inhibidor del ácido jasmónico sobre el crecimiento de bacterias y hongos. *Redalyc*, p.6.
Sandra, L. et al., 2013. Petiveria alliacea L .: distintas condiciones experimentales en la elaboración de extractos con actividad antimicrobiana Petiveria alliacea L .: various experimental conditions in the extracts elaboration with antimicrobial activity. , pp.274–287.
Sambrook, J., Russell, D. W. 2001. Molecular cloning: a laboratory manual, third ed. Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, NY.
Siripatrawan, U. & Noipha, S., 2012. Active film from chitosan incorporating green tea extract for shelf life extension of pork sausages. Food Hydrocolloids, 27(1), pp.102–108.
Vermeiren, L. et al., 2006. The sensory acceptability of cooked meat products treated with a protective culture depends on glucose content and buffering capacity: A case study with Lactobacillus sakei 10A. *Meat Science*, 74(3), pp.532–545.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DOBLE AUTENTICACIÓN MEDIANTE PASSWORD DE UN SOLO USO PARA LA AUTOGESTIÓN DOCENTE EN LA UTN-FRVM

Ing. Fernando Sorzana Ing. Matías Cassani Emanuel Matulich
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Villa María
Av. Universidad 450 – Villa María - Córdoba
fsorzana@frvm.utn.edu.ar mcassani@frvm.utn.edu.ar matulichema@gmail.com

Resumen

Este trabajo describe la investigación realizada para desarrollar un sistema de autenticación de doble factor para ser usado en diversas aplicaciones de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María (UTN-FRVM) para confirmar acciones de los usuarios. Describe como se seleccionó el método específico de doble autenticación y porque en este caso se eligió el algoritmo de HMAC-based One-time Password (HOTP) entre las distintas opciones.
Para implementar este sistema se desarrolló una aplicación móvil de generación de token, la cual se configura con una semilla (secreto) generada por otra aplicación llamada "cliente de generación de semillas" que solamente puede ser accedida en la intranet de la universidad. Luego cada aplicación que necesite usar autenticación de dos factores envía las peticiones a un servidor responsable de la generación de semilla y la validación de token.

1. Introducción

En la actualidad utilizar Internet para establecer una comunicación entre dos o más computadoras es la mejor solución considerando que los extremos de la comunicación no pertenecen a una misma red privada. Con el transcurso del tiempo muchas de las tareas que se realizaban personalmente en una oficina determinada fueron migrando su forma de llevarse a cabo, particularmente mediante el desarrollo e implementación de sistemas de información que allanen el camino y permita a las personas realizar diferentes trámites de manera remota. En la UTN FR Villa María surge la necesidad de implementar un sistema que posibilite la carga de las notas de las evaluaciones parciales por parte del docente. A lo largo del proceso de carga de las notas desde el sistema de información a desarrollar se deben asegurar la autenticidad de la información cargada al sistema por el docente, es decir verificar que la información no fue modificada en ningún momento como también el asegurar que quien ingrese las notas sea fehacientemente el docente a cargo. Nuestra regional cuenta con un sistema académico que brinda la posibilidad de cargar notas de exámenes parciales, pero desde este equipo de trabajo se considera que la solución que propone este sistema sería inviable de ser implementada en nuestra facultad por cuestiones que exceden el presente documento.
Para brindar una solución a la problemática antes descrita es que se desea implementar un mecanismo que ayude a mitigar el riesgo que presenta la utilización de un sistema de acceso por contraseña simple que es el método de autenticación utilizado en la actualidad. El principal inconveniente que presenta la utilización de una contraseña simple es la latente posibilidad de que esta sea robada por un usuario mal intencionado y pueda de esta manera acceder al sistema suplantando la identidad del docente. Para resolver esta dificultad es que se propone la utilización de un mecanismo de doble autenticación o de doble factor que permita implementar el sistema asegurando todas las transacciones que realice el usuario.
Este artículo resalta algunas de las cuestiones que necesitan ser consideradas al momento de seleccionar la solución correcta para el problema que se presenta, que no solo debe incluir la elección de la tecnología de autenticación, sino también tener en cuenta los sistemas con los que interactúa, procesos y cómo se ensambla en el modelo de negocio.

2. Selección de técnica de doble autenticación

2.1. Planteo de alternativas

Para implementar un sistema de autenticación doble, primero se deben seleccionar el segundo factor de autenticación que se utilizará (el primero siendo la contraseña que el usuario utiliza en el resto del sistema).
Los factores que se identificaron como posibles alternativas son:

Contraseña / PIN	Preguntas secretas
Reconocimiento de patrones o imágenes.	Lista de códigos indexados
Lista de códigos indexados	Código fuera de banda
Clave de un solo uso por hardware	Clave de un solo uso por software
Dispositivo criptográfico	Huella digital
Iris del ojo	Reconocimiento de voz

2.2. Análisis de las alternativas

De todas las alternativas planteadas anteriormente, se seleccionó el uso de claves de un solo uso por software, debido principalmente a que no las claves utilizadas no se repiten, o se repiten poco, y a que no se introducen dependencias de medios de comunicación adicionales.

2.3. Estándares para passwords de un solo uso

Existen diversos estándares para la generación de contraseñas de un sólo uso, entre ellos los más comunes son:

- S/KEY [3].
- Time-based One-time Password (TOTP) [4.
- HMAC-based One-time Password (HOTP) [5].

2.4. Comparación y Selección

Los algoritmos mencionados anteriormente se compararon en base a los siguientes criterios:

- Costo computacional.
- Necesidad de sincronización.
- Límite de tokens.
- Soporta pérdida de tokens.

Debido a la comparación antes realizada, la cual se resume en la Tabla 1, para la implementación realizada se descartó el algoritmo TOTP debido a que requiere sincronización entre la aplicación que genera los tokens y la que los valida, ya que esto requeriría una complejidad mucho mayor en

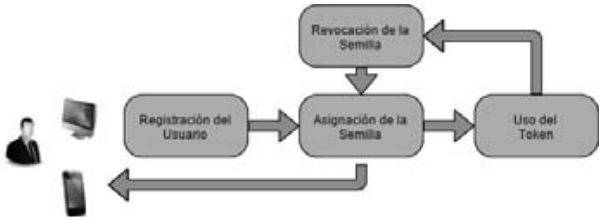


Figura 1. Ciclo de vida del token

Tabla 1. Comparación de algoritmos de password de un solo uso

Algoritmo	Costo computacional	Requiere sincronización	Límite de tokens	Soporta pérdidas de tokens
S/KEY	Alto	No	Sí	No**
TOTP	Bajo	Sí	No	Sí
HOTP	Bajo	No	No*	Sí

*Limitado solo por la cantidad de bits del contador.
**Para permitirlo, se debe incrementar el costo computacional del algoritmo.

la implementación. También se descartó el algoritmo S/KEY, debido al alto costo computacional para generar los tokens. Por lo que finalmente el algoritmo seleccionado para la generación de los tokens de doble autenticación fue HOTP.

3. Funcionamiento general del sistema

El procedimiento de uso del token [6] como se observa en la Figura 1 consiste de los siguientes pasos:

Registro de usuario: el usuario se registra en una aplicación que utiliza el sistema de doble autenticación para confirmar las acciones protegidas de la misma, por ejemplo la autogestión web de profesores.
Asignación de semilla: el usuario obtiene su semilla utilizando el Cliente de generación de semillas y la registra en su dispositivo ya sea escribiéndola manualmente o escaneando un código QR.
Utilización de token: cuando el usuario debe realizar una acción protegida por doble autenticación (como cargar las notas de los alumnos), debe ingresar la clave de un solo uso que genera su dispositivo, y el sistema la valida.
Revocación de semilla: en caso de que el usuario nota que el valor de su clave por algún motivo ha sido vulnerada, puede revocar su semilla para poder generar una nueva.

4. Arquitectura del sistema implementado

4.1. Arquitectura del sistema actual

En la facultad existe un sistema desarrollado por el rectorado de la universidad, el cual se encarga de la administración de todas las cuestiones académicas (como las condiciones de regularidad y

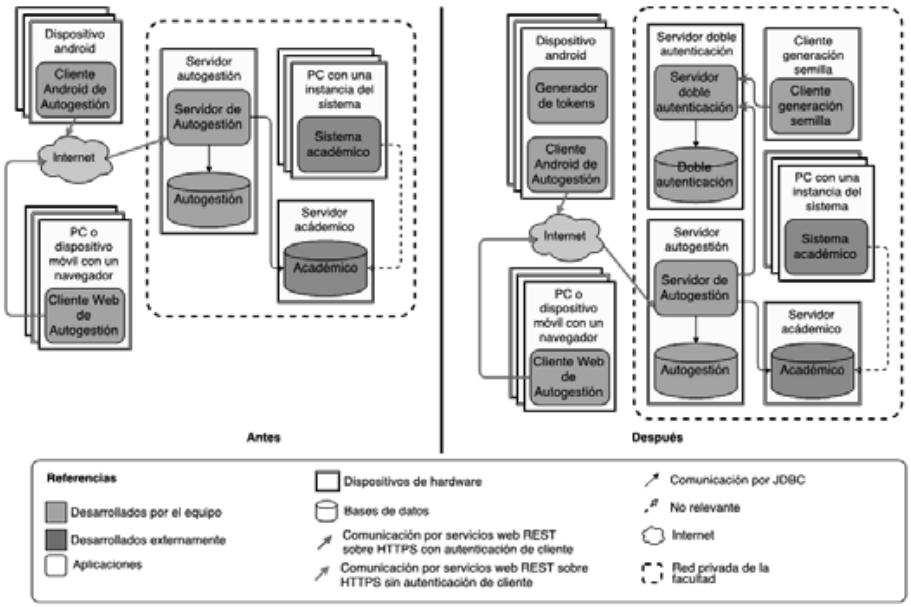


Figura 2. Arquitectura del sistema antes y después

aprobación de las materias). Dicho sistema está compuesto por una base de datos única para toda la facultad, la cual utiliza el motor de base de datos SQL Server; y múltiples instancias del cliente de escritorio para la aplicación. Debido a que dicho sistema no soporta la posibilidad de una interfaz web o móvil, se desarrolló internamente en la facultad, una aplicación implementada en Java y utilizando el framework Spring [8] llamada "Servidor de autogestión", a la cual los clientes pueden conectarse a través de servicios web de tipo Representation State Transfer (REST) [9]. De esta forma, es posible desarrollar múltiples interfaces distintas que utilicen dicho servidor. Esta aplicación se conecta a la base de datos del sistema académico para obtener y actualizar la información. Pero además, utiliza una base de datos propia (la cual utiliza el motor de base de datos Postgresql) para almacenar información (como operaciones aún no confirmadas).
A este servidor se conecta una aplicación móvil para la plataforma Android, pensada principalmente para los alumnos, y una aplicación web desarrollada en AngularJS pensada para los profesores.
En la Figura 2 se muestra una vista de despliegue [10] de la arquitectura del sistema.
En dicha vista puede observarse que la comunicación entre los clientes y el servidor de autogestión se realiza a través de internet. Dicha comunicación es cifrada utilizando Secured Socket Layer/TransportLayer Security (SSL/TLS) [11, 12], lo que impide que la información sensible como las claves pueda ser interceptada. Sin embargo, los usuarios pueden ser víctimas de ataques de phishing o suplantación de identidad. Ese es el motivo por el que se busca

asegurar algunos procesos sensibles, como la carga de notas por parte del docente mediante doble autenticación.

4.2. Arquitectura propuesta

Para la implementación del sistema de doble autenticación se implementarán 3 aplicaciones y una base de datos:
El cliente de generación de semilla.
El servidor de doble autenticación.
La aplicación móvil generador de tokens.
Base de datos de doble autenticación.
A continuación se describe la arquitectura de cada una de dichas aplicaciones:

4.2.1. Cliente de generación de semilla

Tiene como función principal ser el intermediario entre un usuario de una aplicación y el servidor de doble autenticación. Esta recibe peticiones de vinculación por parte de los usuarios a una aplicación para obtener una semilla para la generación de tokens; este cliente envía una petición con los datos al servidor de doble autenticación para la generación de la semilla. Cuando el cliente recibe una semilla asignada a una vinculación entre usuario y aplicación éste la visualiza a través de un código QR. Además permite a un usuario vincular otros usuarios a una misma semilla.
El cliente Generación de semillas es una aplicación desarrollada con tecnología web AngularJS [13]. La misma se ejecuta en un solo equipo ubicado en la oficina de bedelía de la universidad conectada a una red privada para asegurar su comunicación y conexión contra el servidor de Doble autenticación en la misma red.

4.2.2. Servidor de doble autenticación

Es responsable de recibir peticiones por parte del cliente de generación de semilla tanto para la generación de una nueva semilla o vincular un nuevo usuario a dicha semilla. Contiene la lógica necesaria para la generación de una nueva semilla, al generarla responde a la petición del cliente de generación de semilla con la misma. Recibe peticiones por parte del sistema de autogestión web para la revocación de semillas, validación de tokens. Estas funciones, entre otras, las realiza a través de las consultas y cambios en la base de datos para registrar una nueva semilla a un par usuario-aplicación, consultar validez de token, registrar uso de un token, vincular un nuevo usuario-aplicación a una semilla existente, eliminar una semilla producto de una revocación, etc.
El servidor de doble autenticación debía poder soportar peticiones a través de servicios REST desde otras aplicaciones en la intranet de la facultad. Por tal motivo, y debido a los conocimientos del equipo de desarrollo, dicho servidor se desarrolló utilizando las mismas tecnologías que el servidor de autogestión. Es decir, utilizando el lenguaje de programación Java y particularmente el framework Spring. Este servidor se conecta a una base de datos Postgresql donde se almacena la información sobre los usuarios referida a la doble autenticación. Además, solo soporta peticiones sobre HTTPS utilizando autenticación de cliente [11, 12] para garantizar que las otras aplicaciones que se encuentran en la intranet sean las únicas que puedan validar tokens o asignar semillas.

4.2.3. Aplicación móvil de generación de token

Se encarga tanto de la configuración de la semilla para la generación de tokens para el usuario al escanearla a través del cliente de generación de semilla luego de que esta fue generada y de la generación de tokens que el usuario utiliza para confirmar las acciones protegidas de la aplicación solicitante. La aplicación móvil de generación de tokens es una aplicación desarrollada con tecnología web híbrida AngularJS [13] y compilada a través de PhoneGap para generar el Application Package File (APK) nativa para Android. Por ende la misma se ejecuta en dispositivos móviles que posean Android como sistema operativo.

4.2.4. Base de datos de doble autenticación

Es donde se almacenan las semillas generadas para las vinculaciones entre usuarios y aplicaciones, tokens generados, etc. Recibe peticiones para realizar consultas sobre validez de tokens, registrar nuevas vinculaciones semilla-usuario-aplicación, eliminar semillas revocadas, entre otras.

5. Implementación

Cabe recordar que la doble autenticación se realiza utilizando el algoritmo HOTP [5] previamente seleccionado. A continuación se detalla brevemente el funcionamiento de dicho algoritmo.

5.1. Generación del password de un solo uso

El valor del password de un solo uso se calcula mediante la siguiente fórmula:

HOTP(K, C) = truncar(HMAC-SHA-1(K,C))

Donde:

K = valor de la semilla o secreto compartido entre el validador de doble autenticación y el cliente que genera dicho token.

C = contador o factor de movimiento que se va incrementando en uno cada vez que el cliente genera un nuevo token.

HMAC-SHA-1 [15] = es un algoritmo para calcular un hash a partir de una clave secreta y un mensaje utilizando como función de encriptación iterativa (Secure Hash Algorithm) SHA-1.

truncar = es una función para obtener un entero de una longitud fija (generalmente entre 6 u 8 dígitos) a partir del hash generado por HMAC-SHA-1. Para el mismo hash la función truncar debe devolver siempre el mismo entero.

5.2. Configuración del algoritmo

Para implementar el algoritmo es necesario definir los siguientes parámetros de configuración:

s (tamaño de la ventana de sincronización) = la cantidad de valores hacia adelante del algoritmo que calculará el validador en pos de verificar la validez de un token proporcionado por un cliente antes de darlo como inválido.

T (throttling o estrangulamiento) = es la cantidad de intentos fallidos y consecutivos para un mismo usuario, antes de bloquear el mismo.

d (longitud del token) = es la cantidad de cifras del entero generado por la función truncar.

5.3. Selección de parámetros del algoritmo

Los parámetros seleccionados se basan en la fórmula especificada en el estándar RFC (Request For Comments) 4226 del algoritmo HOTP [5], la cual indica la probabilidad de que un atacante tenga éxito sin conocer el token del usuario, la fórmula de acuerdo a la configuración del algoritmo es (s*T)/(10^d).

De acuerdo a esto se definieron los valores desde el punto de vista de la usabilidad del usuario y la probabilidad exitoso del atacante a partir del estrangulamiento, los valores seleccionados son:

Longitud de la ventana = 8 Longitud del token = 8 Estrangulamiento = 3

Resultando una probabilidad de 2,4x10-7de obtener éxito ante un ataque.

El valor de la longitud de la ventana y el estrangulamiento se consideró que en cuanto mayor son estos, la usabilidad se ve afectada positivamente pero la seguridad disminuye considerablemente al tener más posibilidades de obtener un intento exitoso, por lo contrario mientras más pequeños sean estos valores la usabilidad se puede considerar muy afectada ya que un usuario tendrá pocos intentos para ingresar el token correcto pero la seguridad mejora debido a que tendrá pocos intentos para ingresar sin conocer el valor. En cuanto al valor de la longitud del Token cuanto mayor sea este, la usabilidad disminuye ya que es un valor muy largo que el usuario tendrá que observar muchas veces o le puede surgir dificultad de memorizar en ese momento para poder ingresarlo; la seguridad mejora con un valor largo ya que las combinaciones posibles para ese valor son altas. Si el valor seleccionado es pequeño la usabilidad mejora ya que es un valor fácil para visualizar, observar, recordar y de ingresar; en cuanto a la seguridad esta disminuye ya que las combinaciones posibles para un valor pequeño son considerablemente menores.

6. Discusión

La implementación de doble autenticación en la aplicación de autogestión permitió brindar mayor seguridad a operaciones críticas ya que protege contra ataques de robo de contraseñas y suplantación de identidad. La mayor dificultad a la hora de implementar este mecanismo es la no disponibilidad por parte de todo el personal docente de dispositivos móviles en los cuales se pueda instalar la aplicación generadora de tokens. Por lo tanto, este mecanismo de doble

autenticación por passwords de un solo uso se complementará con otro mediante tarjetas de coordenadas, pero dicha implementación queda fuera del ámbito de este trabajo.
Del estándar HOTP se desprende que el mejor ataque posible para vulnerar la seguridad que propone dicho algoritmo es el ataque de fuerza bruta, el cual consiste en probar todos los posibles valores de token hasta el correcto. Sin embargo, dicho ataque no es factible debido a la limitación el valor de estrangulamiento del algoritmo, el cual permite solo una cantidad limitada de intentos de autenticación antes de bloquear el usuario. Por lo tanto, todo atacante que no disponga del valor del próximo token (o uno muy próximo) no podrá autenticarse. Debido a esto, como se ha mencionado anteriormente, un atacante que no conozca la semilla ni el próximo token, solo tiene una probabilidad de 2,4x10-7 de obtener acceso con un determinado usuario antes de que el mismo se bloquee. Cabe destacar que se han encontrado colisiones en el algoritmo SHA1 y se han descubierto ataques que permite obtener acceso con mayor efectividad que los ataques de fuerza bruta. Sin embargo dichos ataques requieren de una alta capacidad de cómputo para realizarlos, lo cual es poco probable que esté al alcance de la mayoría de los atacantes. Sin embargo, no se ha encontrado evidencia [5] de que las vulnerabilidades encontradas en SHA1 se puedan utilizar para vulnerar el algoritmo HMAC-SHA-1.
Una de las ventajas de la implementación realizada utilizando sincronización por eventos es el hecho de que para la generación de token no se necesita sincronizar el reloj del dispositivo con el servidor, situación que imposibilitaría la utilización del sistema en cualquier momento ya que no está asegurada la disponibilidad de una conexión a internet ya sea mediante la red celular o bajo una conexión inalámbrica.

7. Conclusión

Luego del trabajo realizado, se pudo implementar un prototipo del servidor de doble autenticación el cual permitió probar la viabilidad de esta alternativa para mejorar la seguridad del sistema. Los resultados obtenidos de este trabajo han sido muy positivos ya que los password generados pudieron utilizarse correctamente para autenticarse y el algoritmo utilizado garantiza que la probabilidad de que un atacante pueda ingresar al sistema es prácticamente nula, a no ser que obtenga de alguna forma la semilla. En un futuro el grupo de investigación que llevó adelante el presente proyecto buscará implementar la versión completa de este sistema incluyendo el generador de semilla y el generador de token, para finalmente poder poner el sistema en producción. Además se buscará conectar más aplicaciones del ámbito de la UTN-FRVM a dicho sistema para que se beneficien del incremento en la seguridad que provee el mismo.

8. Referencias

[1] William E. Burr et al., “Electronic Authentication Guideline”, National Institute of Standards and Technology, 29 de Agosto de 2013.
[2] Alta van der Merwe, Marianne Loock, Marek Dabrowski, “Characteristics and Responsibilities involved in a Phishing Attack”, Proceedings of the 4th international symposium on Information and communication technologies, pp. 249-254, Sudáfrica, Enero de 2005.
[3] The S/KEY One-Time Password System, RFC 1750, Febrero de 1995.
[4] TOTP: Time-Based One-Time Password Algorithm, RFC 6238, Mayo de 2011.
[5] HOTP: An HMAC-Based One-Time Password Algorithm, RFC 4226, December 2005.
[6] Duncan de Borde, Selecting a Two-Factor Authentication System, Julio de 2007.
[7] QR Code bar code symbology specification, ISO/IEC 18004:2015, Febrero de 2015.
[8] Rod Johnson, Juergen Hoeller, Keith Donald, Spring Framework Documentation, 2014.
[9] Roy Thomas Fielding, “Representational State Transfer (REST)” en *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*, University of California, Irvine, 2000.
[10] Paul Clements et al., *Documenting Software Architectures*, Octubre de 2010.
[11] The Secure Sockets Layer (SSL) Protocol Version 3.0, RFC 6101, Agosto de 2011.
[12] The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.2, RFC 5246, Agosto de 2008.
[13] John Papa, “Angular Style Guide”, 2015, disponible en https://github.com/johnpapa/angular-styleguide
[14] Martín Fowler, “Patterns of Enterprise Application Architecture”, pp. 116, Enero de 2003.
[15] HMAC: Keyed-Hashing for Message Authentication, RFC 2104, Febrero de 1997.

APLICACIÓN DE REGLAS DE ASOCIACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE PATRONES DE COMPORTAMIENTO EN SISTEMA ACADÉMICO UNIVERSITARIO

Ing. David J. Belamate, Ing. Matías A. Cassani, Ing. Carolina P. Ricci

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Villa María
Av. Universidad 450 – Villa María – Córdoba – Argentina
{dbelamate, matiascassani, caro.ricci88}@gmail.com

Resumen. Este trabajo está basado en la aplicación de reglas de asociación, como función de la minería de datos, con la intención de extraer conocimientos de una base de datos académica perteneciente a una institución educativa de nivel universitario. Comienza describiendo los diferentes algoritmos y herramientas existentes en la actualidad. Seguidamente, se presenta una síntesis descriptiva de los datos a partir de los cuales se realizó el análisis de asociación; como así también, se detalla el origen de los datos. Finalmente se detallan las reglas obtenidas por los diferentes algoritmos que pueden contribuir al proceso de toma de decisiones, de las cuales una de ella es interpretada.

Palabras Clave: Reglas de Asociación, Minería de Datos, Algoritmo A priori, Descubrimiento del Conocimiento

1 Introducción

Las reglas de asociación nos permiten conocer la relación entre los diferentes atributos de la base de datos que estemos analizando sea relacional, transaccional o datawarehouse. Las reglas obtenidas mediante estas técnicas expresan patrones de comportamiento entre los datos en función de la aparición conjunta de valores de dos o más atributos. Se encuadran dentro del aprendizaje no supervisado, ya que están dirigidos a descubrir patrones y tendencias a partir de un conjunto de datos [1]. El presente trabajo está dirigido a la búsqueda de reglas de asociación en un ámbito académico específico, manteniendo reserva de la Institución. De este modo, se toma como referencia una base de datos en la que se encuentra información concerniente a exámenes finales rendidos por estudiantes del ámbito universitario en un período de tiempo específico desde el año 2008 al 2014 con el objetivo de encontrar posibles asociaciones entre turnos de exámenes, alumnos, asignaturas y año académico. Se analiza el mismo conjunto de datos en tres herramientas que dan soporte al proceso de minería a través de un algoritmo específico. Las contribuciones del trabajo son proporcionar una visión sobre la técnica de reglas de asociación de minería de datos, relevando los diferentes algoritmos y herramientas de software disponibles detallando las características generales de cada uno de ellos.

2 Estado del Arte

Las reglas de asociación constituyen una de las técnicas más conocidas y empleadas en la minería de datos por su aplicación a diferentes áreas temáticas. En un trabajo de grado de la Universidad Nacional de Pereira [3] se abordan las técnicas de minería de datos que contribuyan al desarrollo de un modelo predictivo de ventas buscando asociaciones entre productos vendidos utilizando la herramienta RapidMiner. En el artículo desarrollado para la 9° Jornadas Argentinas de Software Libre [4] se presenta una propuesta metodológica relacionada a la generación de patrones de comportamiento asociados a incidentes de equipos informáticos en el ámbito de un laboratorio de sistemas de información. En materia de salud también tienen aplicación las reglas de asociación, como en artículo de la Universidad Politécnica de Madrid [5] que se enfoca el estudio hacia una base de datos clínicos para la extracción de reglas de asociación en aquellos pacientes que poseen VIH/SIDA con la finalidad de contribuir al estudio del comportamiento del virus y del impacto que produce a las personas que lo poseen. El avance de la tecnología ha hecho posible que como se expone en la tesis de la Universidad Autónoma Metropolitana de México [6] se aplique la minería de datos al web mining con la finalidad de encontrar asociaciones entre la temática de las búsquedas en determinadas URLs realizadas por personas pertenecientes a una institución o empresa, de las cuales se analizan ciertos atributos (estado civil, sexo, profesión).

3 Contexto de investigación

A continuación se describen algunos conceptos que facilitarán la comprensión del tema a desarrollar en el presente trabajo.

3.1 Descubrimiento del Conocimiento en Base de Datos (KDD)

El Descubrimiento del Conocimiento en Bases de Datos [7] (KDD) consiste en el modelado y análisis exploratorio, automático de grandes repositorios de información. Se trata de un proceso organizado para identificar patrones novedosos, comprensibles, válidos y útiles a partir de conjuntos de datos complejos. Este proceso consiste en una secuencia iterativa de pasos: 1- Limpieza de Datos 2- Integración de Datos. 3- Selección de Datos. 4- Transformación de datos. 5- Data Mining. 6- Evaluación y Presentación. 7- Presentación del Conocimiento.

3.2 Data Mining

La minería de datos es solo una etapa dentro del proceso de Descubrimiento de Conocimiento en Base de Datos (KDD), aunque es considerada la más importante porque revela patrones ocultos en los datos. Se puede definir entonces a la Minería de Datos [8] como el proceso de exploración y análisis, a través de medios automáticos o semiautomáticos, de grandes cantidades de información para descubrir patrones y reglas significativas. De acuerdo a los patrones de datos que pueden extraerse de los diferentes repositorios de información se determinan las funcionalidades de Minería de Datos de acuerdo a los tipos de patrones que pueden descubrir:

- Caracterización,
- Discriminación
- Asociaciones y Correlaciones
- Clasificación y Predicción
- Agrupamiento o Clustering
- Análisis de Outliers
- Análisis de Evolución

3.3 Reglas de Asociación

Las reglas de asociación han sido el objetivo de muchos trabajos de investigación desde que Agrawal et. al, propusieron el algoritmo de aprendizaje Apriori [9] y su utilización en grandes bases de datos[10]. Haciendo uso de su notación, podemos definir una regla de asociación como una implicación de la forma $X \Rightarrow Y$, donde X e Y son conjuntos de ítems. En el cual X se denomina antecedente e Y consecuente. Tanto X como Y estarán formados por conjuntos de elementos pertenecientes a la tabla de transacciones T que estemos analizando. Se pueden definir dos medidas de interés para la regla:

• Support (soporte o cobertura): La cobertura expresa el porcentaje o fracción de registros de T que satisfacen la unión de los elementos del antecedente y consecuente de la regla.

$s(X \Rightarrow Y) = s(X \cup Y)$ **(1)**

• Confidence (confianza): La confianza es una medida de la efectividad de la regla. Representa el porcentaje de casos en los que dado el antecedente se verifica la implicación.

$c(X \Rightarrow Y) = s(X \Rightarrow Y)/s(X)$ **(2)**

Puede utilizarse para estimar la probabilidad condicionada del consecuente dado el antecedente:

$P(Y/X)=P(X \cup Y)/P(X)= c(X \Rightarrow Y)$ **(3)**

• Lift: Cuantifica la relación existente entre X e Y:

Se puede definir de la siguiente forma:

$li(X \Rightarrow Y)=s(X \Rightarrow Y)/s(Y)$ **(4)**

De acuerdo al valor obtenido, se puede concluir que:

-lift > 1: X e Y positivamente correlacionados

- lift < 1: X e Y negativamente correlacionados

- lift = 1: X e Y independientes.

Tanto el soporte como la confianza definen el grado de interés de una regla de asociación. Una regla con un valor bajo de soporte puede ocurrir simplemente por casualidad; por tal motivo se lo utiliza para eliminar reglas que no resultan interesantes al análisis que se efectúa. Un valor de confianza alto indica que el porcentaje de transacciones que contienen a X también contienen a Y de manera conjunta [2]. Se formaliza el problema de minería de datos en reglas de asociación que consiste en encontrar todas aquellas reglas que satisfagan los valores umbrales indicados para

soporte y confianza en una base de datos. Este problema se descompone a su vez en dos subtareas, que son adoptadas por la mayoría de los algoritmos de reglas de asociación:
1. Generación de ItemSets Frecuentes, cuyo objetivo es encontrar todos los itemsets que satisfacen el umbral de mínimo soporte (minsup). Estos conjuntos de datos se denominan itemsets frecuentes.
2. Generación de Reglas, que consiste en extraer todas aquellas reglas que satisfacen el umbral de confianza a partir de los itemsets frecuentes obtenidos del paso anterior.

4 Caso de estudio

Los datos analizados corresponden a la base de datos de una entidad educativa que contiene todas las transacciones de exámenes finales ocurridas entre el año 2008 y el año 2014 de una carrera de grado de un mismo plan de estudio. Cada registro representa una constancia de examen. La longitud del conjunto de datos es de 6594 registros.

4.1 Descripción de la base de datos

La base de datos está alojada en un servidor MS-SQL Server 2008 y para la realización del presente trabajo, la información de la tabla “EXAMENES” ha sido migrada a formato Excel mediante la utilización de consultas SQL nativas sobre el DBMS.

4.2 Preprocesamiento de los datos

Para poder trabajar con la base de datos es necesario realizar en primer lugar las tareas relacionadas con la eliminación de datos redundantes, para luego poder hacer una selección de los atributos con los que se desea trabajar. Finalmente se debe preparar los datos de manera que sean interpretados por la herramienta encargada de la extracción de las reglas de asociación residentes en el conjunto de datos. La información se ha extraído de 2 tablas en particular, se parte de la tabla “EXAMENES” y se une mediante las clave foráneas con la tabla “MATERIA” estas están vinculadas mediante el identificador de materia, el nombre del plan y la especialidad a la que pertenece. La mayoría de los atributos seleccionados corresponden a la tabla “EXAMENES”. Esta tabla registra la información relacionada con la transacción bajo estudio como lo es la fecha, la materia, el alumno, la nota, año académico y el turno de examen en que se presentó el alumno. De la restante tabla se obtuvo solamente el nombre de la materia y el área de la misma. Se aclara que para el presente trabajo, debido a un pedido expreso de la organización propietaria de la información, los nombres propios han sido alterados para permitir un análisis anónimo. De la tabla resultante, luego de seleccionar las columnas se procede al agregado de dos columnas que permitirán obtener resultados más claros como lo son el resultado del examen (APROBADO o NO APROBADO) y la extracción del mes del campo fecha para poder analizar las transacciones de manera temporal descartando el día y el año. La Tabla 1 detalla los atributos seleccionados de cada una de las tablas.

Tabla 1. Atributos seleccionados

Tabla	Atributos
EXAMENES	legajo_alumno, nota, fecha, turno, año_academico
MATERIAS	nombre_materia

4.3 Búsqueda de reglas de asociación

Para continuar con el análisis de los datos se han utilizado tres herramientas de software especializadas en la minería de datos que posibilitan la obtención de reglas de asociación dentro del conjunto de datos. Luego de obtener los resultados éstos podrán ser cotejados entre sí, no sólo se analizarán las reglas de asociación encontradas por cada uno, sino que también se analizarán las ejecuciones de los algoritmos que aplica cada herramienta con diferente cantidad de transacciones, dejando fijo en cada ejecución los niveles mínimos de soporte y confianza.
La primer herramienta es Orange 2.7 [11] que permite de manera intuitiva la confección del flujo de minería de datos para la obtención de las reglas de asociación, como muestra la Figura 1, requiere que el archivo de información cumpla con un formato específico, luego presenta una pantalla de configuración de parámetros para el algoritmo que aplica al momento de encontrar las reglas de asociación que es Apriori mejorado. Si se posee un conjunto de datos escasos Orange

permite la ejecución del algoritmo Apriori original de Agrawal [10]. Luego desde una vista en formato de grilla es posible visualizar las reglas de asociación que el algoritmo fue capaz de encontrar, junto con el antecedente y el consecuente de cada una de las reglas se muestra los valores de soporte y confianza mínima junto con el lift.

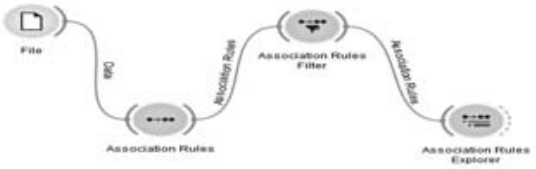


Fig. 1. Flujo de minería de datos de Orange 2.7

Otra herramienta utilizada es IBM DB2 Intelligent Miner, donde pueden obtener reglas directamente desde una tabla de una base de datos alojada en el mismo motor. Se deben definir el origen de la información, seleccionar los parámetros de soporte y confianza mínimos, también es posible seleccionar la longitud de la regla, es decir pueden generarse reglas del tipo (A y B => C). En la Figura 2 se muestra el flujo de minería de datos donde se debe especificar el origen de datos, es posible filtrarlos, luego se calculan las reglas de asociación y el último componente es el encargado de mostrar los resultados. Esta herramienta posee ventajas con respecto a las demás a la hora del análisis y visualización de los resultados generados, ya que las reglas se muestran en formato de grilla y estas están sombreadas de acuerdo al soporte que obtuvo, es posible ordenar y filtrar las filas de acuerdo a un criterio. La presentación inicial de los resultados ya tiene aplicada un filtro ya que si existen las reglas (A => B) y (B => A) solo la de mayor soporte está en el conjunto de reglas visibles. Además existe la posibilidad de visualizar las reglas de asociación de manera gráfica, donde cada regla está representada por una flecha con distinto color y tamaño, el color indica el soporte de la regla, y el espesor representa el lift calculado para ella. Los nodos simbolizan los valores de antecedente y consecuente de las reglas.

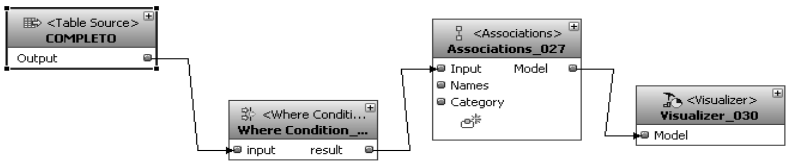


Fig. 2. Flujo de minería de datos de IBM DB2 Intelligent Miner

WEKA [12] (Waikato Environment Knowledge Analysis) es una aplicación desarrollada en JAVA por la Universidad de Waikato, ésta también fue empleada para procesar y luego obtener reglas de asociación en base al conjunto de datos como muestra la Figura 3. Éstos deben ser presentados a la aplicación en formato de texto plano, indicando el tipo de dato para cada columna, luego permite elegir el soporte y la confianza mínima y solicita se ingrese la cantidad de reglas que se desean obtener, si con las reglas de longitud 1 no se alcanza el número de reglas ingresadas por el usuario este comienza a generar reglas de longitud 2 y así sucesivamente. Al momento de visualizar los resultados esta herramienta posee solo una salida de tipo texto plano en donde se indica el antecedente y consecuente de la regla junto con los valores de soporte y confianza.

Fig. 3. Configuración de WEKA para reglas de asociación

4.4 Resultados obtenidos

A continuación se muestran los resultados tentativos obtenidos de la base de datos académica de la institución, es necesario aclarar que estos resultados son orientativos y que podrían llegar a variar si se toma como punto de partida otro conjunto de datos o si se varía alguno de los parámetros de entrada a los algoritmos.

En primer lugar se presenta, en la Figura 4, la salida generada por IBM DB2 Intelligent Miner ya que esta aplicación, a criterio del equipo de desarrollo presenta de una manera clara e intuitiva los resultados. En la Figura 4 se pueden apreciar cada una de las reglas, éstas se muestran en formato [NOMBRE_ATRIBUTO = valor_atributo] ==> [NOMBRE_ATRIBUTO = valor] conjuntamente con el porcentaje de soporte y confianza asignados. Cada una de las filas está sombreada con un color de fondo que representa el porcentaje de soporte obtenido por la regla. En la sección inferior se muestra la escala de colores para esta salida en particular.

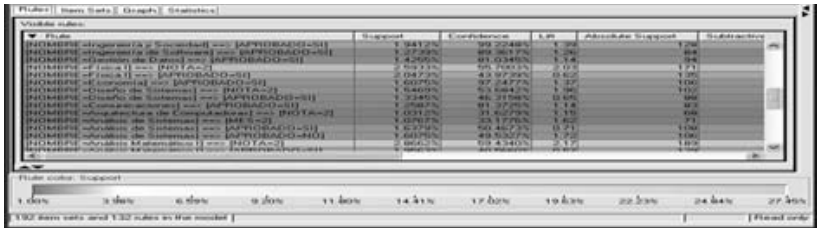


Fig. 4. Visualización de las reglas obtenidas por IBM DB2 Intelligent Miner en formato grilla.

A continuación se detallan los resultados generados luego de ejecutar el proceso de obtención de reglas de asociación en los diferentes software. Es importante destacar que las reglas que se muestran en la Tabla 2 y en la Figura 5 superaron un proceso de filtrado y selección esto es que fueron validadas desde el punto de vista intuitivo y que a pesar de contar con un soporte reducido, su confianza cumple con el requerimiento mínimo solicitado por el equipo de trabajo. La primer regla muestra la asociación existente entre la materia “Algoritmo y Estructura de Datos” y el mes “12”, analizando el porcentaje de soporte si bien es bajo (1,3649 %), esto se debe a que para calcular el soporte se realiza el cociente entre la cantidad total de ítems contienen tanto el antecedente como el consecuente con respecto al total de registros pertenecientes al conjunto de datos analizados. La confianza de la regla es calculada como el cociente entre la cantidad total de ítems del conjunto que contienen el antecedente y el consecuente sobre el total de registros que contienen antecedente. De esto podría derivarse en que cuando un estudiante se presenta a rendir examen final de esta materia lo hace en el mes 12 con una confianza del 32,1429 %.

Por último si analizamos el valor del lift de la regla al ser esta mayor a uno el cumplimiento de la regla en un futuro tendría una alta probabilidad de ocurrencia.

Tabla 2. Reglas de asociación significativas

Regla	Soporte	Confianza	Lift
[NOMBRE=Algoritmos y Estructuras de Datos] ==> [MES=12]	1,364%	32,1429%	1.51
[NOMBRE=Algoritmos y Estructuras de Datos] ==> [MES=2]	1,076%	25,3571%	1.24
[NOMBRE=Análisis Matemático II] ==> [MES=2]	1,046%	28,3951%	1.39
[NOMBRE=Análisis de Sistemas] ==> [MES=2]	1,076%	33,1776%	1.62
[NOMBRE=Física I] ==> [MES=2]	1,167%	25,0814%	1.22
[NOMBRE=Inglés I] ==> [MES=12]	1,364%	31,4685%	1.48
[NOMBRE=Sistemas de Representación] ==> [MES=12]	1,4104%	56,7073%	2.66
[NOMBRE=Sistemas y Organizaciones] ==> [MES=12]	1,2739%	27,1845%	1.28
[NOMBRE=Sistemas y Organizaciones] ==> [MES=2]	1,5620%	33,3333%	1.63
[NOMBRE=Álgebra y Geometría Analítica] ==> [MES=2]	1,4710%	31,1897%	1.52

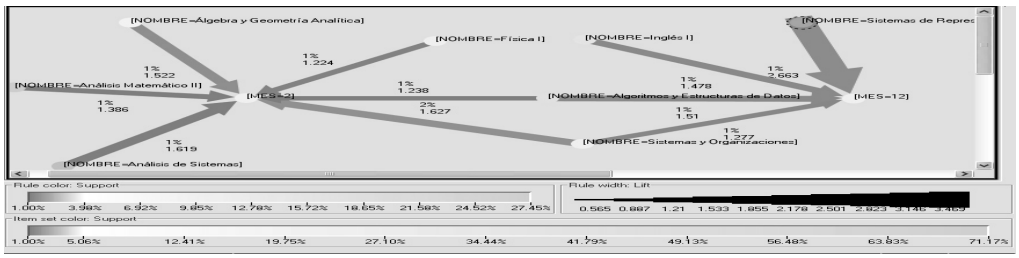


Fig. 5. Reglas de asociación significativas en formato gráfico

5 Conclusión y trabajos a futuro

Este trabajo se ha basado en la aplicación de la técnica de reglas de asociación en una base de datos académica de gran volumen, es de gran importancia resaltar que para comenzar con la extracción de reglas el grupo de trabajo debe contar con conocimientos avanzados sobre la estructura de los datos como también sobre la información almacenada en la misma, se concluye en que este es un paso indispensable para cumplir los objetivos.

Luego de obtener los reglas se pudo comprobar la existencia de información hasta el momento desconocida por el equipo de trabajo, cabe destacar que este fue solo una primera aproximación a la temática ya que en un futuro se debería incorporar personal con conocimientos en la gestión académica capaz de asesorar al equipo y analizar los datos que se obtienen. Otra alternativa para un trabajo futuro sería incorporar variables del contexto socio-económico de los estudiantes al conjunto de datos ya analizado por este trabajo para poder realizar un análisis en integrado de estas variables tanto las académicas como las socio-económicas.

Por último se destaca que la obtención de nuevos conocimientos podría ayudar a la entidad educativa a mejorar el proceso de toma de decisiones en el futuro.

Referencias

1. Maiamon O.; Rokach L; *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook (Second Edition)*, Springer, (2010).
2. Tan P.; Steinbach M.; Kumar V.: *Introduction to Data Mining (First Edition)*, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Boston, MA, USA, (2005).
3. Garcia Bermudez J.; Acevedo Ramírez A.: Análisis para Predicción de Ventas utilizando minería de datos en almacenes de ventas de grandes superficies, *Universidad Tecnológica de Pereira*, (2010).
4. Corso C.; Gibellini F.: Uso de herramienta libre para la generación de reglas de asociación, facilitando la gestión eficiente de incidentes e inventarios, *Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba*, (2012).
5. Chausa Fernández P. et. al: Extracción de reglas de asociación en una base de datos clínicos de pacientes con VIH/SIDA, *XXIV Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica*, (2006).
6. Mejia Vega J.: Aplicaciones de reglas de asociación para web mining, *Universidad Autónoma Metropolitana*, (2002).
7. Han J; Kamber M. : *Data Mining Concepts and Techniques Second Edition.* Morgan Kaufmann Publishers (2006).
8. Zhu X.; Davidson I.: Knowledge Discovery and Data Mining: Challenges and Realities, Hershey, (2007).
9. Agrawal, R.; Srikant, R.: Fast algorithms for mining association rules. *Proc. 20th Int. Conf. Very Large Data Bases*, pp 487-499, (1994).
10. Agrawal, R.; Imielinski, T.; Swami A.: Mining association rules between sets of items in large databases. *Proceedings of the International Conference on Management of Data (SIGMOD-1993)*, Washington, D.C., pp. 207-216, (1993).
11. Demšar, J., Curk, T., & Erjavec, A. Orange: Data Mining Toolbox in Python, *Journal of Machine Learning Research*, pp.2349–2353, (2013).
12. Hall M. et. al: The WEKA Data Mining Software: An Update; *SIGKDD Explorations*, Vol 11, (2009).

IMPLEMENTACIÓN DE REDES SEÑUELO COMO TÉCNICA DE MEJORAMIENTO DE LA CIBERDEFENSA

Esp. Ing. Fernando Boiero, Esp. Ing. Carlos Tapia, Ing. Miguel Sánchez
Investigadores de la Especialización en Seguridad Informática, del Instituto Universitario Aeronáutico ubicado en la Av. Fuerza Aérea 6500 Córdoba Capital.
Tutores: MCs. Ing. Eduardo Esteban Casanovas, Ing. Norberto Gaspar Cena.

Introducción

En el presente trabajo se plantea la hipótesis que es posible generar con recursos propios, un mecanismo de mejoramiento de la ciberdefensa a partir del tratamiento de la información obtenida del entendimiento de los ataques recibidos en una red señuelo. Si tomamos en consideración el devenir y actualidad de la Seguridad Informática y la Ciberdefensa, nuestro desarrollo se basa en la implementación de contramedidas ante ataques informáticos que no sólo ayuda a su prevención sino que habilita al estudio pormenorizado de las técnicas utilizadas por los intrusos.
Las herramientas que se describirán son las honeynets o redes señuelo, las cuales serán constituidas y operadas mediante software moderno que brinda simplicidad para su implementación y monitoreo.
Asimismo, se plantearán los beneficios de esta tecnología en el marco de Infraestructuras Críticas de un país, en pos del incremento de los niveles de Seguridad para aquellos servicios esenciales de una sociedad.

Objetivo

1. Diseñar una red virtual sobre la cual se realizará una implementación inicial de pruebas de una solución honeynet.
2. Realizar un estudio comparativo sobre distintas herramientas y soluciones de honeypots y honeynets disponibles en el mercado y se seleccionará las más adecuadas de acuerdo a una evaluación de criterios ponderados.
3. Instalar y configurar la solución de software de honeynet previamente seleccionada junto con sus herramientas sobre la infraestructura virtual, la que servirá de base para recibir los ataques que luego serán analizados
4. Sacar conclusiones de la utilización de los sensores, teniendo en cuenta su potencial utilidad para la protección de las Infraestructuras Críticas que están a cargo del Ministerio de Defensa de la Nación.

Metodología

La investigación se desarrolló en tres etapas. En la primera, se describieron teóricamente las diferentes Tecnologías, comparándolas y seleccionando una de ellas. En la segunda etapa, se implementó y parametrizó la solución seleccionada en un ambiente de test, y por último, se expuso los resultados obtenidos.

Desarrollo

Situación problemática

En los últimos años, el creciente grado de informatización así también como de interconectividad en las tecnologías de almacenaje y procesamiento de datos en prácticamente todos los ámbitos de nuestras vidas ha acarreado consigo, una nueva serie de aspectos a considerar en lo concerniente a la seguridad en las mismas. El formidable progreso en ámbitos como la electrónica, computación y redes informáticas dieron también origen a lo que, por su masiva relevancia en la nuestra vida cotidiana moderna, se reconoce como un nuevo escenario bélico, el Ciberespacio. Una de las amenazas más activas a la que nos enfrentamos en Internet hoy en día es el cibercrimen. Delincuentes con habilidades y capacidades que van en aumento se encuentran constantemente desarrollando métodos para sacar provecho de la actividad criminal en línea. En consecuencia, se vuelve imperante tanto en el ámbito estatal como en los entornos privados, la necesidad de establecer un sistema de políticas, conductas, procesos y procedimientos con fin de

proteger a las mismas ante el potencial peligro de eventuales ataques las infraestructuras de datos. Basta mencionar algunos casos recientes como Wikileaks (2007) o Stuxnet (2010) para entender que la denominada "ciberguerra" ya ha comenzado y debemos estar preparados para la misma. El presente trabajo se focalizara en la presentación, estudio e implementación de una de las contramedidas más importantes desarrolladas no solo con propósitos preventivos ante la amenaza de los ciberataques, sino también con el fin de poder realizar un estudio de los mismos en un entorno seguro. La herramienta de la que estamos hablando son las honeynets o "redes señuelo". Una honeynet es una red de computadoras denominadas comúnmente honeypots, diseñada con el único propósito de ser comprometidas por un intruso. No hay personal que utilice estos equipos para desempeñar ninguna función real o productiva, simplemente están conectados a la red en espera de que algún ciberdelincuente intente atacarlos de forma remota. Por lo tanto, todo el tráfico que circule en la misma, es en esencia, ilegal. El concepto es en cierta forma, similar al uso de una carnada en busca de una buena pesca.
Una de las ventajas del uso de honeynets para el monitoreo pasivo de red, es que los honeypots pueden ser implantados en computadoras de bajo costo o baja performance. De esta manera, se logra engañar a los posibles atacantes de una infraestructura de producción, desviando su atención y esfuerzos hacia un entorno controlado y carente de valor (desde el punto de vista de un atacante); evitando así comprometer los sistemas informáticos reales sobre los cuales los procesos organizacionales se sustentan.

Un honeypot es un "sistema señuelo" monitoreado muy de cerca el cual sirve a varios propósitos: distraer adversarios de otros sistemas valiosos en una red, proveer de una alerta temprana acerca de nuevas tendencias de ataques y explotaciones, y permitir el examen en profundidad de adversarios durante y tras el ataque al mismo. Los honeypots, como un blanco fácil de ataques, pueden simular muchos hosts vulnerables en una red y nos proveen con valiosa información de los atacantes. Los honeypots no son la única solución a la seguridad en redes, pero son herramientas que se implementan para detectar actividad no deseada en las mismas. No son sistemas de detección de intrusos (IDS), pero nos enseñan cómo mejorar la seguridad de nuestras redes y, tal vez más importante que eso, nos enseñan a qué buscar o prestar atención [**01**]. Se trata de sistemas construidos y configurados con el propósito de ser atacados. Además, son "sistemas trampa" para los atacantes, los cuales son desplegados para contrarrestar los recursos de un atacante, aletargarlo para que éste pierda tiempo con el honeypot en lugar de atacar los sistemas de producción. En esta sección se analizan los principios básicos de los honeypots, sus tipos, varias soluciones honeypot concretas, sus ventajas y desventajas y una comparación entre ellas.
Las principales razones para contar con un sistema de honeypots son que:

1. Tienen baja tasa de falsos positivos y alta taza de aciertos.
2. Brindan capacidades para confundir y distraer a los atacantes.
3. Según su configuración, pueden funcionar virtualmente sin intervención de los administradores de seguridad.
4. Ayuda al entrenamiento de los equipos de seguridad.
5. Existen muchas opciones gratuitas.

Infraestructura Crítica

Teniendo en cuenta que nuestro principal objetivo de trabajo se encuentra centrado en la aplicación de este mecanismo sobre una infraestructura crítica, surge la necesidad de explicar y dar contexto a lo que a los fines de este trabajo es considerado como una infraestructura crítica.
A nivel mundial hay varios organismos que han definida a las infraestructuras críticas de diferente manera pero todas ellas con grandes similitudes. Nosotros nos hemos basado en la siguiente:
"El Plan Nacional de Protección de Infraestructuras Críticas las define como: *"Aquellas instalaciones, redes, servicios y equipos físicos y de tecnología de la información cuya interrupción o destrucción tendría un impacto mayor en la salud, la seguridad o el bienestar económico de los ciudadanos o en el eficaz funcionamiento de las instituciones del Estado y de las Administraciones Públicas".* Esta definición fue establecida por la Directiva europea: 2008/114/CE del 8 de diciembre de 2008, subrayando sobre la importancia de *"la identificación y*

designación de infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar su protección". "

Alternativas de software de honeypots analizados

Propiedades / Software	ManTrap	BOF	Specter	Honeyd	MHN
Nivel de interacción	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto
Libre	No	No	No	Si	Si
Código abierto	No	No	No	Si	Si
Soporte de archivos log	Si	No	Si	Si	Si
Emulación de SO	Si	No	Si	Si	Si
Servicios soportados	No limitado	7	14	No limitado	No limitado

Luego de analizar algunas opciones de honeypots, se optó por adoptar la plataforma Modern Honey Network (abreviada MHN [**02**]) provee manejo de grado empresarial del software de honeypot de código abierto de uso más corriente, desde su seguro despliegue hasta el agregado de miles de eventos. MHN hace del manejo de honeypots seguros una tarea extremadamente simple [**03**] [**04**]. MHN es un software de código abierto en su totalidad, el cual soporta el despliegue de forma distribuida y en gran escala de honeypots internos y externos. MHN usa el estándar HPFeeds y honeypots de baja interacción para mantener la efectividad y seguridad a nivel de grado empresarial. MHN soporta los siguientes honeypots: Snort [**05**], Suricata [**06**], Dionaea [**07**], Conpot [**08**], Kippo [**09**], Amun [**10**], Glastopf [**11**], Wordpot [**12**], ShockPot [**13**], y p0f [**14**].

Con base en dicha plataforma se montó una red virtual con los principales sensores, en ambiente de laboratorio, a los efectos de estudiar su comportamiento ante distintos ataques, siendo la arquitectura inicial implementada la que se muestra a continuación.

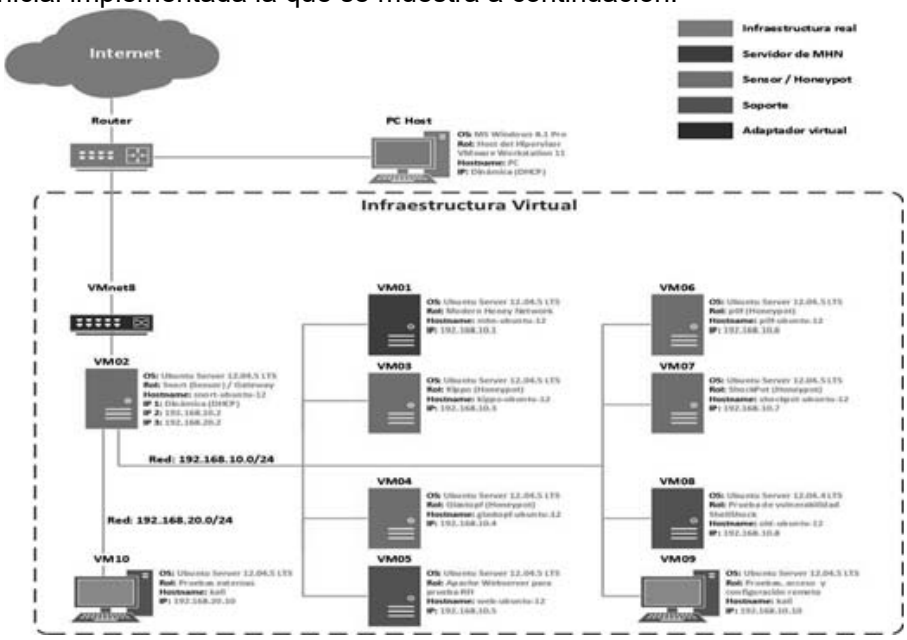


Fig. 1: Arquitectura de honeynet MHN implementada.

Uno de los componentes clave de MHN es su aplicación web de muy fácil manejo, la cual permite administrar la honeynet de manera centralizada. Esta aplicación permite al usuario seleccionar el sensor deseado (de una lista de sensores disponibles), a continuación genera una línea de comando Linux la cual se ejecutará en el sistema que hospedará a dicho sensor. Este comando instalará todas las dependencias necesarias junto al software del sensor en cuestión y lo enlazará

al servidor MHN. Una vez que la instalación haya finalizado, entonces comenzará a recopilar información a través de un protocolo de código abierto llamado “HPFeeds” [**13**].

Fig. 2: Interfaz de administración de MHN.

Sensores de MHN evaluados

En el presente trabajo se ha decidido desplegar, configurar y realizar pruebas con los siguientes sensores: Kippo, p0f, Glastopf, ShockPot y Snort. Sus principales características son:

Kippo: Es un honeypot de interacción media que emula un servidor SSH. Ofrece al atacante un completo sistema de archivos falso con el cual interactuar. Permitiéndole agregar y remover archivos.
Capacidad para agregar contenido falso a los archivos. Simula una conexión SSH con alguna máquina remota, y muchos “comandos” ejecutados por el atacante devuelven salidas simuladas.
p0f: Es una versátil herramienta de “OS fingerprinting” pasivo.
Glastopf: Es un honeypot que recopila información sobre ataques en base a aplicaciones web.
ShockPot: Es un honeypot emulador de aplicación web diseñado para detectar atacantes que intentan explotar la vulnerabilidad “Shellshock”.
Snort: Es un sensor basado en el Intrusion Detection System “Snort”, el cual es estándar de facto.

MHN en funcionamiento

Resulta interesante compartir algunos resultados obtenidos durante la segunda etapa del proyecto.
Una vez completada la configuración de los distintos sensores los cuales fueron cuidadosamente elegidos y preparados con una estructura muy similar a una estructura real, se los expuso a la red en la esperanza de comenzar a recibir ataques y poder comenzar así con el análisis de los mismos.
A continuación se agrega una de las interfaces de monitoreo y control del sistema que permite ver la cantidad de ataques que está recibiendo cada uno de los sensores.

Podemos destacar que a poco de estar en funcionamiento nuestro sensor Snort lleva recibidos 59.381 ataques y que el sensor Glastopf viene recibiendo 9.424 ataques. Esta experiencia de campo nos demuestra que efectivamente se ha realizado una configuración interesante para los atacantes y también nos muestra que este es el punto de partida para el verdadero trabajo de análisis que hay que realizar sobre cada uno de los ataques recibido.

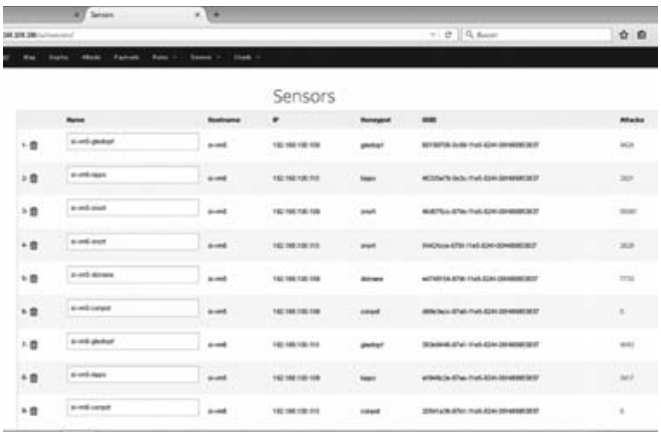


Fig. 3: Dashboard de MHN, resumen de sensores.

Fig. 4: Dashboard de MHN, resumen de ataques ultimas 24hs.

Otra de las vistas que brindan información del status de la cantidad de ataques recibidos, es el dashboard que resume los últimos recibidos dentro de las 24 hs anteriores, Figura 4.

Finalmente podemos mostrar resultados obtenido sobre el sensor Kippo. Es muy rico el análisis que se puede realizar sobre este tipo de sensor porque entre otras cosas se puede determinar si el atacante está automatizando su ataque o está haciendo un ataque inteligente teniendo en cuenta las condiciones de contexto asociadas al punto atacado.
En la figura siguiente se ven las contraseñas que los atacantes están eligiendo para romper el sistema de acceso.

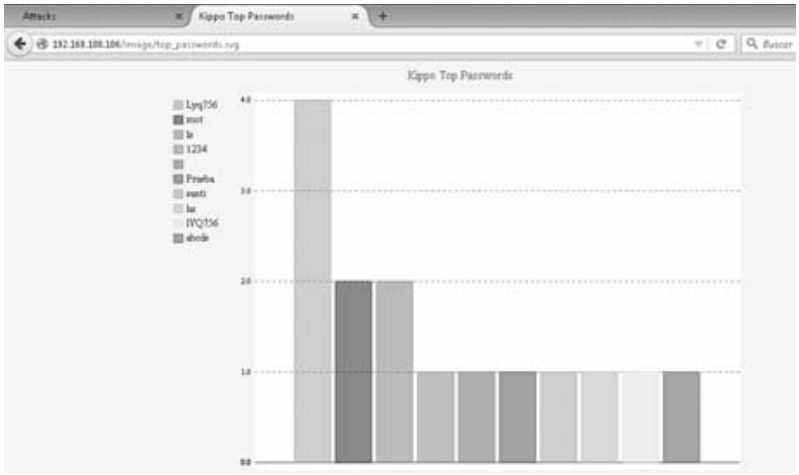


Fig. 5: Dashboard de MHN, resumen de ataques sobre Kippo.

Conclusiones

El desarrollo de nuestro trabajo nos permite concluir que es posible generar con recursos propios, un mecanismo de mejoramiento de la ciberdefensa a partir del tratamiento de la información obtenida del entendimiento de los ataques recibidos en una red señuelo.

1. Se diseño una red virtual sobre la que se realizaron las pruebas con la particularidad que su diseño fue pensado para replicar una infraestructura crítica.
2. Luego de un profundo análisis de los diferentes factores de comparación explicitados en el trabajo se tomó la decisión que MHN es la mejor implementación de las honey net disponibles y la que mejor responde a nuestras exigencias en función de los objetivos planteados para nuestro estudio.
3. Fue posible montar varios tipos de sensores que emulen conductas de diferentes protocolos.
4. Esta solución y sus herramientas fueron instaladas en una infraestructura virtual construida con el especial propósito de probarlas y experimentar con ellas allí. Se analizaron numerosos tipos de

ataques como Denegación de Servicio Distribuidos, Escalación de Privilegios, Buffer Overflow entre otros.
5. Se generaron estadísticas de ataques en base de datos procesados en archivos log, permitiendo sentar las bases para poder hacer crecer el proyecto y asistir/capacitar para otras implementaciones. También se pudieron reconocer la utilización de sentencias no registradas en las bases de datos de ataques conocidos.
6. La utilización de herramientas para detectar ataques atrayendo intrusos permite entender las técnicas de ataques. Teniendo en cuenta esos resultados podemos mejorar sensiblemente nuestro esquema de Defensa en Profundidad y establecer nuestras estrategias defensivas en base a los ataques observados

Desafíos futuros

1) Incrementar el número y complejidad de honeypots de la red hasta llegar a la adaptación de las herramientas a las Infraestructuras Críticas, las cuales tienen mayor tamaño y complejidad.
2) Ganar en automatización de análisis de resultados.
3) Centralización de las estadísticas obtenidas por las herramientas para tomar decisiones respecto estrategias defensivas, teniendo en cuenta la multiplicidad de ejecutores.
3) Trabajar en forma conjunta con otros organismos para compartir estadísticas de ataques, obteniendo así datos agregados, tendencias y proyecciones.
4) Desarrollar nuevos sensores y herramientas tanto para atacar, como para contramedidas.
5) Realizar aportes al Honeynet Project mundial.

Bibliografía

[01] Marcin Nawrocki, Matthias Wahlisch, Thomas C. Schmidt, Christian Keil, Jochen Schonfelder, Universitat Berlin, “A Survey on Honeypot Software and Data Analysis”, 2016.
URL: https://arxiv.org/pdf/1608.06249.pdf
[02] Modern Honey Network, Documento “README.md”, Anomali, Inc., 2014.
URL: https://github.com/threatstream/mhn
[03] Shah Manthan Jigneshkumar, Vishwakarma Institute of Information Technology, “Modern Honey Network”, 2016.
URL: http://www.ijrat.org/downloads/ncpci2016/ncpci-34.pdf
[04] Asif Al Ferdous Khan, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA, “Creation of a Collaborative Model of Honeypots”, 2015.
URL: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2015/tfg_28071/TFG_Honeypots.pdf
[05] The Snort Project - SNORT Users Manual v2.9.8.3, 2015.
URL: http://manual.snort.org
[06] Suricata, Suricata User Guide, 2016.
URL: https://redmine.openinfosecfoundation.org/projects/suricata/wiki/Suricata_User_Guide
[07] Dionaea Honeypot, Documento “README”, 2013.
URL: https://github.com/rep/dionaea
[08] Conpot ICS/SCADA Honeypot, Documento “Usage Guide”, 2013.
URL: http://mushorg.github.io/conpot/usage/usage.html#http
[09] Kippo SSH Honeypot, Documento “README.md”, 2010.
URL: https://github.com/desaster/kippo
[10] Amun Honeypot, Documento “News”, 2012.
URL: http://amunhoney.sourceforge.net/
[11] MushMush Foundation, Documento “README.rst”, 2015.
URL: https://github.com/mushorg/glastopf
[12] Gianluca Brindisi, Documento “README.md”, 2012.
URL: https://github.com/gbrindisi/wordpot
[13] ThreatStream, Documento “README.md”, 2014.
URL: https://github.com/threatstream/shockpot
[14] Michal Zalewski, Documento “README”, 2012.
URL: http://lcamtuf.coredump.cx/p0f3/README
[15] HPfeeds, Documento “README.md”, 2013.
URL: https://github.com/rep/hpfeeds

SIMULACIÓN DE COLISIONES DE MENSAJES ADS-B

Camilo E. García, Matias F. Folonier, Bruno Marengo, Mathias A. Podestá, Juan P. Prina, Alexis C. Sparapani

Director: Juan P. Martín

GICom - Facultad Regional San Nicolás - Universidad Tecnológica Nacional

{jpmartin,cegarcia,mfolonier,bmarengo,mpodesta,jprina,asparapani}@gicom.com.ar

Resumen

ADS-B es un sistema de comunicación utilizado por aeronaves para reportar su posición. Se estudia la posibilidad de ampliar la cobertura mundial mediante el uso de una red de satélites LEO. Como las transmisiones de ADS-B utilizan la misma frecuencia que varias otras aplicaciones aeronáuticas ya estandarizadas, es necesario estimar si las colisiones entre mensajes de ADS-B en órbita pueden ser un obstáculo para conocer la posición de las aeronaves en tiempo real, tal como lo requiere OACI. Se desarrolló un simulador para estimar la probabilidad máxima de colisión entre mensajes de posición enviados desde aeronaves. Suponiendo el peor caso posible, se promediaron los resultados de varias ejecuciones de la simulación Inclusive en el peor caso, se obtuvo la probabilidad de recibir un mensaje en 1 minuto en 99.985%. Estos resultados indican que la recepción de señales de ADS-B abordo de satélites bajo los estándares de la OACI es posible, aún asi en áreas congestionadas.

Introducción

Automatic Dependant Surveillance-Broadcast (ADS-B) es un sistema de comunicaciones que reporta la posición y otras variables que opera en 1090 MHz. Esta frecuencia es compartida por aplicaciones aeronáuticas estandarizadas por OACI y otras no estandarizadas. Extender la actual cobertura de los receptores terrestres de señales de ADS-B mediante una red de satélites requiere diversos análisis de diferentes puntos de vista y utilizando tantos métodos como sea posible.

El grupo de trabajo 5B (WP5B) de la ITU-R se encuentra evaluando cuál es la posibilidad de recibir estas señales de ADS-B en los satélites. Inclusive, se ha instruido a la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de la UIT a que discuta el tema, por lo que se han realizado varias contribuciones abordando el tema. El presente estudio está basado en simulaciones de la ocupación del canal debido a los mensajes de ADS-B y otros sistemas de comunicaciones. El objetivo principal es determinar si las colisiones que los mensajes de ADS-B puedan sufrir en órbita, permitirán lograr un seguimiento en tiempo real de la posición de las aeronaves, tal como lo requiere Global Aeronautical Distress and Safety System (GADSS).

El simulador intenta obtener una aproximación de la probabilidad de colisión de de los mensajes de posición enviados desde aeronaves civiles. Si bien algunos parametros utilizados en la simulación fueron estimados y pueden no ser completamente acertados, un simulador lo suficientemente flexible para ser modificado fue desarrollado y sus resultados son presentados.

Simulador

El simulador construye una señal que modela las diferentes transmisiones que son recibidas a bordo del satélite. Estas no se encuentran correlacionadas en el tiempo y solo se modelizan los estados de la transmisión (transmitiendo o no). La potencia recibida no está modelada y el estado de colisión es considerado en caso que cualquier señal sea recibida en el mismo período de tiempo que un pulso de ADS-B esté siendo recibido. En ese caso, el mensaje de ADS-B es considerado completamente perdido (a pesar que muchas bibliografías consideran posible recuperar alguno de ellos).

Detalladamente, se calcula la proporción promedio de mensajes ADS-B que llega al receptor del satélite sin interferencias. Por lo tanto, el periodo usado es prácticamente irrelevante. Por ejemplo, en la simulación, ejecutando 2 segundos, alrededor de 32000 mensajes son enviados, por lo tanto, el valor usado para calcular la probabilidad de recibir un mensaje es a cantidad de

mensajes recibidos dividido los 32000 mensajes enviados. Dicha probabilidad es la media, y puede ser aplicado a cualquier mensaje ADS-B. En conclusión, puede ser obtenido un estimativo de la probabilidad promedio de mensajes ADS-B recibidos. El escenario modelado es muy conservativo y siempre considera el peor de los casos.

Hipótesis

La hipótesis más importante tomada para el desarrollo del simulador es considerar que cada señal en el área de cobertura será recibida por el satélite en cuestión. Tampoco se tienen en cuentas las falsas respuestas desincronizadas en tiempo (FRUIT - False Replies Unsynchronized In Time), pero pueden ser fácilmente modeladas incrementando la tasa de transmisiones de respuestas de SSR. La validez de la recepción de los mensajes se obtiene modelando las colisiones causadas por la interferencia debido a las interrogaciones y respuestas de radares y demás mensajes en torno a los 1090 MHz. Se considera colisión si el período de transmisiones de dos mensajes o respuestas coinciden parcial o totalmente.

Número de aviones observados

La cantidad de aviones dentro de la huella de un satelite es dificil de estimar. El peor de escenarios podría ser uno con gran densidad de aviones por cada milla náutica cuadrada (M^2). Dos posibles escenarios son considerados: el primero LA2020, es una estimación del tráfico aéreo en la cuenca de Los Ángeles para el año 2020, y el otro es CE2015, desarrollado por EuroControl, el cual representa el tráfico aéreo en el centro de europa en 2015. Para cada escenario, la cantidad de aviones es estimada dentro de un área circular con diferentes valores densidad que dependen del radio considerado. Estos valores son limitados a un radio específico, por lo tanto, para radios mayores, el valor es extrapolado. Esto significa que el número de aviones dentro de toda la huella del satélite es calculada de acuerdo a la densidad del área más congestionada.

Para LA2020, la densidad de aviones se calcula como: 5.25 aviones/M (0.00742 aviones/M^2) desde el centro hasta un área de radio de 225 millas náuticas + 0.00375 aviones/M^2 desde 225 a 400 M (para radios mayores, la densidad es considerada como 0.00375 aviones/M^2). Además 225 aviones en tierra son considerados dentro del círculo de radio de 400 M. Esta densidad de 0.00044 aviones/M^2 es utilizada para cualquier valor de radio.

Para el escenario CE2015, la densidad de aviones es tomada como: 1356 aviones en vuelo más 125 en tierra dentro de un radio de 200 M. Esta es una densidad de 0.01178 aviones/M^2 + 585 aviones en vuelo más 25 en tierra dentro de un radio de 200 a 300 M. La cual es una densidad de 0.00388 aviones/M^2 (para radios mayores, la densidad es de 0.00388 aviones/M^2).

Por ejemplo, considerando el escenario de LA2020 y un radio de 450 M, la cantidad será aquella correspondiente al círculo de 225 M más aquella del anillo entre 225 y 450 M. Además deben ser considerados los aviones en tierra. Esto seria:

$$7.42\times10^{-3}\pi\left(225\right)^2+3{,}75\times10^{-3}\pi\left(450^2-225^2\right)+440\times10^{-6}\pi\left(450\right)^2=3250\,aviones \qquad (1)$$

Por otro lado, considerando el escenario del CE2015 y un radio de 450 M, la cantidad será aquella del círculo de 200 M más el anillo entre 200 y 450 M. En este caso, el número de aviones en tierra es incluido en los valores de densidad para cada radio.

$$11{,}78\times10^{-3}\pi\left(200\right)^2+3{,}88\times10^{-3}\pi\left(450^2-200^2\right)=3462\,av\ iones \qquad (2)$$

Puesto que para el radio de cobertura de satélites LEO (<650M) el número de aviones es mayor para el escenario CE2015, tal como se muestra en la Fig. 1, este será el considerado para la simulación.

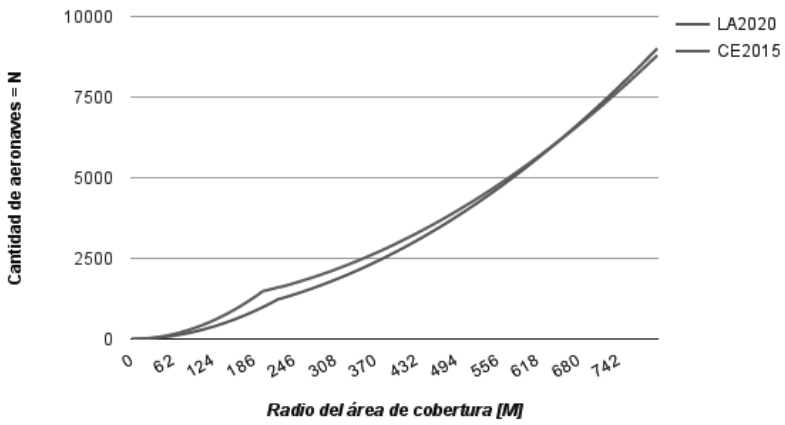


Fig. 1 - Número de aviones vs. cobertura de satélite

Cobertura de satélites LEO

El escenario simula la recepción de señales ADS-B a bordo de satélites de órbita baja (LEO). El área de cobertura del satélite sobre la Tierra depende principalmente de los parametros orbitales y de la apertura del haz de las antenas. La estación terrestre puede comunicarse con los satélites LEO sólo cuando la estación está bajo el área de cobertura (huella del satélite). Entonces, la cobertura es calculada conociendo primeramente el ángulo central relativo desde la tierra al punto nadir.

$$Ángulo_{central} = asen\left(\frac{(H+R_E)}{R_E} sen\left(\frac{apertura_{haz}}{2}\right)\right) - \frac{apertura_{haz}}{2} \quad (3)$$

Luego, el radio de la cobertura es calculado como:

$$r = 2 \times R_E \times Ángulo_{central} \quad (4)$$

Tipos de Transmisiones

Los tipos de transmisiones dependen del tipo de vuelo y cómo están equipados los aviones. Información de Estados Unidos define las siguientes relaciones:

Tabla 1 - Proporción de tipos de vuelo

Tipo de vuelo	Comercial	Aviación general	Taxi aéreo	Militar	Cargo
Porción	33%	31%	28%	6%	2%

Dependiendo del tipo de vuelo, avión y otros factores, son los tipos de señales que un avión transmitirá. En todos los casos, se utiliza un promedio para parametros no definidos con un valor exacto.

Después de calcular el número de aviones a la vista del satélite, se establece una proporción constante para cada modo de transmisión. Estudios realizados por Canadá relevaron dichas proporciones. Los valores de la tabla 1 del "Analysis of compatibility of space-based reception of ADS-B signals at 1090 MHz" fueron utilizados como datos de entrada del simulador. Ese documento también considera que la fracción de transmisiones de SSR es de 0,1. Dicho valor es segregado en SSR (Modo 3, A/C), Modo 4 y Modo 5. Sabiendo que los vuelos militares son alrededor del 6%, pueden ser divididos igualmente en Modo 4 y Modo 5. Entonces, la porción de Modo 4 y Modo 5 son 0,03 (3%) cada uno. Si la porción de aviones respondiendo al SSR es del 10% de todos los aviones, entonces la fracción del Modo A/C tiene que ser de 0,04.

Además, el mismo documento considera que la porción de aviones que transmiten Modo S es 0,9 y solo el 30% de ellos también transmiten ADS-B. La simulación fue ejecutada utilizando esta proporción y también fue considerado el caso donde el 90% de los aviones transmiten ADS-B (posible futuro). Además se estimó que 90% de todos los aviones usan el sistema de transpondedor DME.

SSR

El radar de vigilancia secundario (SSR) tiene muchos modos de funcionamiento. Algunas características son compartidas entre ellos, pero en cada caso se deben hacer algunas consideraciones particulares. El sistema de baliza de radar de control de tráfico aéreo (ATCRBS) interroga periódicamente aviones en una frecuencia fuera del ancho de banda de ADS-B (1030 MHz). A pesar de que esta frecuencia está fuera del ancho de banda de las transmisiones de ADS-B, las respuestas a dichas interrogaciones están centradas en 1090 MHz. Esto se logra mediante la rotación de una antena que envía pulsos con una determinada frecuencia de repetición (PRF) asignadas al radar. No se encontró mucha información acerca de la frecuencia de interrogación. Sin embargo, fue encontrado que los valores típicos son 450-500 interrogaciones/segundos. En el simulador fue tomado un valor de 500 Hz para representar el peor de los casos. Todos los modos de transmisión son explicados de manera separada a continuación.

Modo A/C

El SSR tiene un modo de interrogar comúnmente conocido como modo A/C. Cuando el transpondedor recibe una solicitud de interrogación se devuelve un código squawk. Esto se conoce como Modo 3A. Un código de transpondedor puede estar acompañado por información de altura y presión lo que se llama Modo C. Los modos C y 3A son utilizados para ayudar al controlador de tráfico aéreo a identificar las aeronaves en la pantalla del radar y a mantener la separación, pero no le información de la posición. Por esa razón, no resulta útil y es considerado como interferencia para el simulador.

Las interrogaciones son hechas con la misma frecuencia PRF, pero sólo una porción de los aviones estarán en el rango debido a la antena direccional. Normalmente la apertura del haz es de 2.5º, por lo que una constante de 25/3600 es usada para el cálculo del número real de respuestas en modo A/C. También cuando el modo S es usado en el mismo sitio del radar, sólo ⅓ del tiempo el radar está interrogando para el modo A/C. Entonces, un factor de ⅓ debe ser aplicado al número de respuestas del modo A/C.

Modo S

El modo S tiene dos señales diferentes de interrogación, una que hace una llamada general y otra que interroga solamente a un avión particular en un momento dado. El último modo es usado solamente ⅔ del tiempo. Entonces, este modo, tendrá un factor de ⅔, y como no todos los aviones responden al mismo tiempo, es usado un factor estimativo de 1/10 en este tipo de transmisiones.

Modo 4 y 5

Estos modos son usados solamente por aviones militares. Sólo una pequeña porción de vuelos son militares, alrededor del 6%. Al no tener la información sobre cuántos usan modo 4 o 5, se asume que el 3% de todos los vuelos usa el modo 4 y el 3% usa el modo 5.

DME/TACAN

Otras transmisiones activas son los modos DME y TACAN. Algunos estudios consideran que “los sistemas TACAN operan al menos 5MHz separados de 1090 MHz y no presuponen interferencia/preocupación significativa”. Pero, si se considera el peor caso, la probabilidad de colisiones de mensajes no es cero. Eurocontrol realizó un estudio de interferencia donde estimaron que la máxima cantidad instantánea de aviones dentro de las 300 millas náuticas de Bruselas en 2015 rondaría los 1600. Dentro del mismo radio, el mayor número esperado de estaciones terrestres de DME dentro de un rango de 4 MHz centrado en 1090 MHz es 2. Finalmente para parametrizar el simulador, fue usado un factor de 2/1600 para este modo.

A pesar que no se pudo encontrar información más precisa que indique el número de aviones que utilizan el sistema de transpondedor DME, se estima que es un valor alto. Por lo tanto, se establece que el 90% de todos los aviones usan DME.

ADS-B / 1090ES

El modo selectivo extendido o ADS-B es una tecnología de vigilancia cooperativa en la cual un avión determina su posición mediante navegación satelital y la transmite periódicamente, permitiendo ser rastreado. La información puede ser recibida por la estación terrestre de control de tráfico aéreo como un reemplazo para el radar secundario. Esto también puede ser recibido por otro avión para tener conocimiento de la situación y permitir la auto-separación entre ellos.

La probabilidad de recepción de este tipo de transmisiones sin interferencia es el principal objetivo en la simulación. La simulación calcula la relación entre el número de mensajes ADS-B transmitidos y recibidos en un satélite.

En este caso en particular, es importante considerar las colisiones entre las señales de ADS-B con todas las otras señales interferentes.

Probabilidad final

Aun teniendo una baja probabilidad de recibir un mensaje de ADS-B sin interferencias, se puede calcular la probabilidad de recibir al menos un mensaje de posición en un período 5 minutos.

La probabilidad de no recibir un mensaje de ADS-B $P(collision)$ es conocida desde la simulación. La probabilidad de no recibir dos mensajes , puede ser calculada como $P(colisión)*P(colisión)$ = $P(colisión)^2$ asumiendo que todas las colisiones son independientes. Entonces la probabilidad de recibir al menos uno de los dos mensajes (o la probabilidad de que ambos no colisionen) es $P(al\ menos\ 1\ de\ 2)=1-P(colisión)^2$. Usando la misma expresión para n mensajes enviados, la ecuación general es $P(al\ menos\ 1\ de\ n)=1-P(colisión)^n$. Sabiendo que la posición es transmitida dos veces en un segundo, es posible calcular la probabilidad de recibir al menos un mensaje de posición en un periodo de x minutos. La última probabilidad puede ser calculada como sigue:

$$P(recibir\ ADS-B)_{x\ min}=1-P(colisión)^{2*60*x} \quad (5)$$

Resultados

Usando las hipótesis consideradas anteriormente, la simulación fue ejecutada varias veces y diez resultados fueron promediados. Se utilizó un tiempo de simulación de 5 segundos y una antena con apertura de haz de 20º y 33º. Además, la simulación fue ejecutada con 27% y 90% de aviones transmitiendo ADS-B. Los resultados de la probabilidad de recibir cualquier mensaje sin interferencia son mostrados en la tabla 2.

Tabla 2 - Probabilidad de recibir un mensaje sin interferencia

Fracción de Tx ADS-B	Apertura de haz de antena: 20°	Apertura de haz de antena: 33°
ADS-B = 27%	70,14%	48,87%
ADS-B = 90%	31,55%	8,87%

Usando esos valores, la probabilidad de recibir un mensaje de posición dentro de un período de 15 segundos es la que se ve en la tabla 3.

Aun en el peor de los casos, la probabilidad de recibir un mensaje dentro de un minuto es de 99.9985%. Estos resultados muestran que la recepción de señales de ADS-B a bordo de satélites LEO es factible, inclusive en áreas con alta densidad de tráfico. Resultados similares fueron encontrados, realizados por otros, usando diferentes enfoques y cálculos.

Tabla 3 - Probabilidad de recibir un mensaje sin interferencia dentro de 15 segundos

Fracción de TX ADS-B	Apertura de haz de antena: 20°	Apertura de haz de antena: 33°
ADS-B = 27%	100%	99,999%
ADS-B = 90%	99,998%	93,836%

Conclusiones

Se presenta un simulador para evaluar la posibilidad de recepción satelital de mensajes ADS-B en el peor de los escenarios. Es de conocimiento que las áreas más congestionadas son sobre grandes ciudades y no debería existir ningun tipo de problema para la cobertura terrestre. No obstante, en el caso de una congestión similar a la analizada, los resultados muestran que no debería haber ningun problema en cumplir las normas de la OACI. Es importante destacar que los resultados evaluados muestran la probabilidad de recibir un mensaje de posición en un periodo de 15 segundos. Si son usados 15 minutos, el cual es el objetivo de la OACI, la probabilidad será mayor. Algunos parametros usados fueron estimados pero el simulador es lo suficientemente flexible para ejecutar pruebas con parámetros distintos.

Referencias

Airservices Australia “How ADS-B works”

L. Bachman “UAT System Performance Simulation Results”, Appendix B, ICAO ACP WG-C UAT

Canada Delegation, “Analysis of compatibility of space-based reception of ADS-B signals at 1090 MHz”, ITU-R WP5B Contribution 791, ITU, 2015

Department of Civil Aviation “Operational Notes on Distance Measuring Equipment Contents” 1985.

Eurocontrol “1090 MHz Capacity study – final report”, 2006.

Eurocontrol “High-Density 2015 European Traffic Distributions for Simulation”, 2000.

SARPs Subgroup Working Papers, 2004.

Eurocontrol “Principles of Mode S Operation and Interrogator Codes” 2003, pages 11-14.

M. A. Garcia, J. Stafford, J. Minnix, J. Dolan, “Aireon space based ADS-B performance model”, IEEE, Integrated Communication, Navigation, and Surveillance Conference (ICNS), 2015.

W. Harman, J. Gertz, A. Kaminsky, “Techniques for Improved Reception of 1090MHz ADS-B Signals”, IEEE, 1998.

ITU-R “Working document towards a preliminary draft new Report ITU-R M.[ADS-B] - Reception of automatic dependent surveillance broadcast via satellite and compatibility studies with incumbent systems in the frequency band 1 088.7-1 091.3 MHz” Annex 15 of “Chairman's Report”, Document 5B/761, 2014.

P. A. Lynn “Radar Systems” Springer Science & Business Media, 1987.

NATCA “Air Traffic Control: By the Numbers” 2003

National Telecommunications and Information Administration “Manual of Regulations and Procedures for Federal Radio Frequency Management (Redbook)” 2008 (Rev. 9/2009), pages 172-178.

V.A. Orlando “The Mode S Beacon Radar System”, The Lincoln Laboratory JournaL, Volume 2, Number 3, 1989, pages 345-362.

J. Ostermeier “Test of DME/TACAN Transponders Application Note” Rohde & Schwarz, 2009.

I. L. Peppler “From the Ground Up: Training Manual for Pilots” Aviation Publishers Company, 1997.

N. K. Shaw, M. Annapolis, A. A. Simolunas “System capability of air traffic control radar beacon system”, Proceedings of the IEEE (Volume:58 , Issue: 3), IEEE, 1970, pages 399-407.