

SIMULACION Y MEJORAMIENTO DE OPERACIONES DE PRODUCCION EN UNA INDUSTRIA DE BEBIDAS HIDRICAS

Enriquez, Héctor Darío*; Kowalski, Víctor Andrés; Ayala, Cristian Ramón;
Bensiñor Ledesma, Sebastián Alexis; Morales, Iván Luis; Zarza, Lucas Oscar

*Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería.
Juan Manuel de Rosas 325. (3360) Oberá, Misiones.
enriquez@fio.unam.edu.ar*

RESUMEN

Este trabajo consistió en el estudio y mejoramiento del proceso productivo de una industria envasadora de agua en botellones y soda (agua gasificada) en sifones. El objetivo fue el de proponer configuraciones que mejoren las operaciones de producción, posteriormente de haberse efectuado una nueva distribución en planta. Para llevar a cabo el análisis se utilizaron modelos de Simulación por Eventos Discretos. Se construyeron modelos con el software *Simul8* 2012, los cuales fueron sujetos a etapas de validación y verificación, para poder ser utilizados en la experimentación. Se diseñaron dos configuraciones alternativas, con las que se obtuvieron incrementos significativos en la producción, aunque cada una con diferente rendimiento en la elaboración de agua y de soda, sin obtenerse una alternativa totalmente superadora respecto a la otra, pues una mostró mejores resultados en la producción de soda y la otra lo hizo en la producción de agua. Cada alternativa contempló modificaciones en las políticas de operaciones y de recursos y los costos de implementación de ambas son similares. La elección de una u otra alternativa dependerá de la estrategia comercial que desee adoptar la empresa.

Palabras Clave: Investigación de Operaciones; Sistemas de Producción; Simulación por Eventos Discretos; Elaboración de bebidas.

ÁREA TEMÁTICA

C-Gestión de Operaciones y Logística.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo fue realizado en una empresa productora de bebidas hídricas envasadas: agua en botellones, y soda (agua carbonatada) en sifones; la misma se encuentra en la localidad de Oberá, Provincia de Misiones. Al comienzo del trabajo, se contaba con una línea de producción de agua, una línea de soda y un conjunto de operarios asignados a ambas líneas. Además, se contaban con otros recursos tales como vehículos de transporte y sus operarios, para el movimiento interno (autoelevadores y carretillas manuales) y para el reparto (camionetas y camiones).

Dado el aumento de la demanda y en la competencia en los últimos tiempos, la empresa decidió remodelar sus instalaciones, para adecuarse a las disposiciones aplicables a los procesos, establecimientos y manipulación de bebidas hídricas, aumentar su capacidad de producción por la incorporación de una línea de producción de agua y los recursos humanos para su operación, facilitar las tareas y movimientos de cargas, ampliar y reubicar espacios de almacenamiento, reubicar talleres de reparación y limpieza, mejorar la ubicación de oficinas, puntos de recepción, carga y descarga de materiales y combustibles, disponer de mejores accesos para los camiones de reparto, entre otros aspectos.

Posteriormente al rediseño de la distribución en planta, surgió la necesidad de aumentar la producción, realizando modificaciones e incorporando la línea adicional de producción de agua. El objetivo entonces de este trabajo fue el proponer configuraciones para conseguir las mejoras buscadas en las operaciones de producción. Para llevar a cabo el análisis se utilizaron modelos de simulación por eventos discretos.

El abordaje del objetivo propuesto demandó el estudio detallado del sistema de producción. Desde un comienzo se observaron importantes fluctuaciones en la producción, influenciada por diversas variables de comportamiento aleatorio, tales como la llegada de los camiones, los tiempos necesarios para la carga y descarga, los tiempos de las actividades de producción, entre muchas otras; sumado a múltiples posibilidades de reconfiguración del sistema: modificar los turnos, reasignar los operarios disponibles a las actividades, modificar la cantidad de operarios en las líneas, incorporar maquinas, etc. Por estas cuestiones, se optó el modelado mediante simulación.

1.1. Simulación por eventos discretos

La simulación es una técnica que permite imitar mediante "modelos" el comportamiento de un sistema (real o hipotético) en un ordenador [1]. Un modelo es una representación simplificada de un sistema que nos posibilita explicar, comprender, cambiar, preservar, prever y controlar el comportamiento del mismo [1]. Los modelos de simulación en general pueden dividirse en "modelos de simulación continua" y en "modelos de simulación discreta", según las características del sistema que se representa. En el primer caso, las variables son de tiempo continuo y los cambios se representan mediante ratios, empleando ecuaciones diferenciales. En el segundo caso, las variables evolucionan de manera discreta e interesa el seguimiento del estado del sistema como consecuencia de eventos. En función de las características del sistema estudiado en este trabajo, los modelos utilizados son "dinámicos" (en relación a la evolución de las variables con el tiempo), "estocásticos" (por la utilización de variables aleatorias) y "discretos". Por estas características, los modelos se denominan de "simulación por eventos discretos". En ellos las variables que describen su estado cambian su valor en instantes no periódicos del tiempo [1, 2, 3]. Este tipo de modelado se utiliza en situaciones en las que el detalle o el realismo requerido es tal que no resulta apropiado resolver el problema analítica o numéricamente [4]. Este es el caso de los sistemas de manufactura, que en su diseño y análisis involucran gran cantidad de variables.

Un estudio de simulación requiere construir un modelo computacional, el cual debe someterse a un proceso de validación para luego poder experimentar con diferentes "escenarios" del modelo construido. Las etapas requeridas en este proceso son las siguientes [1, 3, 5, 6]: 1) formulación del problema y sus objetivos; 2) construcción de un modelo conceptual, identificando las partes del proceso y el nivel de detalle de acuerdo a los objetivos; 3) recolección y tratamiento de los datos; 4) construcción del modelo de simulación; 5) validación y verificación; 6) configuración de experimentos; 7) ejecución, análisis y evaluación de los escenarios alternativos.

2. METODOLOGÍA

Desde una perspectiva general, la empresa fue analizada considerando cuatro áreas funcionales: a) Movimientos de camiones (ingreso, egreso, carga y descarga); b) Producción de soda; c)

Producción de agua en botellones, y d) Actividades complementarias (movimientos de pallets, de envases llenos y vacíos, almacenamientos, y otras actividades) (Fig. N°1).

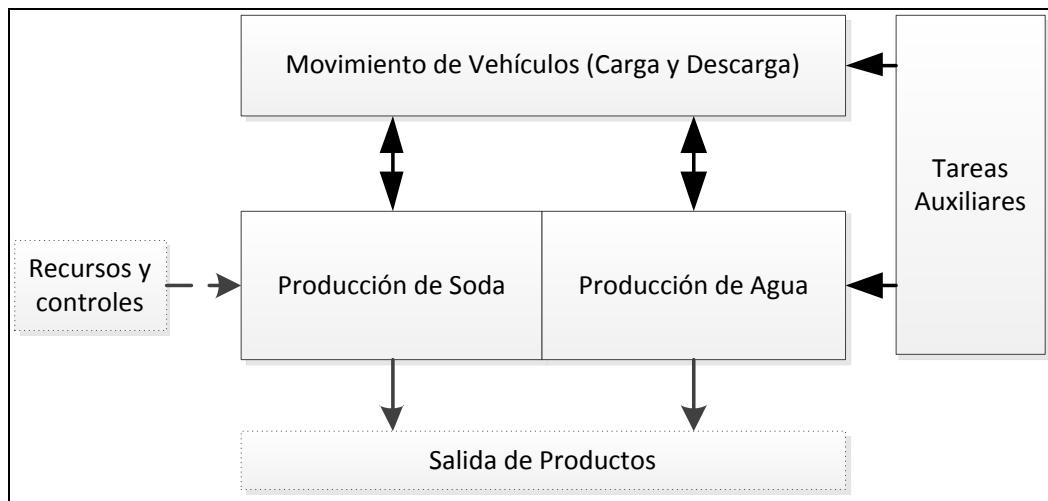


Figura N°1 Esquema representativo del sistema estudiado

2.1. Construcción del modelo de Simulación del proceso productivo

Para el análisis de los procesos y de la propuesta de mejoras, se procedió en primer lugar a la conceptualización del funcionamiento de cada una de las áreas, con sus respectivas actividades, secuencias, decisiones, recursos, transporte y flujo de materiales, para obtener un modelo conceptual inicial de cada área. La operación de líneas de producción de agua en botellones compartía un grupo de cinco operarios, por lo cual el funcionamiento de una línea demandaba que la otra esté detenida y la producción sea en lotes. Los turnos asignados a la producción de soda comprendían jornadas de 2,5 hs, cuatro días a la semana; mientras que para la producción de agua en botellones, las jornadas eran de 7,5 hs, durante cinco días semanales.

Una vez definidos los modelos conceptuales, se procedió la recolección de los datos necesarios, para cuantificar y caracterizar así cada parámetro, obteniendo una descripción suficientemente detallada para los objetivos propuestos.

El siguiente paso fue la traducción del modelo conceptual obtenido hasta el momento en un entorno computacional, es decir la construcción del modelo de simulación propiamente dicho. Para esto se recurrió al software *Simul8*, en su versión *Professional Educational 2012*. Este software facilitó, por su modo de utilización, la tarea realizada: permite la construcción de modelos dinámicos con características visuales del sistema, directamente incorporando objetos que representan las partes del mismo y sus interacciones, de manera simple. Sus características visuales ayudan a la interpretación de quien construye el modelo y posteriormente de quien lo utiliza para la toma de decisiones [7]. En la figura siguiente (Fig. N°2) se muestra una vista general del modelo construido en el software *Simul8*.

2.2. Validación y Verificación del modelo

Construido el modelo, fue sometido a etapas de validación y verificación, para contrastar que pudiese representar correctamente y de acuerdo a los objetivos el funcionamiento del sistema en estudio, y que su implementación como modelo ejecutable fuese correcta [1]. Para validar el modelo, se procedió en dos etapas [8]: la primera correspondió a una “validación superficial”, mediante la consulta a operarios y/o responsables de sectores de la empresa. Luego se procedió a una “validación estadística”, comparándose datos reales de producción y los obtenidos con el modelo de simulación, en determinados períodos de tiempo. La tarea de verificar la correcta implementación informática del modelo, se facilitó por la animación gráfica, aprovechando las características y funcionalidades de representación “evento por evento” del software *Simul8*.

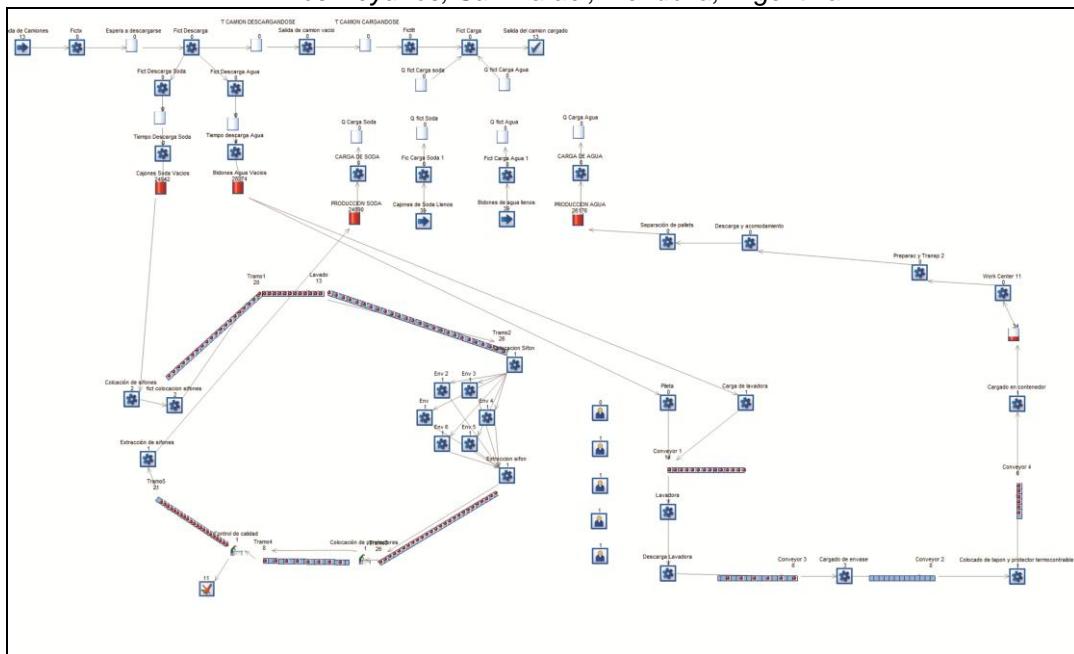


Figura N°2 Vista del modelo de simulación construido en Simul8 2012.

2.3. Experimentación con el modelo

Una vez obtenido y validado el modelo de simulación, se procedió a la configuración experimental. Por las características del sistema, los análisis de las simulaciones se efectuaron en estado estacionario y mediante repeticiones independientes [1]. El número de “corridas” o ejecuciones independientes del modelo se obtuvo fácilmente con la función *Trial Calculator* del software *Simul8*. Se determinaron como necesarias 31 ejecuciones independientes, para obtener un error muestral del 5% respecto a la media. Para eliminar el sesgo producido en el estado transitorio, fue necesario considerar un “periodo de carga” (*Warm Up*), el cual define un periodo de truncación de los datos. El *Warm Up* determinado fue de 4 semanas y se obtuvo mediante una heurística similar a la propuesta por Concannon *et.al* [5] (fig. N°3). Se utilizaron en este proceso indicadores de producción semanales de agua y de soda, con valores suavizados mediante sus promedios móviles. La longitud de las corridas de simulación, independientes y en estado estacionario, fue de 1 semana.

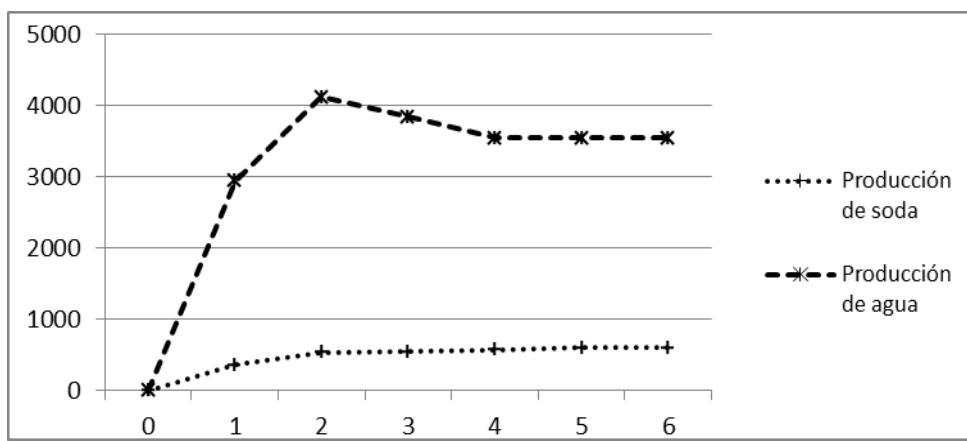


Figura N°3 Gráfica utilizada para estimar el periodo de carga o “Warm Up” (valores de producción semanal).

2.4. Diseño y experimentación con los escenarios alternativos

Para responder al objetivo del trabajo, se investigaron configuraciones alternativas o “escenarios” contemplando diversas políticas de operaciones y de recursos [8], las cuales se ajustaron a ciertas expectativas y requerimientos de la empresa. En base a esto, se decidió experimentar con dos escenarios alternativos, cuyas características se describen en las tablas N°1 y 2.

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
 Tabla N°1 Características de la configuración alternativa 1

Alternativa 1	
Política de recursos	Se contemplan cambios en los recursos humanos y máquinas.
Política de operaciones	Se modifican las tareas de los operarios y los turnos de trabajo.
Producción de soda	1 línea de producción. 5 Operarios, sin modificación de tareas respecto a la situación inicial. Turnos de operación: jornadas de 4,5hs; 2 días por semana.
Producción de agua	2 líneas de producción. 5 Operarios* en cada una de las líneas (10 en total), con modificaciones de las tareas respecto a la situación inicial. Turnos de operación: jornadas de 4,5 hs; 2 días por semana y jornadas de 9 hs, 3 días por semana.

*Se redistribuyen los operarios de las líneas de soda entre las líneas de agua.

Tabla N°2 Características de la configuración alternativa 2

Alternativa 2	
Política de recursos	Se contemplan cambios en los recursos humanos y máquinas.
Política de operaciones	Se modifican las tareas de los operarios y los turnos de trabajo.
Producción de soda	1 línea de producción. 5 Operarios, con modificación de tareas respecto a la situación inicial. Turnos de operación: jornadas de 3,5 hs; 4 días por semana.
Producción de agua	2 líneas de producción. 5 Operarios* en cada una de las líneas (10 en total), con modificaciones de las tareas respecto a la situación inicial. Turnos de operación: jornadas de 5,5 hs; 4 días por semana y 1 jornada semanal de 9 hs.

*Se redistribuyen los operarios de las líneas de soda entre las líneas de agua.

Una vez construidos los modelos de cada escenario, se realizaron las corridas de simulación correspondientes y se compararon los valores de producción de agua y soda. El interés estuvo en comparar los valores de producción de cada alternativa respecto a la configuración actual, y posteriormente se compararon las alternativas entre sí. Para estas comparaciones se recurrió a la utilización de intervalos de confianza (IC) de diferencias pareadas, para efectuar una prueba de media nula [1, 3]. En la tabla N°3 se resumen los resultados obtenidos con los modelos y las alternativas propuestas, y en la tabla N°4 se presentan las comparaciones entre los resultados de los modelos.

Tabla N°3 Resultados del modelo inicial y de las dos configuraciones alternativas

	Modelo inicial		Alternativa1		Alternativa2	
	Soda [cajones]	Agua [unidades]	Soda [cajones]	Agua [unidades]	Soda [cajones]	Agua [unidades]
Media	723,6	3542,4	1471,3	19462,4	1906,7	16313,6
Var.	11,4	1053,3	23,2	23654,4	21,5	68747,0
IC (95%)	721,7	725,5	3524,4	3560,4	1468,6	1473,9
					19377,2	19547,6
					1904,2	1909,3
					16168,4	16458,8

Tabla N°4 Comparación de resultados entre las configuraciones alternativas y el modelo inicial, y de las alternativas entre sí

	Alternativa 1 vs inicial		Alternativa 2 vs inicial		Alternativa 2 vs 1			
	Soda [cajones]	Aqua [unidades]	Soda [cajones]	Aqua [unidades]	Soda [cajones]	Aqua [unidades]		
Media	747,7	15920,0	1183,1	12771,2	435,5	-3148,8		
Var.	25,0	22601,1	28,7	66311,3	41,3	31861,0		
IC (95%)	744,9	750,4	15836,7	16003,3	1180,2	1186,1	12628,6	12913,8
					431,9	439,0	-3247,7	-3049,9

3. RESULTADOS

De acuerdo a los resultados expresados en las tablas N°3 y 4, con la incorporación de una línea adicional de agua y el personal para su operación se obtuvo un incremento significativo de la producción. Al modificarse las asignaciones de las tareas y los turnos de trabajo en las líneas de producción de agua, se obtuvieron incrementos en la producción de casi 450% (Alternativa A) y casi 360% (Alternativa B), respecto a la configuración inicial.

En cuanto a la producción de soda, las alternativas propuestas no consideraban modificaciones cuantitativas en los recursos humanos y tecnológicos, pero ambas contemplaban modificaciones en los turnos de operación y en las asignaciones de las tareas de los operarios, de manera similar a lo propuesto para la producción de agua. De esta manera, en cada alternativa simulada se obtuvieron incrementos en la producción de soda de alrededor de 103% (Alternativa A) y 163% (Alternativa B) respecto a la configuración inicial.

Al momento de compararse las alternativas entre sí (tabla N°4), la alternativa B produjo mejor desempeño en la producción de soda, con un incremento del orden del 29% respecto a la alternativa A. De manera opuesta, la alternativa A mostró mejor desempeño en la producción de agua, con una diferencia del orden del 20%. Las comparaciones entre las alternativas y el modelo inicial y entre las alternativas entre sí mostraron diferencias significativas a nivel estadístico (con intervalos de confianza de 95%).

Si se analizan los costos de implementación de las alternativas, no hay diferencias significativas entre ellas, porque requieren la misma cantidad de recursos tecnológicos y humanos, como así también jornadas de trabajo de igual duración. La única variación en este último aspecto estuvo en la distribución de los turnos de operación de las líneas y la asignación de los operarios a las tareas.

4. CONCLUSIONES

La metodología empleada permite mejorar las operaciones de producción, luego de realizarse modificaciones en la distribución en planta y de incorporarse recursos tecnológicos y humanos.

Las dos configuraciones simuladas suponen importantes y significativos incrementos en la producción de agua y soda, respecto a las condiciones actuales de la empresa. Sin embargo, ninguna de las alternativas propuestas es totalmente superior a la otra en términos de fabricación de soda y agua simultáneamente. Los resultados de la alternativa A indican mayor producción de agua, y en la elaboración de soda resulta mejor lo obtenido con la alternativa B. Como los costos de implementación son similares para ambas alternativas, la elección entre una y otra dependerá de los objetivos comerciales de la empresa.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Guasch, A.; Piera, M.A; Casanovas, J.; Figueras, J. (2003). *Modelado y Simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. 2ºed. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- [2] Puche Regaliza J. C.; Costas Gual J. (2011) "Una mejora de proceso por técnicas de simulación discreta. Reducción de mura (1ra parte)". *Revista Dyna*. ISSN 0012-7361, Vol. 86, Nº 4, 2011, págs. 377-380. Doc. Virtual. URL: <http://www.revista dyna.com/dyna/cms-/articulos/FichaArticulos.asp?IdMenu=2&IdDocumento=4345&IdEjemplar=451>. Acceso: junio de 2011
- [3] Law, A.M; Kelton, W.D. (2000). *Simulation modeling and analysis*. 3ºed. McGraw-Hill. Estados Unidos.
- [4] Ríos Insúa, D; Ríos Insúa, S., Martín Jiménez, J.; Jiménez Martín, A (2009). *Simulación. Métodos y Aplicaciones*. 2º ed. Alfaomega Grupo Editor S.A. México.

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

- [5] Concannon, K.; Elder, M.; Hindle, K.; Tremble, J.; Tse, S. (2007). *Simulation Modeling with SIMUL8*. Visual Thinking International. Canadá.
- [6] Banks, J.; Carson, J.; Nelson, B. (1996). *Discret-Event System Simulation*. 2da. ed. Prentice-Hall International Series. Estados Unidos.
- [7] Shalliker, J.; Ricketts, C (2009). *An Introduction to Simulation in the Manufacturing Industry Using SIMUL8 (release 15)*. En doc. virtual. SIMUL8 Corp. Estados Unidos.
- [8] Chung, C. A. (2004). *Simulating Modeling Handbook: a practical approach*. CRC Press. Estados Unidos.