

VI Congreso de Ingeniería Industrial COINI 2013
7 y 8 de noviembre de 2013

Centro Tecnológico de Desarrollo Regional
Facultad Regional San Rafael - Universidad Tecnológica Nacional
Los Reyunos, San Rafael, Mendoza, Argentina

ACTIVIDAD EXTRACURRICULAR DE CREATIVIDAD EN
ALUMNOS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

*Yonni, Fernando^{1,2}; Fasoli, Hector¹; Requena, Carlos²; Zagorodnova, Tatiana²;
Nishiyama, Juan C.²*

¹UCA, Facultad de Cs. Fisicomatemáticas e Ingeniería.
Alicia Moreau de Justo 1500.C1107AAZ, Buenos Aires, Argentina
profyonni@yahoo.com.ar, hfasoli@yahoo.com

²UTN, FRGP, Depto. Cs. Básicas. carlooseduardorequena@yahoo.com.ar

RESUMEN

Esta actividad se basa en aplicar la "Teoría para resolver problemas de inventiva" (TRIZ) como herramienta estructurada de pensamiento creativo en actividades dirigidas a alumnos que cursan el ciclo final de la carrera de Ingeniería Industrial.

El uso de TRIZ para el análisis de problemáticas industriales posee un enorme potencial pedagógico porque permite adquirir las destrezas necesarias para tratar un problema real con un enfoque creativo.

El proyecto se desarrolla como parte de la asignatura Formación General, de carácter optativo en la Universidad Católica Argentina. Para cada cohorte semestral se plantean situaciones nuevas orientadas a resolver problemas técnicos concretos vinculados con la actividad extracurricular de investigación y extensión desarrollada en la Universidad. Por ejemplo este año se trabaja sobre la resolución del problema que se presenta ante la inadecuada resistencia mecánica de aerogeneradores comerciales de baja potencia empleados en la Patagonia.

En este marco, los alumnos, en grupos de a seis guiados por un tutor, llevan adelante la formulación de modelos teóricos y diseñan ensayos de laboratorio que son empleados para el análisis de la propuesta técnica alcanzada. De esta forma el proceso de aprendizaje se centra en la actividad cognitiva del alumno donde el docente asume el papel "facilitador" de este proceso.

Las actividades a desarrollar es divididas en tres etapas. La primera etapa teórica, es de conceptualización de la técnica TRIZ; la segunda etapa es grupal, de búsqueda del mejor objetivo técnico para la solución del problema planteado; en la tercera etapa se hace la evaluación y análisis de las soluciones que surgieron de la actividad de cada grupo y la elaboración de una propuesta operativa final.

Palabras claves: TRIZ, creatividad, actividades extracurriculares en Ingeniería.

1. INTRODUCCIÓN.

La investigación aplicada dirigida a estudiantes universitarios genera nuevos campos de interpretación y valoración, tanto en términos conceptuales como operativos. Esto es especialmente válido para actividades que se planifican desde un marco de referencia industrial, con un enfoque práctico orientado a resolver problemas técnicos concretos, articulado a través de una actividad extracurricular. De este modo la acción de enseñar logra construir objetivos académicos que procuran desarrollar en el alumno herramientas que le permitan alcanzar soluciones a problemas reales. [2] En este marco la "Teoría para resolver problemas de inventiva" (TRIZ) se presenta como una técnica sistemática que, basada en el estudio de los modelos de evolución de patentes, permite, en su aplicación en el proceso de enseñanza-aprendizaje universitario propuesto en esta presentación, incrementar la creatividad tecnológica del alumno en carreras de Ingeniería [1].

TRIZ es única en su concepción ya que su enfoque consiste en encontrar la solución de un conflicto (problema técnico) por la adecuación de soluciones aplicadas previamente a problemas similares. El creador del método TRIZ fue Genrich Altshuller, un ingeniero ruso que desarrolló la teoría a través del análisis de un millón y medio de patentes de invención, 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 generales. Utilizando la metodología de trabajo propuesta en TRIZ, el problema particular es llevado hacia un problema estándar de naturaleza análoga o similar del cual derivará la solución particular. La metodología de trabajo se desarrolla como un procedimiento de análisis sistemático que permite, a través de amplios espacios de soluciones, dirigir el pensamiento hacia los pasos que posibilitan arribar a la solución ideal, independizándose de herramientas psicológicas y permitiendo el acceso al pensamiento creativo y al conocimiento inventivo.

El objetivo de esta propuesta es desarrollar para cada cohorte semestral (como parte de la asignatura Formación General, de carácter optativo en la Universidad Católica Argentina), una metodología de análisis orientada a resolver problemas técnicos concretos vinculados con la actividad extracurricular de investigación y extensión desarrollada en la Universidad [3, 4] donde se llega a la solución mediante un procedimiento directo de abstracción y especificación. En esta actividad el docente asume el papel "facilitador" del proceso de aprendizaje centrándose en el desarrollo cognitivo del alumno; en ese sentido el profesor cumple la función del moderador en las actividades creativas grupales [4], sin perder la responsabilidad de supervisar y orientar la actividad de enseñanza.

2. METODOLOGÍA.

Durante el curso del año 2013 de la asignatura Formación General (Investigación Ambiental Interdisciplinaria) se trabajó sobre la resolución del problema que se presenta ante el desgaste de la resistencia mecánica de un aerogenerador de baja potencia de diseño experimental empleado en la Patagonia, en el marco del proyecto de energía eólica desarrollado en conjunto por el Programa Patagónico (Facultad de Ciencias Políticas, UCA) y el Grupo Ambiental Patagónico (Facultad de Ingeniería, UCA). [3]

Los alumnos, divididos en dos grupos de 6 integrantes cada uno, guiados por un tutor, llevan adelante la formulación de modelos teóricos y diseñan ensayos de laboratorio que son empleados para el análisis de la solución o soluciones técnicas alcanzadas.

A los alumnos de uno de los grupos (grupo control) se le propone que, a partir de la búsqueda bibliográfica y los conocimientos adquiridos a través de su currícula, encuentren una o más soluciones conceptuales posibles al problema planteado (este grupo, para poder actuar como control, recibe la explicación sobre la aplicación del TRIZ al finalizar la resolución del problema)

En el segundo grupo (grupo experimental) la actividad a desarrollar se divide en dos etapas. La primera etapa es teórica: se presenta al alumno el método TRIZ, y se explica a través de varios ejemplos cómo han sido resueltos estos casos testigos a partir de la aplicación de TRIZ. Su uso en este proyecto consiste en el análisis del problema orientado a encontrar la raíz de su origen para luego aplicar una de las herramientas TRIZ ("la matriz de contradicciones"). Esta consiste en un cuadro de doble entrada donde se listan 39 características básicas de los sistemas técnicos (llamadas "lista de los parámetros de ingeniería"- ver tabla 1) y en el cruce de cada fila y columna se dan referencias numéricas de los tipos de principios inventivos (ver tabla 2) que se pueden aplicar para variar una de las características, sin que varíe la otra, permitiendo de este modo alcanzar la resolución del problema. Su orden de presentación en cada casillero no es aleatorio, sino que indican cuáles son en general los más utilizados en las patentes investigadas que han dado origen al método TRIZ.

Los principios de inventiva, no son una solución directa a la contradicción, sino una línea de razonamiento para encontrar la orientación que lleva a obtener un nuevo sistema físico, con el problema resuelto.

Tabla 1. Los 39 parámetros de ingeniería

1	Peso de un objeto en movimiento	21	Potencia
2	Peso de un objeto sin movimiento	22	Desperdicio de energía
3	Longitud de un objeto en movimiento	23	Desperdicio de sustancia
4	Longitud de un objeto sin movimiento	24	Pérdida de información
5	Área de un objeto en movimiento	25	Desperdicio de tiempo
6	Área de un objeto sin movimiento	26	Cantidad de sustancia
7	Volumen de un objeto en movimiento	27	Confiabilidad
8	Volumen de un objeto sin movimiento	28	Precisión de mediciones
9	Velocidad	29	Precisión de manufactura
10	Fuerza	30	Factores perjudiciales actuando en un objeto
11	Tensión, presión	31	Factores perjudiciales del objeto
12	Forma	32	Conveniencia de manufacturabilidad
13	Estabilidad de composición de un objeto	33	Conveniencia de uso
14	Resistencia	34	Conveniencia de reparabilidad
15	Tiempo de acción de un objeto en movimiento	35	Adaptabilidad, universalidad
16	Tiempo de acción de un objeto sin movimiento	36	Complejidad de un mecanismo
17	Temperatura	37	Complejidad de control y medición
18	Iluminación	38	Nivel de automatización
19	Energía gastada por un objeto en movimiento	39	Productividad

Tabla 2. Listado de los 40 Principios de Inventiva

1	Segmentación	21	Aumentar velocidad de acción riesgosa
2	Extracción	22	Convertir lo Nocivo en Útil
3	Calidad Local	23	Retroalimentación
4	Asimetría	24	Intermediario
5	Unión	25	Autoservicio
6	Universalidad	26	Copiado
7	Anidación	27	Uso de objetos baratos de reemplazo
8	Contrapesar	28	Sustitución de medios mecánicos por otros sistemas
9	Antiacción Preliminar Contrapeso	29	Uso de sistemas neumáticos e hidráulicos
10	Acción Preliminar	30	Membranas Flexibles , Películas delgadas
11	Amortiguar de Antemano	31	Materiales Porosos
12	Equipotencialidad	32	Cambios de Color
13	Inversión	33	Homogeneidad
14	Esfericidad	34	Desechando y regenerando partes
15	Dinamismo	35	Cambios del Parámetro
16	Acciones Parciales o Excesivas	36	Transiciones de Fases
17	Transición hacia otra dimensión	37	Expansión Térmica
18	Vibración Mecánica	38	Oxidantes Fuertes
19	Acción Periódica	39	Atmósfera Inerte
20	Continuidad de Acción Útil	40	Materiales Compuestos

En una segunda etapa, netamente participativa, se guía al alumno en la búsqueda de la mejor o mejores soluciones del problema planteado con la aplicación del método. Finalmente ambos grupos evalúan y analizan en forma conjunta todas las alternativas propuestas y se elaborará de una propuesta operativa final (etapa actualmente en ejecución) que se pondrá a prueba en el laboratorio.

2. DESARROLLO.

A cada uno de los grupos se le presenta el problema técnico del aerogenerador de eje vertical (ver figura 1) de uso experimental, con el que trabaja el grupo de energía eólica de la UCA.



Figura 1 :vista del aerogenerador de eje vertical

En su aplicación en la región patagónica se determinó que, en presencia cambios bruscos en la velocidad del viento (ráfagas) o en presencia de velocidades por encima de los 25 metros/seg se bloquea el sistema de pivoteo, como consecuencia de la desorientación de las palas con respecto al viento (sistema *furling* de frenado, ver figura 2). Este bloqueo genera fuertes tensiones, las que a lo largo del tiempo producen la rotura de la parte que une la paleta con el eje del aerogenerador (el inconveniente se observó, junto con otros problemas, también en otros modelos comerciales que se emplean en la región y en los construidos en la misma universidad).



Figura 2 : vista del sistema de frenado *furling*

Una vez que el tema fue presentado, se trabaja en cada grupo de acuerdo con las siguientes pautas:

Grupo control: el docente tutor, luego de dar algunas orientaciones sobre búsqueda bibliográfica, solicitó a los miembros del grupo que lleven adelante como trabajo de gabinete una búsqueda bibliográfica relativa al tema (2 clases). Luego, como actividad de aula, se analizó la información recabada (1 clase) y se planteó un debate técnico tendiente a encontrar alternativas que permitan alcanzar la solución del problema (2 clases).

Del debate llevado adelante en el grupo control surgieron posibles soluciones referidas a cambios en el sistema de frenado (utilizar otros métodos alternativos al sistema *furling*) o la aplicación de sensores remotos que indique en forma temprana las características del viento.

Grupo experimental: Se solicitó a los alumnos que hagan un análisis minucioso de las partes en conflicto y presenten un esquema (Figura 3) de lo que entienden es la causa raíz del problema (1 clase).

A partir del esquema elaborado, se buscaron posibles contradicciones técnicas (esto es, qué empeora cuando se pretende realizar en el dispositivo alguna modificación tendiente a mejorar su

funcionamiento). Las contradicciones encontradas fueron: “resistencia - tensión y “resistencia - fuerza” (1 clase).

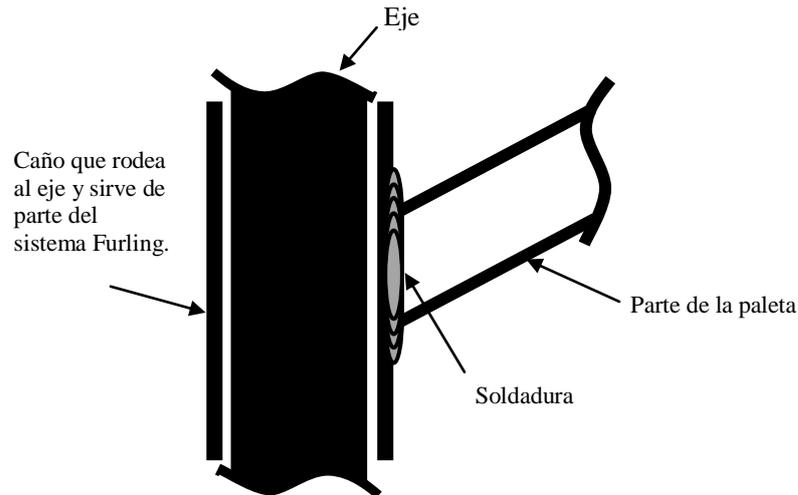


Figura 3. Esquema sobre la situación del problema a resolver.

Se analizó la matriz de contradicciones TRIZ y se encontraron “los principios de inventiva” que son posibles de reformar para mejorar el accionar del dispositivo. Estos fueron los principios 10, 3, 18, 40 (para la contradicción resistencia - tensión, presión) y 10, 18, 3 y 14 (para la contradicción resistencia – fuerza) (1 clase).

Principios	Soluciones (en negrita) y ejemplos (en cursivas) propuestas por el TRIZ
10	<p>A. Ejecutar antes de que se necesiten los cambios requeridos de un objeto (totalmente o parcialmente).</p> <ul style="list-style-type: none"> -Aplicar adhesivo para el papel de la pared. -Esterilizar todos los instrumentos necesarios para un procedimiento quirúrgico en una bandeja sellada. <p>B. Objetos prearreglados tales que ellos puedan venir en acción desde los lugares más conveniente y sin pérdida de tiempo para su entrega.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Los arreglos de Kanban en una fábrica Just-in-Time. -Celda de manufactura flexible. -Partes precortadas para la construcción de casas de maderas.
3	<p>A. Cambiar una estructura del objeto desde una uniforme a una no uniforme, cambiar un ambiente externo (o la influencia externa) desde uno uniforme a uno no uniforme.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Usar un gradiente de temperatura, densidad, o de presión, en lugar de temperatura, densidad o presión constantes. -Para combatir el polvo en las minas de carbón, se aplica una llovizna fina de agua en forma cónica a las partes activas de la máquina de taladrar y de cargar. Las gotas más pequeñas, tienen mayor efecto para combatir el polvo, la llovizna fina impide el trabajo. La solución es desarrollar una capa de llovizna mas gruesa alrededor del cono de la llovizna fina. - Lápiz y goma de borrar en una unidad. <p>B. Hacer que cada una de las partes de una función del objeto sea en las condiciones más conveniente, mejor para su funcionamiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bandeja porta alimentos con compartimientos especiales para las comidas sólidas calientes y frías y para los líquidos <p>C. Hacer que cada parte de un objeto ejecute una función diferente y útil.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lápiz con la goma de borrar - Martillo con uña extractora de clavos. - herramienta multifunción que descama el pez, actúa como alicates, destripador, destornillador plano, destornillador de Phillips, juego de manicura, etc.
18	<p>A. Provocar un objeto para oscilar o vibrar.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Cuchillo de entalladura eléctrica de hojas vibratorias. -Caladora eléctrica. <p>B. Aumentar su frecuencia (incluso hasta ultrasonido).</p> <ul style="list-style-type: none"> -Distribuir polvo con vibración.

	<p>C. Usar la frecuencia resonante de un objeto. <i>-Destruir piedras de bilis o el riñón desmenuzándolas mediante resonancia ultrasónica.</i></p> <p>D. Usar vibradores piezoeléctricos en lugar de mecánicos. <i>- Oscilaciones del cristal de cuarzo para relojes de gran exactitud.</i></p> <p>E. Uso combinado de oscilaciones de campos ultrasónicos y electromagnéticos. <i>- Mezclar aleaciones en un horno de inducción.</i> <i>-Filtración electroacústica puede ser incrementada su eficiencia entre siete y diez veces.</i></p>
40	<p>A. Cambiar desde un material uniforme hacia un material compuesto (múltiple). <i>- los ejes de resina epoxi con fibra de carbono para palos de golf, los ejes compuestos son más ligeros, más fuertes, y más flexibles que el metal. Lo mismo para partes de avión.</i> <i>- Las tablas de surf de fibra de vidrio son más ligeras y más controlables y más fáciles de fabricar en una variedad de formas que las de madera.</i></p>

Para la otra dupla tenemos:

Principios	Soluciones (en negrita) y ejemplos (en cursiva) propuestas por el TRIZ
10	<p>A. Ejecutar antes de que se necesite los cambios requeridos de un objeto (totalmente o parcialmente). <i>-Aplicar adhesivo para el papel de la pared.</i> <i>-Esterilizar todos los instrumentos necesarios para un procedimiento quirúrgico en una bandeja sellada.</i></p> <p>B. Objetos prearreglados tales que ellos puedan venir en acción desde los lugares más conveniente y sin pérdida de tiempo para su entrega. <i>-Los arreglos de Kanban en una fábrica Just-in-Time.</i> <i>-Celda de manufactura flexible.</i> <i>-Partes precortadas para la construcción de casas de maderas.</i></p>
18	<p>A. Provocar un objeto para oscilar o vibrar. <i>-Cuchillo de entalladura eléctrico de hojas vibratorias.</i> <i>-Caladora eléctrica.</i></p> <p>B. Aumentar su frecuencia (incluso hasta ultrasonido). <i>-Distribuir polvo con vibración.</i></p> <p>C. Usar la frecuencia resonante de un objeto. <i>-Destruir piedras de bilis o el riñón desmenuzándolas mediante resonancia ultrasónica.</i></p> <p>D. Usar vibradores piezoeléctricos en lugar de mecánicos. <i>- Oscilaciones del cristal de cuarzo para relojes de gran exactitud.</i></p> <p>E. Uso combinado de oscilaciones de campos ultrasónicos y electromagnéticos. <i>- Mezclar aleaciones en un horno de inducción.</i> <i>-Filtración electroacústica puede ser incrementada su eficiencia entre siete y diez veces.</i></p>
3	<p>A. Cambiar una estructura del objeto desde una uniforme a una no uniforme, cambiar un ambiente externo (o la influencia externa) desde uno uniforme a uno no uniforme. <i>-Usar un gradiente de temperatura, densidad, o de presión, en lugar de temperatura, densidad o presión constantes.</i> <i>-Para combatir el polvo en las minas de carbón, se aplica una llovizna fina de agua en forma cónica a las partes activas de la máquina de taladrar y de cargar. Las gotas más pequeñas, tienen mayor efecto para combatir el polvo, la llovizna fina impide el trabajo. La solución es desarrollar una capa de llovizna más gruesa alrededor del cono de la llovizna fina.</i> <i>- Lápiz y goma de borrar en una unidad.</i></p> <p>B. Hacer que cada una de las partes de una función del objeto sea en las condiciones más conveniente, mejor para su funcionamiento. <i>- Bandeja porta alimentos con compartimientos especiales para las comidas sólidas calientes y frías y para los líquidos</i></p> <p>C. Hacer que cada parte de un objeto ejecute una función diferente y útil. <i>- Lápiz con la goma de borrar</i> <i>- Martillo con uña extractora de clavos.</i></p>

	- herramienta multifunción que descama el pez, actúa como alicates, destripador, destornillador plano, destornillador de Phillips, juego de manicura, etc.
14	<p>A. En lugar de usar partes rectilíneas, superficies, o formas, usar una curvilíneo; mover desde superficies planas a uno esféricos; desde partes formadas como un cubo (el paralelepípedo) a las estructuras de forma esferoidal.</p> <p>- Usar arcos y domos para resistencia en arquitectura. - Forma de banana en teléfono celular.</p> <p>B. Usar rodillos, esferas, espirales y domos.</p> <p>- Engranaje helicoidal que produce una resistencia por contacto continuo en un levantamiento de pesos. - Bolígrafos y plumas con punto de rodillo para la distribución de tinta.</p> <p>C. Ir desde un movimiento lineal a uno rotatorio, usar fuerzas centrífugas.</p> <p>- Producir el movimiento lineal del cursor en la pantalla de la computadora usando un mouse o un trackball. - Reemplazar el secado de ropa a rodillo, que retuerce a la ropa para quitar el agua de la ropa por el centrifugado de la misma. - Usar dispositivos de ruedas esféricas en lugar de ruedas cilíndricas para mover el mobiliario. - Parrilla espiedo en cambio de parrilla fija movable.</p> <p>D. Utilizar una fuerza centrífuga</p> <p>- Uso de fuerza centrífuga, ejemplo: en Ing. Química, el empleo de máquinas centrífugas para separar los distintos componentes de mezclas líquidas que tienen diferentes densidades. - Ruleta para lechuga - utiliza fuerza centrífuga para eliminar el agua de las hojas después del lavado.</p>

En las dos clases siguientes se solicitó a los alumnos que analizaran dentro de las posibles soluciones referenciadas en cada uno de los principios que surgen de la matriz de contradicciones si alguna podría ser utilizada para solucionar el problema objeto del presente trabajo. Del análisis realizado se elaboró posibles soluciones las que se proponen en la Tabla 3.

Tabla 3. Principios de inventiva que resultaron del análisis TRIZ del problema planteado.

Principio	Conjunto de Soluciones posibles
10	Parece no aportar solución alguna
3	<p>1.- Hacer que una parte del brazo de la cola cumpla la función de resistir y otra parte cumpla la función de transmitir movimiento. 2.- Diseñar un brazo grueso contra el eje y fino en la cola. 3.- Diseñar un brazo que esté agujereado cerca de la cola y que no tenga agujeros cerca del eje de rotación de modo que el peso a vencer esté más cerca del eje que de la cola.</p>
18	Al movimiento oscilante, amortiguarlo con imanes con los polos iguales enfrentados.
14	<p>1.- Soldar con aporte abundante, de modo de poder formar una concavidad en la soldadura por maquinado posterior. 2.- En lugar de la unión rectilíneas aumentar la superficie de contacto a través de una unión curvilínea; llevar la superficie plana a esférica 2.- Colocar abrazadera rodeando al eje y que tome el brazo de la cola ajustando más cerca de esta. 3.- Colocar resorte de amortiguación de un lado.</p>
40	<p>1.- Aplicar otro material en una parte del brazo. 2.- Hacer el brazo de un metal liviano y la parte cerca del eje, que sea la que tenga mayor peso por un material más resistente.</p>

3. CONCLUSIONES.

Si bien a la fecha, de presentación de este trabajo, se está efectuando la etapa de evaluación y análisis conjunto de todas las alternativas propuestas, pueden adelantarse algunas conclusiones interesantes. Por lo pronto, se observa que si bien la propuesta de aplicar el TRIZ aparenta ser más estructurada, ella potencia la actividad creativa, alcanzando soluciones más sencillas y eficiente. Al respecto cabe señalar que el grupo de control centró sus posibles soluciones en el desarrollo de cambios profundos en el sistema de captación de la energía eólica, mientras que las soluciones propuestas por el grupo experimental fueron desarrolladas a partir de un procedimiento directo de abstracción y especificación. Por tal motivo el método TRIZ respondió a la intención del

plantel docente de presentarlo como una herramienta de aplicación práctica en la solución de problemas técnicos propio de la ingeniería y como complemento para la atención creativa de situaciones particulares.

REFERENCIAS.

- [1] Nishiyama, J. C.; Zagorodnova,T.; Requena, C.(2012). *TRIZ metodología para incrementar y sistematizar la creatividad y la innovación industrial*. Primer Congreso Argentino de Ingeniería. ISBN 978-987-1312-46-7. Mar del Plata, Argentina.
- [2] Yonni, F.; Fasoli, H. y otros. (2009). *Desarrollo industrial ambientalmente sustentable: aprovechamiento de la carga orgánica biodegradable de un efluente industrial*. UCA. Concurso proyecto intercátedra. Instituto para la Enseñanza del Saber. Buenos Aires, Argentina.
- [3] Barragán, L.C.; Sagardoy, I.; Cristófalo, M.P.; Somoza, J.I.; Orbez, M.H.; D'Atri, M.V.; Gill, P.; Fasoli, H.J. (2009) *Proyecto HACHE. Parte III: Diseño de un generador eléctrico para sistemas eólicos de baja potencia*, Actas del III Congreso Argentino y II Iberoamericano "Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía" HYFUSEN, Trabajo 10-112. San Juan, Argentina.
- [4] De Bono, Eduardo; *Lateral Thinking*; Pelican Books, Nueva Cork, 1977.

Código de identificación de proyecto: COF26