

PROPUESTA DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA CIMBRADOS S.A.

A DISCRETE SIMULATION MODEL
PROPOSAL TO PRODUCTIVE PROCESS
IN CIMBRADOS S.A COMPANY



Vanessa Sierra Zuluaga
vanessa.sierra@alfa.upb.edu.co



Javier Darío Fernández-Ledesma
javier.fernandez@upb.edu.co

*Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Ponti-
ficia Bolivariana, Medellín, Colombia*



El presente trabajo de investigación consiste en la realización de un modelo de simulación discreta del proceso de producción de lavaderos prefabricados para vivienda de la empresa Cimbrados S.A., la cual, a través del uso de la herramienta Promodel, busca llegar a una propuesta de optimización de recursos y tiempos para la compañía.

Inicialmente, se realiza la revisión literaria que incluye todos aquellos conceptos importantes y estudios relevantes para el desarrollo del modelo, seguido por la identificación plena del proceso productivo como requisito básico de toda simulación. Posterior a esto, se realiza un análisis estadístico a cada una de las etapas del modelo para dar inicio así al montaje y desarrollo del mismo. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos a través del software Promodel, se realiza un análisis detallado de posibles escenarios en el proceso de producción y se presentan alternativas de mejora en términos de recursos y tiempos que puedan contribuir a incrementos en los índices de productividad y eficiencia.

PALABRAS CLAVE

Eficiencia, optimización, productividad, simulación.

RESUMEN

ABSTRACT

This research consists in the production of a discrete simulation model for the productive process of prefabricated washers of Cimbrados S.A Company, which, through the use of the tool Promodel, seeks to enhance and optimized resources and time for the company.

Initially, the literature review was performed including all those important concepts and research, relevant to the development of the model, followed by the full identification of the production process as a basic requirement of the entire simulation. After this, a statistical analysis is performed at each stage of the model to start the assembly and development of it.

Finally, the results obtained are shown, through the Promodel software, a detailed analysis of possible scenarios in the production process is performed, and improvement alternatives are presented in terms of resources and time that could contribute to increase in productivity and efficiency rates.

KEYWORDS

Efficiency, Optimization, Productivity, Simulation.



Introducción

En la actualidad, el acelerado cambio tecnológico, la innovación cotidiana y la apertura de nuevos mercados, han llevado a un mundo altamente competitivo, donde la inteligencia y la agilidad de las empresas para afrontar las amenazas y las debilidades son factores claves a la hora de sobrevivir y de definir el liderazgo en el mercado global. Así como lo afirma Jervis (2005, p.45), en los últimos años el mundo ha experimentado una gran cantidad de transformaciones; además, la penetración de la ciencia y la tecnología en todos los ámbitos de la realidad ha dado lugar a cambios sin precedentes. Por esto, las compañías deben responder proactivamente a dichos cambios y una forma de hacerlo es la creación de ventajas competitivas.

La ventaja competitiva es uno de los indicadores de gestión de negocios y está relacionada con el modelo de negocio; es decir, con la planeación estratégica, la cual debe velar por el óptimo aprovechamiento de los recursos, incluyendo el desempeño del personal, para alcanzar altos índices de eficiencia e ir adquiriendo liderazgo en el mercado. Para lograr dicha optimización, es importante acudir a las novedosas herramientas tecnológicas como las diferentes opciones de *software* para simulación, lo cual posibilita el análisis de los procesos productivos, así como de los recursos, y facilita el planteamiento de escenarios más óptimos. Como lo afirma Uriarte, et al (2012, p.2), la simulación parece ser una solución eficiente, ya que permite una gran flexibilidad en el modelado de sistemas complejos y además añade simplicidad a la interpretación de los resultados. Este hecho supone una ventaja a fin de mostrar los resultados a los directivos en un entorno industrial y posteriormente tomar decisiones y medidas.

Actualmente, la innovación en los procesos productivos marca la diferencia en términos de productividad y eficiencia, y por esto se hace necesario invertir en maquinaria, tecnología y capacitación, con el objetivo final de incrementar el nivel de competitividad y responder a la necesidad global de sobresalir en el mercado. La inno-

vación tecnológica tiene sentido en la medida en que se utiliza como estrategia del capitalista para incrementar su ganancia a través de la reducción de costos en los procesos o en la fabricación de nuevos productos. En el primer caso, la introducción de innovaciones tecnológicas puede reducir el costo del producto cuando disminuye el trabajo necesario para fabricarlo, o cuando sustituye trabajo complejo por trabajo simple o de menor complejidad. Esto incrementa la productividad al reducir, por alguno de los dos mecanismos, o por ambos, el monto de los salarios, lo cual repercute en la reducción de sus costos (Puga & Tirado, 1992, p.204).

Por todo esto, para una organización no es suficiente con orientarse a responder a las necesidades y deseos del mercado, es además vital un enfoque hacia productos y servicios que tengan un costo razonable y competitivo, y una alta calidad. Acá juega un papel importante la planeación estratégica de las empresas, la cual debe realizar su gestión en busca de la coordinación de todos los procesos de la compañía y el direccionamiento hacia los objetivos organizacionales, los cuales deben incluir el aumento en la productividad y eficiencia de la empresa.

Antecedentes investigativos

En el campo académico se han realizado múltiples estudios en las áreas de simulación y optimización, los cuales buscan, por lo general, dar solución a problemas productivos, logísticos, económicos y ambientales, o mejorar las condiciones de funcionamiento actuales de un sistema o proceso; entre dichos estudios se encuentra: *Simulación de un sistema de producción push por eventos discretos: caso de producción de medicamentos*, realizado en la Universidad de Pamplona, el cual inicia al reconocerse la necesidad de mantener la competitividad en las líneas de fabricación; para esto, se construyeron modelos que fueron simulados con el fin de reproducir diferentes situaciones y complejidades con las que se encuentran las empresas en sus líneas de producción. El pro-



yecto llegó a la conclusión de que la aplicación de un modelo de simulación facilitó una mejor comprensión del fenómeno del comportamiento de varios productos terminados, lo cual afectó a varios insumos, y además concluyó que su facilidad de simulación puede llegar a ser muy útil para establecer pronósticos de inventarios a corto plazo (Castro & Parra, 2006).

Desde lo económico, los modelos de simulación han jugado un papel importante a la hora de determinar la viabilidad de proyectos ante diferentes opciones y alternativas, las cuales son previamente analizadas con la ayuda de esta útil herramienta; ejemplo de esto lo plasma Ordoñez (2007), en Barranquilla, Colombia, en su artículo *Diseño y desarrollo de un modelo de simulación para evaluar financieramente proyectos de inversión de actividades productivas*, en el cual se afirma que la simulación es una herramienta muy útil para tomar decisiones cuando en escena aparecen dos temas como el riesgo y la incertidumbre. En este estudio se diseñó y desarrolló un modelo de simulación en los *software* Arena y Visual Basic for Application, con el fin de realizar una evaluación financiera de proyectos de inversión de actividades productivas. El autor confirma que la simulación es una herramienta que brinda de manera ágil, fácil y rápida respuestas, soluciones y alternativas para una buena toma de decisiones. La metodología usada fue la siguiente: definición del sistema, análisis del sistema, síntesis del modelo, formulación del modelo, verificación del modelo, experimentación e inferencia y animación. Con el estudio, se determinó que, al simular un sistema que caracterice proyectos de investigación, se debe tener muy claro qué variables aleatorias escoger para que describan la mayor cantidad de situaciones posibles en tal alternativa.

En la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Medellín, Colombia, se realizó un estudio titulado *Simulación, diseño y operación de una planta de producción de carbón activado* (Aguirre, Ocampo & Espinel, 1997), cuyo objetivo final era predecir los flujos de materiales y energéticos, al igual que las composiciones de cada una de las corrientes, lo cual se logró a través de la investi-

gación de operaciones. Dicho estudio se efectuó en 1997, cuando aún no existían múltiples herramientas ni programas informáticos para la simulación y el desarrollo de modelos, pero ya se reconocían las grandes ventajas que estos aportan al sector productivo.

En Madrid, hacia 1983, se publicaron dos estudios pertenecientes al área de optimización, los cuales inician con la obtención de datos sobre el funcionamiento del proceso en diversas condiciones de operación. Posteriormente, se establecen sus respectivas funciones objetivo, y una de ellas corresponde a que el coste industrial primario sea mínimo y así, teniendo un coste de operación compuesto por energía, materias primas y mano de obra, serían estas las variables que influyen en dicha función. Para este trabajo, se usó la técnica de optimización de Hooke y Jeeves, la cual sigue el procedimiento descrito previamente como método de búsqueda directa, el cual resultó de aplicación idónea en el problema que se tenía, puesto que se cuenta con las variables de diseño acotadas en unos límites experimentales.

Mediante la aplicación del programa de ordenador puesto a punto, se pudieron encontrar unas variables de operación que reducen el costo industrial primario en un 25% sobre los resultados que previamente se habían seleccionado en la fase de laboratorio. Estos estudios ratifican el hecho de que la optimización ha sido ampliamente utilizada desde hace ya varios años; esta requiere un procedimiento relativamente sencillo, y a cambio aporta ventajas significativas y muy positivas. Además, toda organización busca optimizar sus costos de operación, los cuales se componen por la materia prima, la mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación. La mano de obra es un factor crítico en toda empresa dado que esta es la que representa la ventaja competitiva de la compañía y la cual agrega valor al producto o servicio que se ofrece. Se dice que es crítica, ya que diversos factores influyen en la eficiencia, calidad y productividad de la misma, tales como el ausentismo, la motivación, demoras, entre otros.

Otra tendencia que sobresale positivamente en los últimos años, teniendo en cuenta que el entorno es altamente dinámico, es la optimización basada en simulación; sabiendo que la toma de decisiones en la empresa moderna es cada vez más compleja, los avances tecnológicos de hoy permiten soportar tales decisiones por medio del uso de potentes herramientas de la investigación de operaciones, como la simulación y las técnicas de optimización. La optimización basada en simulación es una sinergia entre ambas herramientas para abordar situaciones donde factores como la incertidumbre no permiten utilizar métodos convencionales. La rápida evolución de las soluciones de *hardware* y *software* han permitido que dichas herramientas de la investigación de operaciones puedan soportar la toma de decisiones. Una técnica que juega un importante papel al respecto es la simulación, herramienta de modelación matemática mediante la cual se imita una situación real, con el propósito de comprender la interacción entre todas las variables, factores, condiciones que la caracterizan, y evaluar diferentes alternativas para su mejoramiento (De la Cruz, J., 2004, p.115-122).

Ahora bien, existen diversas situaciones prácticas en el ámbito empresarial, en las que no basta sólo con mejorar, lo que las convierte en problemas de optimización. La investigación de operaciones provee también soluciones a estos inconvenientes, no obstante la mayoría de ellos no resultan ser fácilmente tratables con formulaciones matemáticas, ya que estas omiten muchos aspectos que caracterizan a la situación real (por ejemplo, la incertidumbre o variabilidad inherente a un proceso, relaciones no lineales entre variables, patrones de comportamiento cambiantes en el tiempo, etc.).

Al respecto, la simulación parece ser una clara opción, aunque por sí misma no es capaz de conducir la calidad de sus resultados hacia una solución óptima; de hecho, una de las desventajas de la simulación es que no es una técnica de optimización. Un analista podría simular un número de escenarios relativamente pequeños y escoger aquel que considera mejor, pero no podría garan-

tizar que es el óptimo. Así, reunir las bondades de la simulación y de las técnicas de optimización, aprovechando la rápida evolución de los medios computacionales y de la misma ciencia de la optimización, es hoy uno de los caminos más promisorios a las situaciones de alta complejidad. Esta nueva herramienta se conoce como *optimización basada en simulación* y es actualmente la principal tecnología de simulación.

La optimización basada en simulación es el proceso para encontrar el mejor escenario de una situación entre todos sus escenarios posibles, sin analizarlos exhaustivamente, ya que es posible configurar un escenario a partir de los valores que toman las variables (parámetros de entrada) y así mismo sus ventajas sobre otros escenarios pueden evaluarse de forma cualitativa y cuantitativa (funciones de respuesta). La optimización basada en simulación tiene como objetivo aprovechar al máximo la información arrojada por la simulación, en un ciclo retroalimentado continuo, con el consumo mínimo de los recursos disponibles para la optimización (De la Cruz, J., 2004, p.116).

La complejidad de una situación es mayor si se requiere optimizar múltiples objetivos, y mucho más si existen incompatibilidades entre estos (por ejemplo, si se quiere minimizar el costo de la gestión de inventarios sin alterar la disponibilidad del producto para maximizar el nivel de servicio). La optimización basada en simulación debe sortear la complejidad de tratar múltiples respuestas estocásticas. Actualmente, la mayoría de los desarrollos sobre la temática son adaptaciones de técnicas empleadas en investigación de operaciones para las situaciones genéricas con múltiples objetivos.

Algunos ejemplos de aplicaciones de la optimización basada en simulación:

- En gestión de la cadena de abastecimiento (GCA) (SCM) (*Supply Chain Management*)
- En un sistema productivo
- En el área financiera
- En logística de distribución
- En el sector salud
- En sector servicios



Como conclusión, la simulación es una de las herramientas de análisis más utilizadas en campos como las ciencias sociales, las ciencias naturales, la investigación de operaciones y la ingeniería, en general; su valor y utilización se han incrementado con los avances tecnológicos y la aparición de nuevos horizontes, como la optimización basada en simulación. Esta última representa una gran oportunidad para todos los actores organizacionales en cuyas manos se encuentra la toma de decisiones estratégicas, puesto que con este nuevo paradigma ya no se hacen tan indispensables las habilidades matemáticas o la agilidad mental requeridas en el pasado para interrelacionar las distintas variables, factores y condiciones que afectan una situación, sino que progresivamente se hace posible adquirir la destreza para representar una situación por medio de modelos y conducir el análisis hacia una búsqueda de la decisión óptima, solo con el dominio mínimo básico de *hardware* y *software* que cualquier profesional posee. Se reconoce lo útil y relativamente sencillo que puede ser emplear técnicas como la optimización basada en simulación en infinidad de problemas cotidianos altamente complejos (De la Cruz, 2004). Es por esto que en el presente trabajo se elige un modelo de simulación discreta aplicado al sector de la producción, para presentar alternativas de mejora con miras a la optimización y mejora de tiempos, recursos y movimientos en la empresa Cimbrados S.A.

Construcción del modelo de simulación del proceso de producción de lavaderos en Cimbrados S.A.

La construcción del modelo inicia con la conceptualización del mismo, a través de la recolección de los datos y su análisis estadístico, seguido por el montaje, el cual es finalmente simulado y analizado.

El presente modelo ha sido desarrollado con una versión gratuita pero limitada del programa de

simulación Promodel. Con la ayuda de dicho *software*, se inicia el montaje de la simulación para el proceso productivo de lavaderos de concreto.

La primera parte para la programación en Promodel consiste en la creación de las locaciones, es decir, los lugares físicos donde las piezas serán trabajadas o esperarán su turno para ser procesadas (Dunna, Reyes y Barrón, 2006, p.134). Para crear y definir dichas locaciones, se da clic en el comando *Locations* del menú *Build*, el cual incluye comandos como: *Locations* (locaciones o sitios de trabajo), *Entities* (entidades o materia prima del producto por procesar), *Path Networks* (rutas de movimiento de las entidades o recursos), *Resources* (recursos), *Processing* (programación de la simulación), *Arrivals* (llegadas de entidades al sistema) y *Attributes* (atributos).

En la **Figura 1**, en la siguiente página, se muestra la construcción de las locaciones.

Para el modelo de simulación del proceso de producción de lavaderos, las entidades hacen referencia a: bultos de materia prima, mezcla, lavadero vaciado, lavadero desencofrado, lavadero pulido, lavadero lechado, lavadero repulido y lavadero empacado.

Para construir las llegadas de las entidades al sistema, se tiene en cuenta: la entidad que llega al sistema, la localización a donde llega la entidad, el número de entidades que llegan a la vez, el momento de la primera llegada y el número de ocurrencias.

La entidad del modelo simulado corresponde a los bultos de materia prima, de los cuales se tienen los siguientes datos:

Llegada de cemento: 10000 kg por mes.

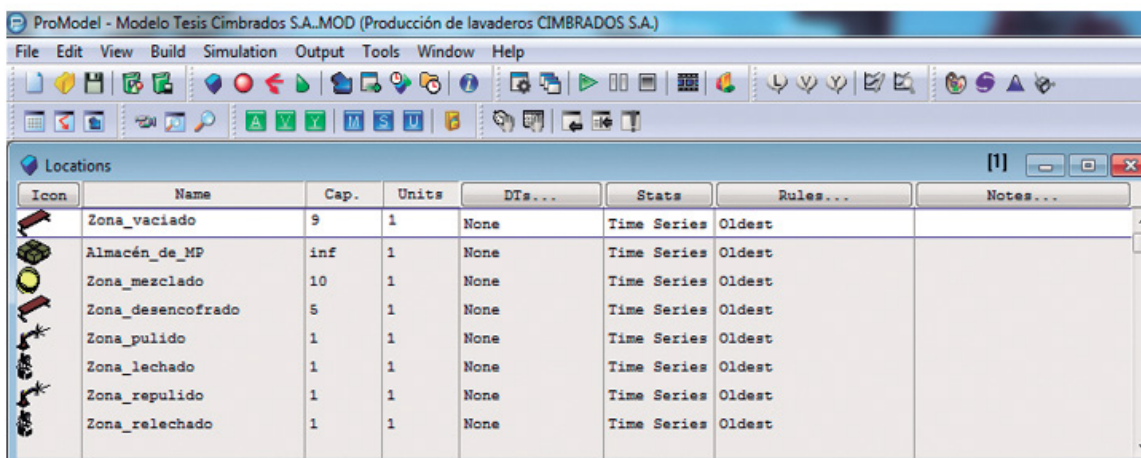
Llegada de granito: 20000 kg por mes.

Llegada de polvillo: 10000 kg por mes.

Los datos anteriores dependen directamente del volumen de producción y por lo tanto, de los pedidos de lavaderos que son hechos a la empresa.



FIGURA 1. CONSTRUCCIÓN DE LOCACIONES EN PROMODEL



Icon	Name	Cap.	Units	DTs...	Stats	Rules...	Notes...
	Zona_vaciado	9	1	None	Time Series	Oldest	
	Almacén de MP	inf	1	None	Time Series	Oldest	
	Zonamezclado	10	1	None	Time Series	Oldest	
	Zona desencofrado	5	1	None	Time Series	Oldest	
	Zona pulido	1	1	None	Time Series	Oldest	
	Zona lechado	1	1	None	Time Series	Oldest	
	Zona repulido	1	1	None	Time Series	Oldest	
	Zona relechado	1	1	None	Time Series	Oldest	

Fuente: Software Promodel.

Las variables definidas en el modelo son:

- Cantidad de bultos de materia prima mezclados
- Cantidad de lavaderos vaciados
- Cantidad de lavaderos desencofrados
- Cantidad de lavaderos pulidos
- Cantidad de lavaderos lechados
- Cantidad de lavaderos repulidos
- Cantidad de lavaderos empacados

Una vez definidas las locaciones, las entidades, los recursos y las variables, se procede a realizar la programación de la simulación.

Se tiene en cuenta el análisis estadístico con los datos de cada operación para definir los tipos de distribuciones que siguen cada uno de los subprocesos; se establece el tipo de entidad que entra a cada locación, el tipo de operación que se realiza, la salida de dicha operación y el destino al cual debe dirigirse.

Para el caso de la zona de vaciado, se suman las distribuciones que siguen los procesos de preparación del molde y de vaciado.

En la Tabla 1, mostrada en la siguiente página, se presenta la programación del modelo.

Supuestos del modelo

Los supuestos propuestos para el modelo de simulación son los siguientes:

- Todos los lavaderos del modelo de simulación se consideran estándar con las siguientes medidas: 55x60x20 centímetros.
- Se considera una semana de trabajo equivalente a 48 horas.
- Se considera una hora como 60 minutos de trabajo.
- Se considera un bulto de materia prima estándar, equivalente a 40 kg.
- El modelo termina una vez transcurridas 192 horas de simulación.
- Todo el análisis estadístico se realizó en el paquete *Stat-fit* de *Promodel*, por esto se siguen su estructura, cálculos y suposiciones.
- El tiempo de la simulación se considera un tiempo de capacidad de operación normal; es decir, no se tienen en cuenta picos en los pedidos. (Demanda estable).
- Debido a las limitaciones en la versión del programa informático usado, en cuanto al número posible de objetos por simular, fue necesario considerar generalidades en ciertos puntos del proceso.



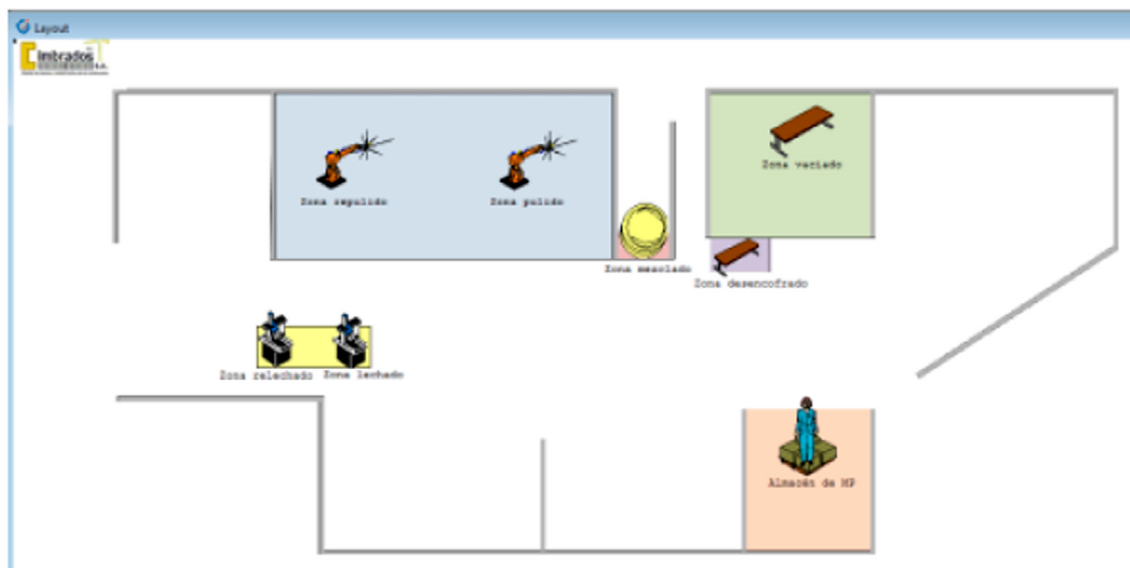
TABLA 1. PROGRAMACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

PROCESS			ROUTING				
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
Bultos MP	Almacén MP	GET Vaciador WAIT U(396,5;130,5) FREE Vaciador	1	Bultos MP	Zona mezclado	First 1	MOVE WITH Vaciador THEN FREE
Bultos MP	Zona mezclado	GET Vaciador WAIT U(946;174) INC Cantidad de bultos mezclados FREE Vaciador	1	Mezcla	Zona vaciado	First 1	MOVE WITH Vaciador THEN FREE
Mezcla	Zona vaciado	GET Vaciador WAIT U(362;110)+U(306,5;105,5) INC Cantidad de lavaderos vaciados FREE Vaciador	1	Lavadero vaciado	Zona desencofrado	First 1	MOVE WITH Vaciador THEN FREE
Lavadero vaciado	Zona desencofrado	GET Vaciador WAIT E(248) INC Cantidad de lavaderos desencofrados FREE Vaciador	1	Lavadero desencofrado	Zona pulido	First 1	MOVE WITH Pulidor THEN FREE
Lavadero desencofrado	Zona pulido	GET Pulidor WAIT U(1400;226) INC Cantidad de lavaderos pulidos FREE Pulidor	1	Lavadero pulido	Zona lechado	First 1	MOVE WITH Pulidor THEN FREE
Lavadero pulido	Zona lechado	GET Lechador WAIT U(714;97) INC Cantidad de lavaderos lechados FREE Lechador	1	Lavadero lechado	Zona repulido	First 1	MOVE WITH Pulidor THEN FREE
Lavadero lechado	Zona repulido	GET Pulidor WAIT U(1470,5;143,5) INC Cantidad de lavaderos repulidos FREE Pulidor	1	Lavadero repulido	Zona relechado	First 1	MOVE WITH Pulidor THEN FREE
Lavadero repulido	Zona relechado	GET Lechador WAIT U(1226;377) FREE Lechador	1	Lavadero empacado	EXIT	First 1	INC Cant. lavaderos empacados

Fuente: Software Promodel.

A continuación, en la Figura 2, se muestra el *layout* del modelo.

FIGURA 2. LAYOUT DEL MODELO DE SIMULACIÓN



Fuente: Software Promodel.

Resultados del modelo

Al analizarse los resultados, debe tenerse en cuenta que el modelo inicia sin existencias; es decir, inicia desde cero y sin condiciones iniciales. Además, la simulación está en función del tiempo de operación y no de las cantidades.

De este modo, una vez corridas las 192 horas de simulación, el programa Promodel arroja diferentes resultados, entre los cuales se encuentran los siguientes:

En la Tabla 2, se muestran los resultados de las locaciones.

TABLA 2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS LOCACIONES

Modelo Tesis Cimbrados S.A..MOD (Normal Run - Avg. Reps)								
Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
Zona vaciado	192,00	9,00	157,80	200,22	2,74	9,00	6,53	30,47
Almacén de MP	192,00	999999,00	1000,00	11094,71	963,08	1000,00	834,27	0,10
Zona mezclado	192,00	10,00	165,73	237,11	3,41	10,00	7,93	34,11
Zona desenchofado	192,00	5,00	151,27	81,41	1,07	5,00	2,57	21,37
Zona pulido	192,00	1,00	148,70	23,27	0,30	1,00	0,87	30,03
Zona lechado	192,00	1,00	147,83	12,67	0,16	1,00	0,33	16,26
Zona repulido	192,00	1,00	147,50	24,48	0,31	1,00	0,77	31,34
Zona relechado	192,00	1,00	146,73	20,34	0,26	1,00	0,73	25,91

Fuente: Software Promodel.



Puede verse que a la primera locación, la cual corresponde a zona de vaciado, llegan un total de 158 entidades, es decir, bultos. Las locaciones que más entidades recibieron fueron el almacén de materia prima, la zona de mezclado y la zona de vaciado con cantidades de 1000, 166 y 158 respectivamente; por otro lado, las que menos recibieron y procesaron entidades fueron la zona de repulido y la zona de lechado, con 147 y 148 respectivamente.

Así, la cantidad de entidades procesadas totalmente es de 146 unidades.

Además, pueden verse las locaciones con mayor tiempo de procesamiento de entidades, teniendo en cuenta la capacidad y la cantidad que entran a cada locación.

Para la producción de lavaderos, dichas locaciones corresponden a la zona de repulido y a la zona de pulido, con un tiempo promedio de 2448 y 2327 minutos respectivamente.

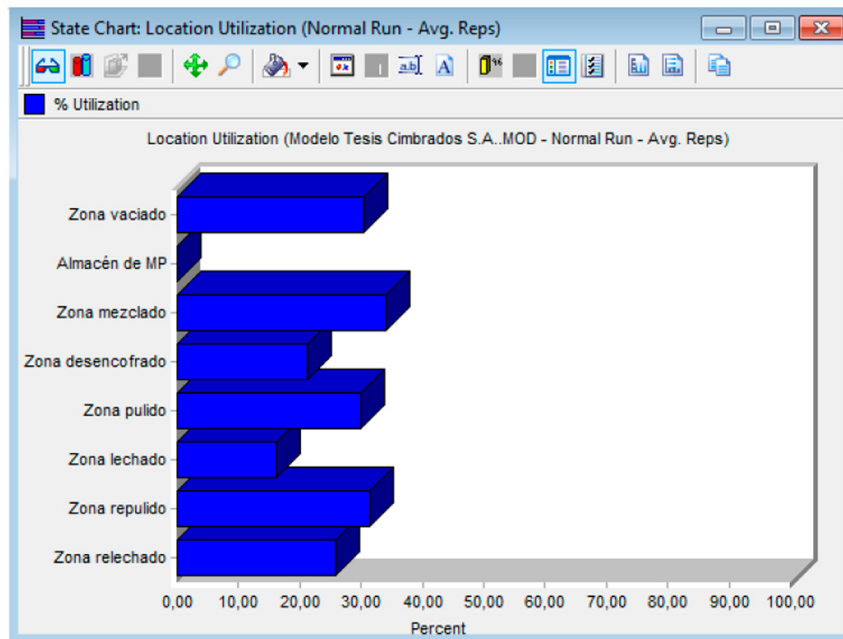
Así mismo, puede verse que las locaciones que procesan más rápido las entidades son zona de lechado y zona de vaciado, con un tiempo promedio de 12.67 y 13.35 minutos respectivamente.

La Figura 3, que se presenta a continuación, muestra los porcentajes de utilización de las locaciones.

Según la figura, las locaciones más utilizadas pertenecen a la zona de mezclado y la zona de repulido, con un porcentaje de 34,11% y 31,34% respectivamente; por otra parte, las locaciones menos utilizadas corresponden al almacenamiento de materia prima y a la zona de lechado, con porcentajes de 0,10% y 16,26% respectivamente.

Esta gráfica se relaciona con el tiempo promedio por entrada, explicado anteriormente, ya que permite analizar el tiempo de ciclo del proceso de producción en cada localización y una vez más puede deducirse que la localización con mayor tiempo de procesamiento- y por tanto, cuello de botella- corresponde a la zona de repulido.

FIGURA 3. PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN DE LAS LOCACIONES



Fuente: Software Promodel.

A continuación, en la Tabla 3, se muestran los resultados de los recursos.

TABLA 3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS RECURSOS

Modelo Tesis Cimbrados S.A..MOD (Normal Run - Avg. Reprs)						
Name	Units	Scheduled Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	% Utilization	
Vaciador	1,00	192,00	1942,63	5,93	100,00	
Pulidor.1	1,00	192,00	449,87	7,85	30,64	
Pulidor.2	1,00	192,00	437,10	8,08	30,64	
Pulidor	2,00	384,00	886,97	7,96	30,64	
Lechador.1	1,00	192,00	145,63	16,49	20,76	
Lechador.2	1,00	192,00	148,93	15,83	20,38	
Lechador	2,00	384,00	294,57	16,09	20,57	

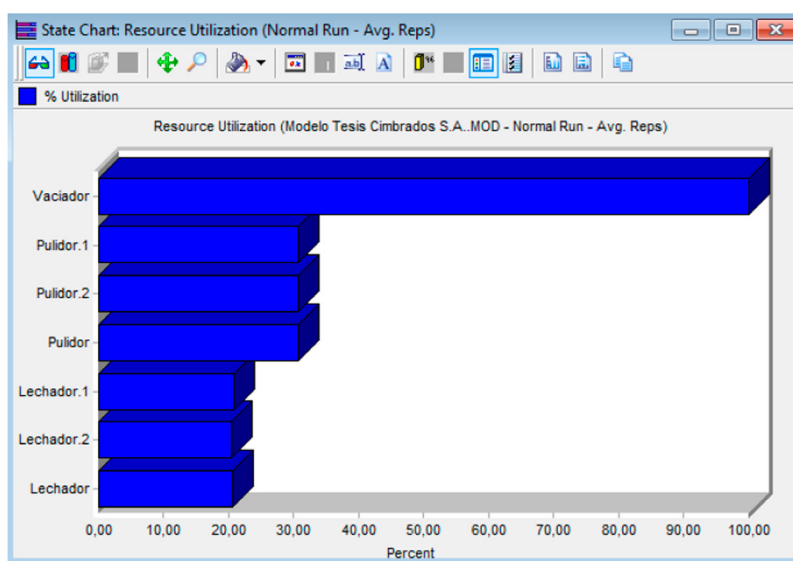
Fuente: *Software Promodel.*

Puede verse que el recurso más usado fue el vaciador, el cual realiza las operaciones de preparación del molde, selección de la materia prima, mezclado y desencofrado; por el contrario, los recursos del modelo simulado menos usados fueron los lechadores en los proceso de lechado y relechado.

En la Figura 4, se muestran los porcentajes de utilización de los recursos.

El recurso más usado, como se mencionó antes, corresponde al vaciador, con un porcentaje del 100%; los pulidores tienen un porcentaje de 30,64% cada uno y los lechadores tienen un porcentaje de 20,76% y 20,38%. Estos últimos corresponderían a los recursos subutilizados.

FIGURA 4. PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS



Fuente: *Software Promodel.*



Estos resultados indican que los pulidores y los lechadores no se utilizan eficientemente, por lo tanto es viable replantear esta situación para encontrar soluciones que impliquen mayor aprovechamiento de los recursos por parte de la compañía.

La Tabla 4 muestra los resultados de las variables del modelo.

Como puede observarse, la tabla anterior muestra el número de entidades que fueron procesadas en cada una de las locaciones. Así, la cantidad de bultos mezclados correspondería a 163, la cantidad de lavaderos vaciados, 155, y así sucesivamente hasta observar que la cantidad de lavaderos empacados fue de 146.

Como ya se había mencionado, la cantidad de bultos procesados no tiene en cuenta la proporción de bultos necesarios para la producción de cada lavadero; esto se debe a que el modelo de simulación está en función del tiempo de operación y no de las cantidades.

Validación estadística del modelo

Esta validación consiste en realizar comparaciones entre el sistema real y el sistema simulado; es decir, constatar si el modelo simulado sí es una abstracción del sistema productivo real.

La validación del modelo se realizará a través de las propiedades básicas de los intervalos de confianza, con la definición propuesta en el libro *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (Devore, 2008, p.255-257), mediante la construcción de intervalos de 95% de confianza para la media μ , de la siguiente manera:

$$\left(\bar{X} - 1.96 * \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}}, \bar{X} + 1.96 * \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}} \right)$$

Así, con la información suministrada previamente en el análisis estadístico se hallan la media y la desviación estándar para cada subprocesso, y se muestran a continuación, en la Tabla 5, junto con los resultados e intervalos de confianza obtenidos para el sistema real en minutos.

TABLA 4. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS VARIABLES

Modelo Tesis Cimbrados S.A..MOD (Normal Run - Avg. Reps)						
Name	Total Changes	Avg Time Per Change (MIN)	Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Avg Value
Cantidad de bultos mezclados	162,80	70,69	0,00	162,80	162,80	35,63
Cantidad de lavaderos vaciados	155,33	74,09	0,00	155,33	155,33	32,50
Cantidad de lavaderos desencofrados	148,70	77,40	0,00	148,70	148,70	29,73
Cantidad de lavaderos pulidos	147,83	77,84	0,00	147,83	147,83	29,40
Cantidad de lavaderos lechados	147,50	78,02	0,00	147,50	147,50	29,24
Cantidad de lavaderos repulidos	146,73	78,43	0,00	146,73	146,73	28,92
Cantidad de lavaderos empacados	146,00	78,80	0,00	146,00	146,00	28,66

Fuente: Software Promodel.

TABLA 5. INTERVALOS DE CONFIANZA DEL SISTEMA REAL

SISTEMA REAL				
Proceso	Media	Desviación estándar	Límite inferior	Límite superior
Preparación del molde	6,085	0,859	5,78	6,39
Selección MP	6,478	1,123	6,08	6,88
Mezclado	15,982	1,523	15,44	16,53
Vaciado	4,941	0,919	4,61	5,27
Desencofrado	4,128	0,627	3,90	4,35
Pulido	23,030	1,753	22,40	23,66
Lechado	12,017	0,847	11,71	12,32
Repulido	24,472	1,259	24,02	24,92
Relechado	19,544	2,985	18,48	20,61

Fuente: Autoría propia.

A continuación, en la Tabla 6, se muestran los intervalos de confianza del sistema simulado en minutos, obtenidos a partir de los resultados arrojados al correr las 30 réplicas en el programa Promodel, y a partir de la tabla anterior:

TABLA 6. INTERVALOS DE CONFIANZA DEL SISTEMA SIMULADO

SISTEMA SIMULADO				
Proceso	Media	Desviación estándar	Límite inferior	Límite superior
Mezclado	15,806	0,187	15,74	15,87
Vaciado	13,347	0,206	13,27	13,42
Desencofrado	16,279	0,261	16,19	16,37
Pulido	23,267	0,146	23,21	23,32
Lechado	12,667	0,254	12,58	12,76
Repulido	24,480	0,103	24,44	24,52
Relechado	20,335	0,354	20,21	20,46

Fuente: Autoría propia.



Para iniciar el análisis, debe considerarse que el almacenamiento de la materia prima es una localización con capacidad infinita dado su naturaleza, por este motivo se omite la comparación de esta locación en el sistema real y el sistema simulado. Además, es un proceso donde no se tuvieron en cuenta las proporciones de materia prima necesarias para la elaboración del producto final, sino simplemente los tiempos.

Continuando con el análisis, para saber si los procesos estuvieron bien simulados, debe observarse si los intervalos de confianza de las tablas anteriores se traslapan en algún punto.

En la Figura 5, se presenta el gráfico de traslape de los intervalos de confianza del sistema real SR y del sistema simulado SS.

Los procesos presentados en la gráfica anterior, los cuales se encuentran encerrados en una caja morada, son aquellos que están bien simulados con respecto a la situación real; es decir, mezclado, pulido, lechado, repulido y relechado. En el caso de lechado, existe un error estadístico pequeño equivalente al 2%; sin embargo, este proceso se considera bien simulado.

Aquellos procesos correspondientes a preparación del molde-vaciado y desencofrado no pre-

sentan traslape. Esto puede deberse a los supuestos asumidos en el modelo, donde se fusionaron dos procesos en una misma localización en términos de tiempo de operación. Además, estas actividades son un poco más complejas y requieren más estudio y mayor nivel de precisión; por esto se sugiere realizar un estudio más detallado.

Escenarios propuestos

A partir de los resultados arrojados por el modelo de simulación, se plantean cuatro escenarios con alternativas de mejora en el proceso productivo, en términos de optimización de recursos.

Escenario 1 → Dado que se observó un bajo porcentaje de utilización de algunos de los recursos en el modelo simulado, especialmente en los lechadores, se plantea un escenario con un lechador menos; asignándole los procesos de lechado y relechado al único lechador restante.

Los resultados obtenidos para este escenario propuesto, se muestran a continuación en las Tablas 7, 8 y 9.

FIGURA 5. TRASLAPE DE LOS INTERVALOS DE CONFIANZA



Fuente: Autoría propia.

TABLA 7. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS LOCACIONES DEL ESCENARIO 1 PROPUESTO

Modelo Tesis Cimbrados S.A. Escenario propuesto.MOD (Normal Run - Avg. Reprs)								
Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
Zona vaciado	192,00	9,00	154,70	249,68	3,35	9,00	8,73	37,25
Almacén de MP	192,00	999999,00	1000,00	11095,74	963,17	1000,00	835,70	0,10
Zona mezclado	192,00	10,00	164,30	271,79	3,88	10,00	9,60	38,76
Zona desencofrado	192,00	5,00	145,97	122,68	1,55	5,00	4,50	31,09
Zona pulido	192,00	1,00	141,47	31,88	0,39	1,00	1,00	39,14
Zona lechado	192,00	1,00	140,47	31,80	0,39	1,00	1,00	38,77
Zona repulido	192,00	1,00	139,47	24,71	0,30	1,00	0,70	29,91
Zona relechado	192,00	1,00	138,77	27,78	0,33	1,00	0,93	33,45

Fuente: Software Promodel.

TABLA 8. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS RECURSOS DEL ESCENARIO 1 PROPUESTO

Modelo Tesis Cimbrados S.A. Escenario propuesto.MOD (Normal Run - Avg. Reprs)					
Name	Units	Scheduled Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	% Utilization
Vaciador	1,00	192,00	1928,77	5,96	99,70
Pulidor.1	1,00	192,00	459,07	7,53	28,81
Pulidor.2	1,00	192,00	382,03	9,26	29,42
Pulidor	2,00	384,00	841,10	7,97	29,11
Lechador	1,00	192,00	278,30	16,10	38,88

Fuente: Software Promodel.

TABLA 9. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS VARIABLES DEL ESCENARIO 1 PROPUESTO

Modelo Tesis Cimbrados S.A. Escenario propuesto.MOD (Normal Run - Avg. Reprs)						
Name	Total Changes	Avg Time Per Change (MIN)	Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Avg Value
Cantidad de bultos mezclados	163,30	70,46	0,00	163,30	163,30	36,02
Cantidad de lavaderos vaciados	153,97	74,73	0,00	153,97	153,97	32,41
Cantidad de lavaderos desencofrados	145,53	79,05	0,00	145,53	145,53	29,18
Cantidad de lavaderos pulidos	140,80	81,73	0,00	140,80	140,80	27,76
Cantidad de lavaderos lechados	139,47	82,50	0,00	139,47	139,47	27,27
Cantidad de lavaderos repulidos	138,80	82,92	0,00	138,80	138,80	26,97
Cantidad de lavaderos empacados	137,83	83,48	0,00	137,83	137,83	26,63

Fuente: Software Promodel.



A través de los resultados arrojados por Promodel, puede observarse que el lechador obtuvo un porcentaje de utilización de 38,88%, mientras que el porcentaje del modelo simulado inicialmente era de 20,76% para el lechador uno y 20,38% para el lechador dos.

Este escenario representaría ahorro de costos para la compañía, ya que no necesitaría de dos lechadores y aumentaría la eficiencia y el grado de utilización del único lechador restante, así como disminuiría la cantidad de tiempo ocioso.

En cuanto a la cantidad de lavaderos empacados, se tiene un total de 138, cifra que no representa gran diferencia con respecto al modelo inicial simulado, el cual arrojó un total de 146.

De acuerdo con la simulación y con los resultados obtenidos, el presente escenario propuesto tiene

mejor comportamiento y representa más beneficios para la compañía que el modelo simulado de manera inicial, ya que hay un mayor aprovechamiento de los recursos y un porcentaje más alto de utilización y de eficiencia. Además, este escenario es altamente compatible con la realidad de la empresa, al considerarse que el producto lavadero se clasifica como un bien de consumo duradero.

Escenario 2→ Dado que el porcentaje de utilización del vaciador es del 100%, se propone aumentar el número de vaciadores a dos, con el objetivo de hacer el proceso más equilibrado en cuanto a los recursos y a su utilización.

En las Tablas 10, 11 y 12, se presentan los resultados obtenidos para este escenario planteado.

TABLA 10. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS LOCACIONES DEL ESCENARIO 2 PROPUESTO

Modelo Tesis Cimbrados S.A..MOD (Normal Run - Avg. Reps)								
Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
Zona vaciado	192,00	9,00	338,90	215,41	6,34	9,00	9,00	70,41
Almacén de MP	192,00	999999,00	1000,00	10017,48	869,57	1000,00	651,10	0,09
Zona mezclado	192,00	10,00	348,90	234,47	7,10	10,00	10,00	71,01
Zona desencofrado	192,00	5,00	329,90	121,75	3,49	5,00	5,00	69,73
Zona pulido	192,00	1,00	324,90	24,70	0,70	1,00	1,00	69,66
Zona lechado	192,00	1,00	323,90	23,52	0,66	1,00	0,93	66,13
Zona repulido	192,00	1,00	322,97	24,73	0,69	1,00	1,00	69,34
Zona relechado	192,00	1,00	321,97	20,39	0,57	1,00	0,80	56,99

Fuente: *Software Promodel.*

TABLA 11. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS RECURSOS DEL ESCENARIO 2 PROPUESTO

Modelo Tesis Cimbrados S.A. Escenario propuesto.MOD (Normal Run - Avg. Reps)					
Name	Units	Scheduled Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	% Utilization
Vaciador.1	1,00	192,00	1521,43	5,56	73,22
Vaciador.2	1,00	192,00	1513,87	5,81	76,16
Vaciador	2,00	384,00	3035,30	5,67	74,69
Pulidor.1	1,00	192,00	971,80	7,95	67,04
Pulidor.2	1,00	192,00	969,80	7,97	67,08
Pulidor	2,00	384,00	1941,60	7,96	67,06
Lechador.1	1,00	192,00	322,93	16,13	45,20
Lechador.2	1,00	192,00	322,93	16,13	45,21
Lechador	2,00	384,00	645,87	16,13	45,21

Fuente: *Software Promodel.*

TABLA 12. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS VARIABLES DEL ESCENARIO 2 PROPUESTO

Modelo Tesis Cimbrados S.A. Escenario propuesto.MOD (Normal Run - Avg. Reps)						
Name	Total Changes	Avg Time Per Change (MIN)	Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Avg Value
Cantidad de bultos mezclados	348,13	33,05	0,00	348,13	348,13	129,75
Cantidad de lavaderos vaciados	338,43	34,00	0,00	338,43	338,43	122,96
Cantidad de lavaderos desencofrados	329,80	34,90	0,00	329,80	329,80	116,84
Cantidad de lavaderos pulidos	323,97	35,52	0,00	323,97	323,97	112,85
Cantidad de lavaderos lechados	323,40	35,58	0,00	323,40	323,40	112,47
Cantidad de lavaderos repulidos	322,00	35,74	0,00	322,00	322,00	111,46
Cantidad de lavaderos empacados	321,17	35,83	0,00	321,17	321,17	110,88

Fuente: *Software Promodel.*

Con los resultados obtenidos, puede verse un gran aprovechamiento y utilización de los recursos y las locaciones, lo cual se refleja en valores mucho mayores que los del modelo inicial, y de los que evidencia el escenario 1 propuesto anteriormente. Dichos porcentajes, para este caso, alcanzan valores de hasta 76,69%, y el valor más bajo que se presenta es de 45,20%. Estos valores, comparados con los resultados que se han obtenido con anterioridad, representan porcentajes muy buenos. Tanto los pulidores como los lechadores aumentaron su porcentaje de utilización

considerablemente, pero aún así, los vaciadores siguen siendo los recursos más bien utilizados.

Según los resultados, este escenario representaría mayores niveles de eficiencia y rentabilidad para la compañía, como pudo observarse en los porcentajes de utilización de las locaciones y de los recursos; pero, es importante considerar que este escenario sería para satisfacer demandas grandes de lavaderos por parte de la compañía; es decir, en términos de aprovechamiento de la capacidad, de máxima utilización y de mejores



índices de eficiencia, sería una excelente opción, dado que contaría con un proceso productivo altamente óptimo y eficiente; pero, es necesario analizar si sí valdría la pena aumentar este recurso y sería una decisión que depende directamente de la demanda del mercado y de la planeación de la producción de la empresa Cimbrados S.A., ya que implicaría el costo de un trabajador adicional. Por lo tanto, esta propuesta sería para suplir altos valores de demanda del producto específico *lavadero*, considerando que se aumentarían los costos del recurso añadido, pero que se verían justificados en términos de producción y ventas

al poseer un mayor aprovechamiento de los recursos y del tiempo.

Escenario 3 → Teniendo en cuenta los porcentajes de utilización, se plantea la opción de disminuir en una unidad los recursos de pulidores y lechadores; esto resunta en un escenario que consta de un vaciador, un pulidor y un lechador.

En las Tablas 13, 14 y 15, mostradas a continuación, podrán observarse los resultados del presente escenario.

TABLA 13. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS LOCACIONES DEL ESCENARIO 3 PROPUESTO

Modelo Tesis Cimbrados S.A..MOD (Normal Run - Avg. Repts)								
Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
Zona vaciado	192,00	9,00	109,73	384,13	3,66	9,00	9,00	40,66
Almacén de MP	192,00	999999,00	1000,00	11187,92	971,17	1000,00	880,30	0,10
Zona mezclado	192,00	10,00	119,70	401,97	4,18	10,00	9,97	41,77
Zona desencofrado	192,00	5,00	100,73	225,31	1,97	5,00	5,00	39,40
Zona pulido	192,00	1,00	95,73	23,22	0,19	1,00	0,43	19,30
Zona lechado	192,00	1,00	95,30	47,28	0,39	1,00	1,00	39,11
Zona repulido	192,00	1,00	94,30	24,44	0,20	1,00	0,57	20,01
Zona relechado	192,00	1,00	93,73	20,42	0,17	1,00	0,37	16,62

Fuente: Software Promodel.

TABLA 14. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS RECURSOS DEL ESCENARIO 3 PROPUESTO

Modelo Tesis Cimbrados S.A. Escenario propuesto.MOD (Normal Run - Avg. Repts)					
Name	Units	Scheduled Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	% Utilization
Vaciador	1,00	192,00	1660,07	6,09	87,80
Pulidor	1,00	192,00	569,10	7,96	39,31
Lechador	1,00	192,00	189,00	16,12	26,45

Fuente: Software Promodel.

TABLA 15. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS VARIABLES DEL ESCENARIO 3 PROPUESTO

Modelo Tesis Cimbrados S.A. Escenario propuesto.MOD (Normal Run - Avg. Reps)						
Name	Total Changes	Avg Time Per Change (MIN)	Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Avg Value
Cantidad de bultos mezclados	119,07	96,55	0,00	119,07	119,07	28,37
Cantidad de lavaderos vaciados	109,47	105,05	0,00	109,47	109,47	24,44
Cantidad de lavaderos desencofrados	100,70	114,20	0,00	100,70	100,70	20,88
Cantidad de lavaderos pulidos	95,30	120,66	0,00	95,30	95,30	18,83
Cantidad de lavaderos lechados	94,90	121,11	0,00	94,90	94,90	18,72
Cantidad de lavaderos repulidos	93,73	122,66	0,00	93,73	93,73	18,24
Cantidad de lavaderos empacados	93,37	123,17	0,00	93,37	93,37	18,07

Fuente: *Software Promodel.*

A partir de los resultados puede concluirse que este escenario no es la mejor opción, ya que los porcentajes de utilización de las locaciones siguen siendo bajos, y los recursos de pulidor y lechador están siendo subutilizados.

Además, la cantidad de lavaderos empacados es de 93, mientras que la del modelo inicial fue de 146, lo que resulta en una gran diferencia que no se ve justificada en términos de optimización, eficiencia y aprovechamiento.

Si se habla de costos, lo que muestra esta información representaría un ahorro para la empresa, ya que serían dos trabajadores menos, pero sería un sistema productivo muy pobre, poco eficiente y mal utilizado, como pudo verse en la tabla de

los resultados obtenidos de las locaciones y de los recursos del presente escenario, así como se visualizará en el análisis financiero presentado más adelante.

Escenario 4→ Teniendo en cuenta los recursos con los que cuenta el sistema real y sus respectivos porcentajes de utilización, se plantea la opción de trasladar un lechador a la operación del vaciador, lo que derivaría en un escenario compuesto por dos vaciadores, dos pulidores y dos lechadores.

Esto, con el fin de optimizar los recursos e incrementar el promedio de ocupación de los mismos.

En las Tablas 16, 17 y 18, presentadas a continuación, se muestran los resultados del actual escenario.



TABLA 16. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS LOCACIONES DEL ESCENARIO 4 PROPUESTO

Modelo Tesis Cimbrados S.A..MOD (Normal Run - Avg. Reps)								
Name	Schedule Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
Zona vaciado	192,00	9,00	263,77	276,83	6,34	9,00	9,00	70,42
Almacén de MP	192,00	999999,00	1000,00	10317,07	895,58	1000,00	726,23	0,09
Zona mezclado	192,00	10,00	273,77	299,09	7,11	10,00	10,00	71,07
Zona desencofrado	192,00	5,00	254,77	157,79	3,49	5,00	5,00	69,79
Zona pulido	192,00	1,00	249,77	32,13	0,70	1,00	1,00	69,66
Zona lechado	192,00	1,00	248,77	32,06	0,69	1,00	1,00	69,22
Zona repulido	192,00	1,00	247,77	24,72	0,53	1,00	0,90	53,16
Zona rechazado	192,00	1,00	246,87	27,97	0,60	1,00	0,93	59,94

Fuente: *Software Promodel.*

TABLA 17. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS RECURSOS DEL ESCENARIO 4 PROPUESTO

Modelo Tesis Cimbrados S.A..MOD (Normal Run - Avg. Reps)					
Name	Units	Scheduled Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	% Utilization
Vaciador.1	1,00	192,00	1293,23	5,75	64,48
Vaciador.2	1,00	192,00	1291,27	5,77	64,57
Vaciador	2,00	384,00	2584,50	5,75	64,52
Pulidor.1	1,00	192,00	799,87	7,74	51,12
Pulidor.2	1,00	192,00	690,83	9,09	51,92
Pulidor	2,00	384,00	1490,70	7,96	51,52
Lechador	1,00	192,00	494,70	16,14	69,32

Fuente: *Software Promodel.*

TABLA 18. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS VARIABLES DEL ESCENARIO 4 PROPUESTO

Modelo Tesis Cimbrados S.A..MOD (Normal Run - Avg. Reps)						
Name	Total Changes	Avg Time Per Change (MIN)	Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Avg Value
Cantidad de bultos mezclados	273,07	42,13	0,00	273,07	273,07	103,87
Cantidad de lavaderos vaciados	263,33	43,69	0,00	263,33	263,33	97,03
Cantidad de lavaderos desencofrados	254,67	45,18	0,00	254,67	254,67	90,86
Cantidad de lavaderos pulidos	248,93	46,21	0,00	248,93	248,93	86,98
Cantidad de lavaderos lechados	247,77	46,44	0,00	247,77	247,77	86,10
Cantidad de lavaderos repulidos	246,87	46,59	0,00	246,87	246,87	85,57
Cantidad de lavaderos empacados	245,93	46,76	0,00	245,93	245,93	84,97

Fuente: *Software Promodel.*

Con los resultados obtenidos, puede verse que los porcentajes de utilización de los recursos aumentaron sin necesidad de incurrir en costos extras, lo que produce una utilidad mayor con relación a la que se está generando en el sistema de producción actual; es decir, con el mismo número de recursos se logró una reestructuración en busca de eliminar el cuello de botella, que consigue que el proceso productivo sea más ágil y eficiente.

En cuanto al total de lavaderos empacados, para la presente propuesta, la cifra fue de 246, número mucho mayor al del sistema real, que fue de 146, considerando que los recursos fueron exactamente los mismos con la única diferencia de que se movió un lechador a la zona de vaciado.

Por otro lado, el uso de la mano de obra quedó con valores más proporcionales para cada uno de los recursos.

Para finalizar el estudio de los escenarios propuestos, se presenta a continuación, en las Tablas 19 y 20, los porcentajes de utilización de los recursos y un análisis del impacto financiero de las cuatro alternativas planteadas respecto al sistema real. Los datos utilizados fueron proporcionados por la empresa Cimbrados S.A. y corresponden al año 2013.

TABLA 19. COMPARACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE UTILIZACIÓN

% UTILIZACIÓN					
RECURSO	SISTEMA REAL	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
Vaciador	100,00%	99,70%	74,69%	87,80%	64,52%
Pulidor	30,64%	29,11%	67,06%	39,31%	51,52%
Lechador	20,57%	38,88%	45,21%	26,45%	69,32%

Fuente: Autoría propia.

TABLA 20. ANÁLISIS DE IMPACTO FINANCIERO

	SISTEMA REAL	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
P. vta unit	\$ 74.900	\$ 74.900	\$ 74.900	\$ 74.900	\$ 74.900
Q lavaderos	146	138	321	93	246
Ventas \$	\$ 10.935.400	\$ 10.336.200	\$ 24.042.900	\$ 6.965.700	\$ 18.425.400
Costo unit MP	\$ 15.709	\$ 15.709	\$ 15.709	\$ 15.709	\$ 15.709
Costo MP	\$ 2.293.514	\$ 2.167.842	\$ 5.042.589	\$ 1.460.937	\$ 3.864.414
Q trabajadores	5	4	6	3	5
Costo MOD	\$ 2.355.136	\$ 2.290.400	\$ 4.343.173	\$ 1.788.994	\$ 3.502.682
CIF	\$ 1.043.973	\$ 986.769	\$ 2.295.311	\$ 664.997	\$ 1.759.023
Desperdicio	\$ 160.546	\$ 151.749	\$ 352.981	\$ 102.266	\$ 270.509
Costo \$	\$ 5.694.516	\$ 5.447.194	\$ 11.676.622	\$ 3.918.742	\$ 9.124.387
Utilidad bruta	\$ 5.240.884	\$ 4.889.006	\$ 12.366.278	\$ 3.046.958	\$ 9.301.013

Fuente: Autoría propia.



En las tablas anteriores pueden verse los porcentajes de utilización correspondientes al vaciador, pulidor y lechador, así como la cantidad de lavaderos empacados para cada una de las alternativas. Todo esto acompañado de un análisis financiero, el cual incluye las ventas de los diferentes escenarios en relación con los costos de la materia prima, la mano de obra directa, los costos indirectos de fabricación y los desperdicios.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos, puede observarse que la alternativa correspondiente al escenario 2 presenta buenos resultados en términos de productividad, ya que al aumentar una persona logra incrementarse la producción en un 54,52%. Pero esto no es suficiente, ya que debe considerarse la demanda real de la compañía debido a que esta propuesta implica una persona más en la línea de producción, y por ende, un costo extra. Además, el objetivo no es producir una gran cantidad de lavaderos sino satisfacer la demanda de la manera más óptima posible; de esta forma, el escenario 4 promete ser una excelente opción dado que una reestructuración de los operadores incrementa en un 40,65% la producción de lavaderos sin necesidad de incurrir en costos adicionales.

En términos de rentabilidad, se calcularon los márgenes brutos de cada escenario obteniendo los siguientes resultados.

TABLA 21. INDICADOR DE RENTABILIDAD

	SISTEMA REAL	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
Margen Bruto	47,93%	47,30%	51,43%	43,74%	50,48%

Fuente: Autoría propia.

Como ya se mencionó, los mejores escenarios corresponden al 2 y 4 respectivamente. En relación con el escenario 3, se tiene una propuesta pobre en recursos y por ende en producción, además los recursos continúan siendo bastante subutilizados dado a sus bajos porcentajes de uso.

En cuanto al escenario 1, éste no presenta gran diferencia respecto al sistema real, aún cuando se disminuyó un recurso lechador; es decir, el aho-

rrero en el costo que representa dicho recurso para la línea de producción de lavaderos no se ve muy reflejado dado que el porcentaje de utilización de los lechadores corresponde a un 20,57% para el sistema actual de la compañía.

Para concluir, cada una de las cuatro propuestas puede representar beneficios para la empresa Cimbrados S.A., todo depende de factores como la demanda del mercado, las fechas de entrega de los pedidos, la prioridad del lavadero respecto a los demás productos y la necesidad de los operadores para ejercer otras tareas, ya sea en obras o en otras líneas de la compañía.

Conclusiones y recomendaciones

A partir de los resultados arrojados por el modelo inicialmente simulado, pudieron plantearse tres escenarios mediante la modificación de los recursos de la simulación, y gracias al análisis de los mismos, se logró elegir la alternativa más óptima y eficiente para el proceso productivo de lavaderos, considerando la demanda real del mercado y la planeación de la producción de la compañía; dicha alternativa pertenece al escenario número 1, el cual plantea la disminución en una unidad del recurso correspondiente a lechador, logrando así un aumento significativo en el porcentaje de utilización del recurso, el cual inicialmente era de 20,57% y una vez simulada la propuesta queda en 38,88%. Además, la variable "cantidad de lavaderos empacados" presenta una diferencia de tan solo 9 lavaderos con respecto al modelo inicial, lo cual resulta más eficiente en términos de costos, al prescindir de un recurso de mano de obra.

El modelo inicialmente construido sirvió como experimentación y como medio para plantear otros escenarios, los cuales, a partir de los resultados arrojados por el *software*, pudieron ser interpretados y presentados como posible aplicación al proceso productivo real; dichos resultados varían dependiendo de la demanda y de la pro-

gramación de la producción de la empresa, y es por esto que en caso de que la demanda presente un pico grande, Cimbrados S.A. podría aprovechar los beneficios del escenario número 2 propuesto, el cual aumenta un recurso perteneciente a vaciador y logra así aumentar los porcentajes de utilización de las locaciones y de los recursos, y la producción de lavaderos empacados para un total de 321 unidades.

La simulación puede constituir una excelente opción en aquellas situaciones donde resulta costosa la experimentación real, ya que permite tener una representación ficticia de la realidad y posibilita la observación de los diferentes comportamientos del sistema así como pudo verse en el desarrollo del presente trabajo investigativo, donde gracias a esta poderosa herramienta se lograron analizar las condiciones del proceso productivo y plantear alternativas de mejora en términos de eficiencia y rentabilidad para la empresa Cimbrados S.A. a través de la optimización de recursos y de tiempos.

Al comparar los tres escenarios planteados, en términos de resultados generales y de porcentaje de utilización de las locaciones y de los recursos, el escenario número dos es la mejor opción y el que más beneficios representaría para la compañía en materia de optimización del proceso, sin embargo, habría que considerar la demanda y otros factores internos por parte de la empresa.

Los resultados arrojados por el modelo inicial de la simulación, muestran que hay un bajo porcentaje de utilización de los recursos en los pulidores y los lechadores, lo cual incide en los índices de eficiencia y rentabilidad de la empresa Cimbrados S.A.; para solucionar este problema, es necesario plantear modificaciones en las condiciones del sistema productivo con el objetivo de aprovechar al máximo los recursos de mano de obra y lograr mayores índices de eficiencia a pesar de ser un proceso altamente artesanal.

Referencias

- Aguirre, J., Ocampo, A. y Espinel, J. (1997). Simulación, diseño y operación de una planta de producción de carbón activado. *Revista Dyna*, 64(123), 51-61.
- Aksayrali, M. y Altuntas, S. (2009). The Comparison of Layout Arrangements for the Material Flow Ordering Planning in Production Systems through Simulation Analysis. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 15(2), 203-214.
- Aldred, K. (1998). Simulation Software Helps Laser Manufacturer Boost. *IIE Solutions Journal*, 30(4), 52-53.
- Álvarez, R. (2007). *Estadística aplicada a las ciencias de la salud*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A.
- Berenson, M. y Levine, D. (1996). *Estadística básica en administración: Conceptos y aplicaciones*. (6ª ed.). México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Box, G., Hunter, J. y Hunter, W. (2008). *Estadística para investigadores: diseño, innovación y descubrimiento*. (2ª ed.). Barcelona: Editorial Reverté.
- Castro, H. y Parra, C. (2006). Simulación de un sistema de producción push por eventos discretos: Caso de producción de medicamentos. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(7), 84-91.
- Cervera, J. (2001). *La transición a las nuevas ISO 9000:2000 y su implantación*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A.
- De la Cruz, J. (2004). Optimización basada en simulación y algunas de sus aplicaciones en logística. *Revista Prospectiva: Una nueva visión para la ingeniería*, 2(2), 115-122.
- Devore, J. (2008). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. (7ª ed.). México D.F.: Cengage Learning Editores S.A.
- Díaz, J. y Pérez, D. (2012). Optimización de los niveles de inventario en una cadena de suministro. *Revista Ingeniería Industrial*, 33(2), p.126-132.



- Dirección Servicios Técnicos SERELAND S.A. (1983). Optimización de los sistemas de almacenamiento: Innovaciones en los silos de cemento. *Revista Ingeniería Química*, 15(176), 123-127.
- Dunna, E., Reyes, H. y Barron, L. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con Promodel*. Monterrey: Pearson.
- Gómez, M. (2011). *Propuesta de apoyo al área de optimización de ingeniería industrial: Vinculación currículo con investigación*. (Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial). Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
- Jervis, G (2005). *La depresión: Dos enfoques complementarios*. Madrid: Editorial Fundamentos.
- Marques, M. (s.f.). *Estadística básica: Un enfoque no paramétrico*. México: Universidad Nacional Autónoma de México- Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Pie, M. y Suárez, L. (2006). Modelación y simulación del proceso discontinuo a vacío, para la optimización y control automático de fabricación de masas cocidas de primera. *Revista cubana de química*, 18(1), 140-140.
- Puga, C. y Tirado, R. (1992). *Los empresarios mexicanos, ayer y hoy*. México D.F.: Ediciones el caballito S.A.
- Rivero, L. y Piedrahita, I. (2003). *Simulación con Promodel: casos de producción y logística*. (2ª ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Vásquez, A. (2000). *Manejo de cuencas altoandinas*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Uriarte, A., Ricondo, I., Goti, A. y Bogataj, K. (2012). Simulación y optimización de los recursos de servicios de asistencia técnica (SAT). *Revista Dyna*, 87(2), 160-168.

