

## RESUMEN

La simulación de eventos discretos es una técnica que permite crear modelos, apoyándose en equipos y programas informáticos, que posteriormente servirán para analizar el comportamiento de un sistema en diferentes circunstancias, analizando los posibles cambios y sus consecuencias. Desafortunadamente, aún son muchos los sectores industriales que no se aprovechan de las ventajas que esta tecnología ofrece para la toma de decisiones, el ahorro de costes o la optimización de procesos industriales. Este artículo pretende dar una visión global de la misma, las facetas de la manufactura donde tiene aplicación y los beneficios que esta tecnología puede revertir a la industria. Finalmente se muestra el caso de una PYME del sector del mueble que ha empleado la simulación de eventos discretos como herramienta para el diseño de un nuevo proceso productivo basado en el flujo unitario.

**Palabras clave:** Simulación, procesos industriales, QUEST.

Recibido: 31/01/08

Aceptado: 10/03/08

José Villanueva Castrillón  
Ingeniero Industrial  
Fundación Prointec



## ABSTRACT

*The simulation of discrete events is a procedure that allows us to create models, employing software, which will then be used to analyse system behaviour under different circumstances, analysing all the changes possible and their consequences. Unfortunately, there are still many industrial areas that do not make use of the advantages that this technology offers in decision-making, cutting down costs and optimising industrial processes. This article intends to give an overview of simulation, the manufacturing facets where it can be applied and the benefits that this technology can report. Finally, presented as an example is the case of a small and medium-sized enterprise in the furniture industry that uses simula-*

*tion as a design tool for a new production process based on one-piece flow.*

**Keywords:** Simulation, industrial process, QUEST.

## 1.- INTRODUCCIÓN

En el libro "The Handbook of Simulation" de Jerry Banks, se define la simulación como:

"La imitación de las operaciones de un proceso real. La simulación comprende la creación de un escenario artificial y el análisis del mismo para detectar los problemas que presenta el sistema operacional representado. Simulación es una herramienta indispensable para resolver muchos de los problemas que se pre-

sentan en la realidad. La simulación es empleada para representar y analizar distintas alternativas de un sistema productivo y finalmente ayudarnos a decidir cual es la mejor de las distintas alternativas." (Banks, 1998).

La simulación se empezó a usar de manera sistemática por grandes compañías para crear modelos, con el fin de analizar y optimizar complejos procesos productivos, entre estas empresas figuran Boeing, Lockheed-Martin, Daimler-Chrysler y Toyota.

La simulación se aplica a un amplio abanico de problemas y sectores, destacando el diseño de industrias de fabricación o modificación de plantas/líneas de producción. En el sector logístico, para el diseño de flujos de transporte de personas o materiales, optimización de plataformas, playas o terminales. Además de estos sectores, la simulación también tiene aplicación en escenarios tales como hospitales, desarrollos urbanísticos, policía, sector bancario, etc. En los próximos epígrafes se tratará la aplicación de la simulación en el caso de procesos industriales.

## 2.- APLICACIONES DE LA SIMULACIÓN EN PROCESOS INDUSTRIALES

La simulación de procesos industriales se usa para desarrollar y validar el diseño de las plantas industriales de manufactura en su conjunto, permitiendo comparar varios escenarios diferentes de tal manera que se pueda predecir el comportamiento de cada uno de ellos.

Con la ayuda de las herramientas de simulación se podrá optimizar el *lay-out*, los flujos de material, almacenes, supermercados, empleo de recursos, logística,... además de des-

cubrir los problemas del diseño de la planta, las operaciones y fuentes de improproductividades que no aportan valor al producto final (desplazamientos, transportes, inventarios, ...), todo ello antes de iniciar la producción.

A continuación se exponen las aplicaciones más importantes de la simulación de eventos discretos:

### DISEÑO DE LAY-OUT <sup>(1)</sup>

La simulación de procesos nos permitirá verificar desde el punto de vista de la fabricación un *lay-out*, midiendo productividades, unidades fabricadas, tiempo empleado en transportes de material que se realizan dentro de una planta, .... También nos permitirá organizar correctamente células de fabricación en U, disponiendo de la mejor ubicación posible de máquinas y operarios.

### OPTIMIZACIÓN DEL FLUJO DE MATERIAL

El flujo de materiales dentro de una fábrica está íntimamente ligado con el *lay-out*, y la consecuencia de éste con el propio proceso productivo.

### BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que presentan muchas de las líneas de producción son las diferencias de tiempo de ciclo entre unas máquinas y otras y la dificultad de planificar las horas de funcionamiento de éstas. Con la simulación se consigue detectar con claridad los cuellos de botella y tener una perspectiva dinámica del balanceo de la línea de producción, permitiendo analizar el material en proceso, el empleo de recursos y la saturación de los *buffer* intermedios.

### OPTIMIZAR NIVEL DE ALMACENES

Ligado al apartado anterior, balanceo de líneas de producción, tenemos la optimización del nivel de almacenes intermedios, que serán los que regulen las diferencias de tiempo de ciclo de unos procesos y otros.

Además de los almacenes intermedios, también podremos calcular los requisitos de materiales para una determinada capacidad de fabricación.

## 3.- PRINCIPALES VENTAJAS E INCONVENIENTES

### VENTAJAS

La principal ventaja de la simulación de procesos industriales, es que se trata de una herramienta que bien empleada es muy fiable para la toma de decisiones. Estas decisiones generalmente vienen marcadas por cambios muy importantes en el sistema productivo, que llevan a su vez ligadas importantes inversiones económicas. Además de este "banco de pruebas" que nos permite reducir el riesgo en la toma de decisiones, existen otras ventajas:

- Ayuda a mejorar los procesos y los resultados: decidir correctamente, diagnosticar problemas, estudiar fácilmente diferentes posibilidades, visualizaciones 3D, formación de equipos de trabajo, predecir nuevas situaciones ante cambios, asegurar inversiones...

- Permite la búsqueda del proceso óptimo: equilibrado de líneas, estudio de almacenes (necesidades, dimensionamiento de espacios, ...), reparto de cargas de trabajo, identificación de cuellos de botella, dimensionamiento de cintas transportadoras, ...

Planificación y gestión apoyadas en modelos predictivos.

### PRINCIPALES OBSTÁCULOS

A pesar de que la aplicación de la simulación aporta una importante ventaja competitiva a las empresas que la emplean, también presenta ciertos problemas o dificultades:

- Las simulaciones pueden ser costosas tanto en tiempo como en dinero.

La simulación se aplica a un amplio abanico de problemas y sectores, destacando el diseño de industrias de fabricación o modificación de plantas/líneas de producción

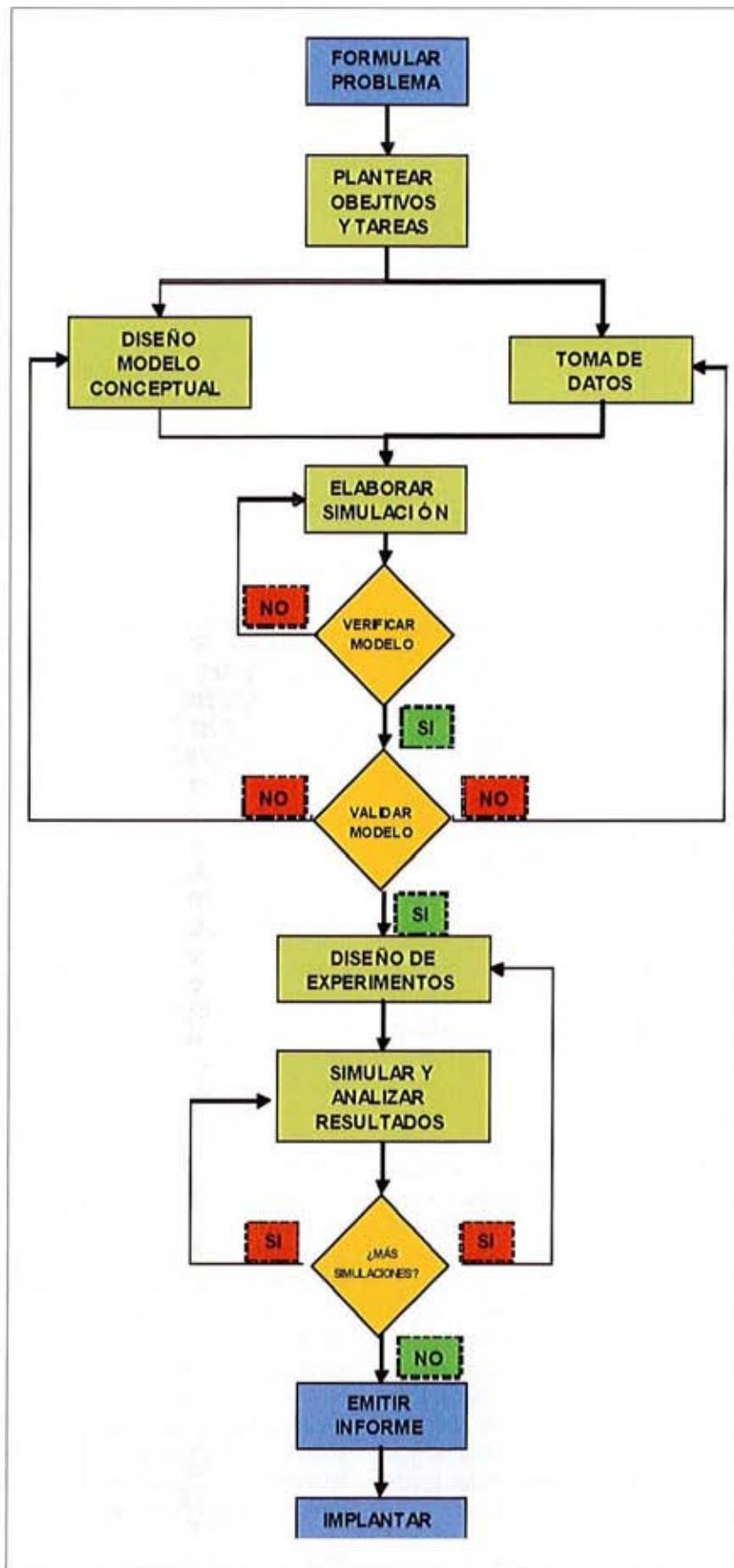


Figura 1. Etapas de un proyecto de simulación

- La adquisición de los datos, en ocasiones pueden requerir más tiempo del planificado, debido principalmente a que un gran número de empresas no tiene controlados los tiempos de ciclo, de cambio y otros datos de sus procesos productivos
- Las simulaciones pueden ser usadas inadecuadamente

#### 4.- ETAPAS DE UN PROYECTO DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

En la actualidad existen diferentes modelos para representar los pasos de un proceso de simulación, entre los más conocidos se encuentran los pertenecientes a autores como Pegden, Shannon y Sadowski (1995), Law y Kelton (1991) y finalmente el modelo de Banks, Carson y Nelson (1996). En la figura 1 se exponen las etapas de un proyecto de simulación propuestas por estos últimos autores.

##### ETAPA 1. Formulación del problema

Cada simulación empieza con el enunciado del problema. Si el enunciado del problema es dado por un cliente, el analista de la situación debe asegurarse de que entiende perfectamente el problema. Si el enunciado del problema es realizado por el analista, es importante que el cliente lo comprenda y esté de acuerdo con el planteamiento inicial. Se sugiere que el analista prepare una lista de supuestos y que el cliente esté de acuerdo con la lista. Incluso con todas estas precauciones, es posible que el enunciado del problema tenga que ser formulado nuevamente a medida que el proceso de simulación progresa.

##### ETAPA 2. Planteamiento de objetivos y planificación de tareas para alcanzarlos

Los objetivos indican las cuestiones que debe responder el estudio de simulación. La planificación del proyecto debe incluir los distintos escenarios que se deben estudiar. Las distintas etapas del estudio deben indicar el tiempo y el personal requerido, además del hardware y el softwa-

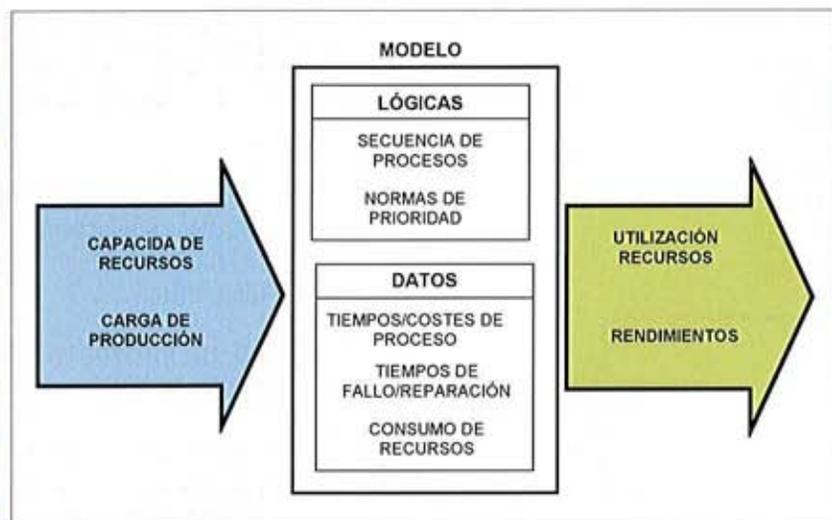


Figura 2. Principales parámetros necesarios y resultantes de una simulación

re que podría requerir el cliente en el caso de que quisiese simular personalmente el modelo una vez realizado. Por último, el proyecto debe indicar el coste del mismo y los procedimientos de pago.

#### ETAPA 3. Diseño del modelo conceptual

El sistema real que se deba investigar tiene que ser abstraído a un modelo conceptual, una serie de relaciones matemáticas y lógicas correspondientes a la estructura y los componentes del sistema. Se recomienda comenzar por un modelo simplificado e ir desarrollándolo hasta completarlo, teniendo siempre cuidado de no hacerlo más complejo de lo realmente necesario, pues esa complejidad extra añadirá un mayor coste y mayor tiempo, pero innecesaria para conseguir los mismos resultados. Por último, en esta etapa se recomienda implicar al cliente lo más posible pues con ello se conseguirá aumentar la calidad de los resultados finales además de la confianza del cliente en el modelo.

#### ETAPA 4. Toma de datos

Poco después de que la propuesta sea 'aceptada', una lista de datos debe ser presentada al cliente. En el mejor de los casos, el cliente tendrá recogidos estos datos y se podrán in-

troducir fácilmente en el modelo (figura 2). A menudo, el cliente no posee estos datos o los datos que si posee no son los requeridos. En estos casos, será necesario recoger los datos empleando las herramientas y manuales oportunos en cada caso. Principalmente serán herramientas de toma y estudio de tiempos, como cronometrajes, *MTM*, ....

Esta etapa se puede hacer en paralelo con la etapa anterior. Esto nos indica que el analista de simulación puede construir el modelo mientras se hace el proceso de toma de datos.

#### ETAPA 5. Elaboración de la simulación

Simplemente el modelo elaborado en la tercera etapa y los datos recogidos en la cuarta se deben volcar al software de simulación.

#### ETAPA 6. Verificar el modelo

Esta etapa consiste simplemente en una revisión del modelo y de los datos introducidos en el mismo. Esta revisión es muy importante pues determinados datos mal introducidos pueden cambiar totalmente los resultados obtenidos.

#### ETAPA 7. Validar el modelo

La validación consiste en determinar que el modelo conceptual se

ajusta a la realidad. La pregunta a realizarse es ¿puede el modelo conceptual sustituir al modelo real para los propósitos del proyecto? En el caso de tener un sistema real físico, se podría comparar resultados de la simulación con el valor real.

#### ETAPA 8. Diseñar los experimentos

Para cada escenario que se simula, será necesario determinar la duración de la simulación, el número de simulaciones y definir los parámetros que se han de analizar, pues un programa de simulación aporta mucha información, por tanto, es completamente necesario filtrar la misma, quedándose sólo con lo necesario.

#### ETAPA 9. Realizar la simulación y analizar los datos

Una vez completados los pasos anteriores es el momento de simular el modelo creado para obtener los datos. Con los datos extraídos se obtendrán las conclusiones necesarias para alcanzar los objetivos del proyecto.

#### ETAPA 10. ¿Volver a hacer más simulaciones?

Una vez realizadas las simulaciones si los datos extraídos son coherentes y suficientes para alcanzar los objetivos no será necesario volver a realizar más simulaciones, en caso contrario se deberá volver a simular para obtener otros datos, o bien, volver a diseñar otro experimento.

#### ETAPA 11. Informes y documentación

La documentación es importante por varias razones. Los resultados de las distintas simulaciones deben ser entregados de forma clara y concisa al cliente. Así, el cliente podrá analizar el planteamiento del problema, los datos de partida, los distintos escenarios planteados, y finalmente los resultados obtenidos de cada uno de ellos, además, podrá comparar las diferentes alternativas y finalmente las recomendaciones del analista.

#### ETAPA 12. Implementación

Con la documentación generada se tendrá la herramienta que nos ayu-

	MAYO					JUNIO				JULIO	
	S 18	S 19	S 20	S 21	S 22	S 23	S 24	S 25	S 26	S 27	S 28
Estudio proceso actual de fabricación											
Diseño y análisis nuevo proceso productivo integrado en nave actual											
Comparación diferentes posibilidades											

Figura 3. Planning proyecto

dará a tomar una decisión u otra, o simplemente será la base para implementar físicamente el escenario planteado mediante simulación.

**5.- CASO PRÁCTICO**

A continuación se expone el caso práctico de un proyecto de simulación de una empresa manufacturera de sofás cuya gestión se ha hecho bajo la norma española de gestión de proyectos de I+D UNE 166002 y apoyándose en la utilización de la herramienta informática IDINET®. A la vez que se explica el proyecto, se irán mostrando paralelamente la correlación con las etapas del proceso de si-

mulación vistas anteriormente.

El proyecto nace con la necesidad de rediseñar un sistema productivo para la fabricación de sofás, pasando de una fabricación en lotes a una fabricación en lote unitario en cadena de producción. A posteriori se partía de una nave industrial de difícil geometría pues contaba con vertientes y alturas diferentes y de la maquinaria necesaria para la fabricación del producto final (Etapa 1).

El objetivo del proyecto se resume en (Etapa 2):

- Diseño, análisis y comparación de diferentes *lay-out* para nuevo proceso productivo con formato de cadena de producción desde el punto

de vista económico, de la producción y de la implantación del mismo.

Para el cumplimiento de este objetivo se han definido varios hitos cuya planificación se puede ver en la figura 3. Se han marcado 3 hitos, el primero de ellos que requiere la presencia del analista en planta y a su finalización se habrá cumplido con la etapa 4 del proceso de simulación, el segundo, que engloba el resto de etapas del proceso de simulación con excepción de la etapa 11 y 12, para las que se reserva un hito final.

Una vez definidos los objetivos y fases del proyecto se ha proseguido con la elaboración de un modelo conceptual (Etapa 3) de la fabricación de

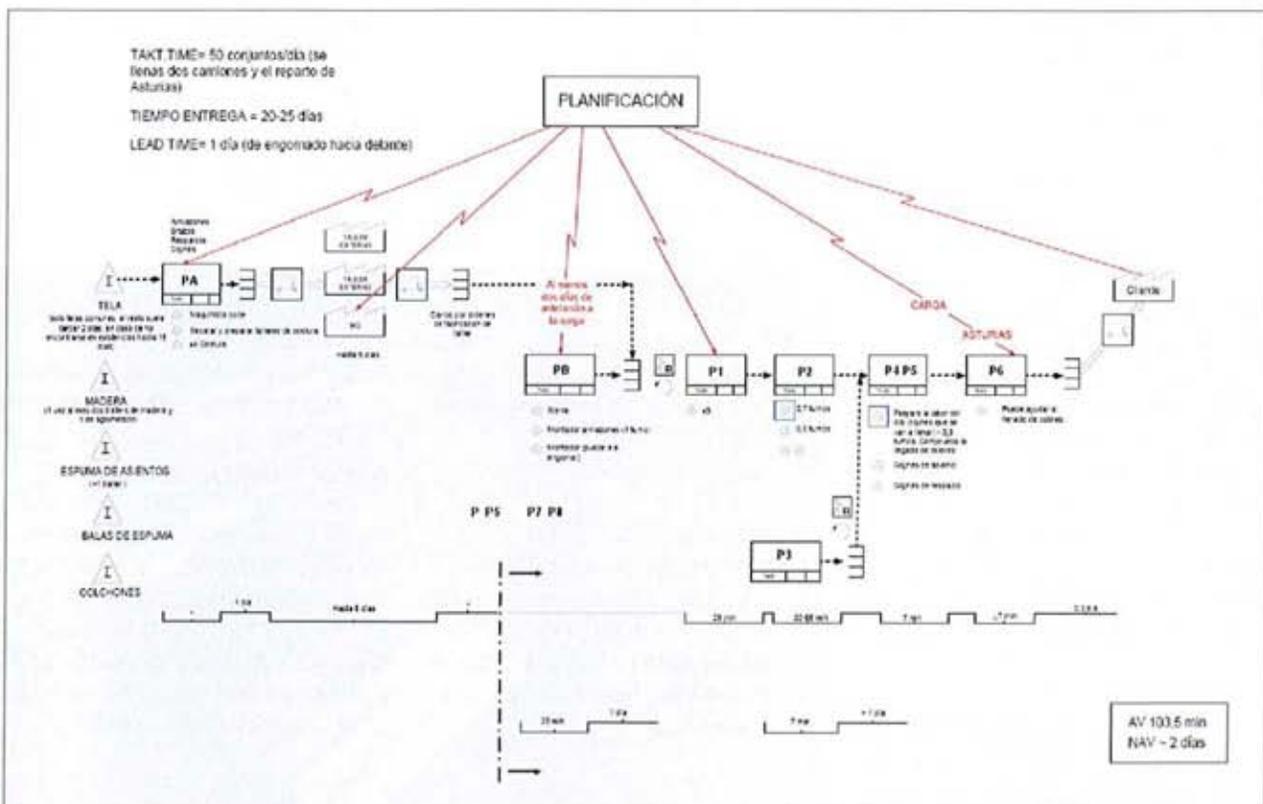


Figura 4. VSM proceso actual de fabricación

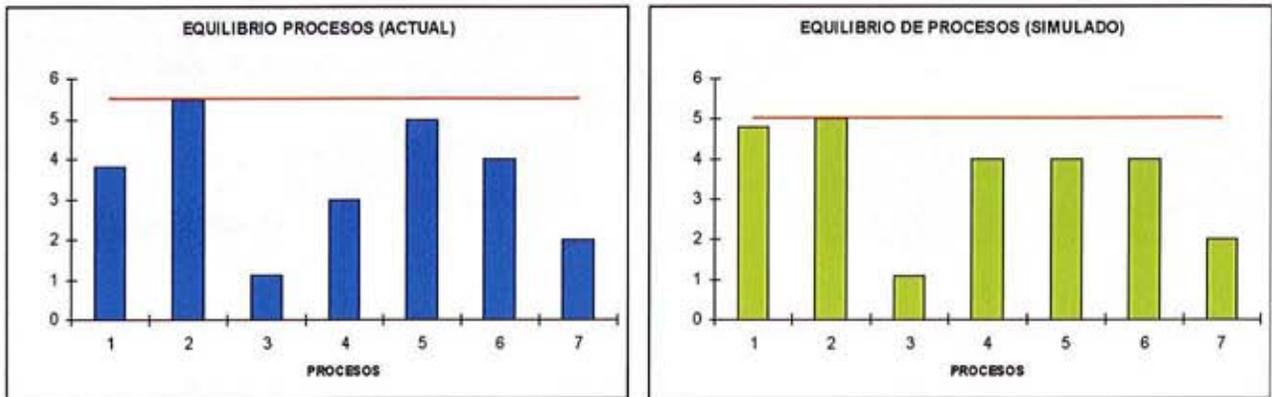


Figura 5. Tiempos de proceso por modelo

sofás y la obtención de datos (Etapas 4). Para la obtención de datos se ha recurrido a la herramienta de *Lean*

la reingeniería de la planta, adaptándola a una cadena de producción, se hizo una tarea un tanto compleja.

Buscando unas soluciones de *lay-out* lo más productivas posibles, se han planteado hasta 6 situaciones dife-

La elaboración conceptual del modelo ha sido una etapa muy importante, pues debido a las dificultades geométricas de las instalaciones, la reingeniería de la planta, adaptándola a una cadena de producción, se hizo una tarea un tanto compleja.

*Manufacturing*<sup>(2)</sup> denominada *VSM* (*Value Stream Mapping*)<sup>(3)</sup> presentada en la figura 4, permitiendo analizar gráficamente el proceso productivo, la secuencia de actividades y aquellas operaciones que no aportan valor al producto final.

Los datos obtenidos para la elaboración de la simulación han sido principalmente tiempos de ciclo de los diferentes procesos y para las principales referencias (figura 5), además de las necesidades de materiales, personas, horas de trabajo,...

La elaboración conceptual del modelo ha sido una etapa muy importante, pues debido a las dificultades geométricas de las instalaciones,

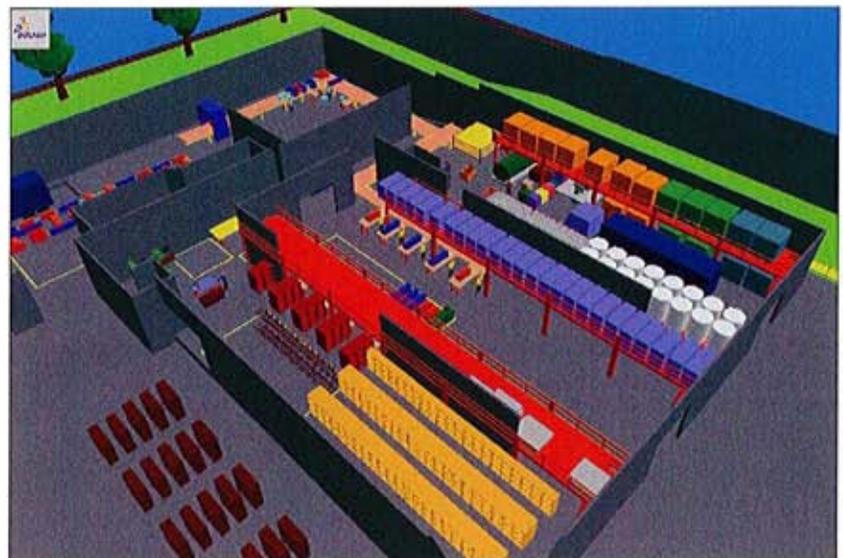


Figura 6. Lay-out opción 1



Figura 7. Lay-out opción 2

rentes, reduciéndose finalmente a sólo 2 (figuras 6 y 7).

Con el modelo conceptual definido y todos los datos necesarios se ha elaborado la simulación (fase 5), en este proyecto se ha empleado el software QUEST.

Una vez realizada la simulación propiamente dicha, se ha verificado que todos los datos estuviesen bien introducidos (Etapas 6) y con un lote de fabricación diario introducido en el modelo se ha validado (Etapas 7). Para la validación simplemente se ha comprobado que un lote de productos que se ha hecho un día normal de fabricación, el modelo simulado también lo realizase en un tiempo inferior.

A continuación se ha hecho un análisis de los datos obtenidos en ambos modelos (Etapas 8 y 9), principalmente de las saturaciones trabajadores y del sistema de cintas transportadoras. Con el análisis de datos se ha descartado uno de los *lay-out*, pues el propio sistema de cintas transportadoras se convertía en el limitante de la fabricación, pues el proceso cuello de botella se encontraba demasiado cercano al proceso precedente.

Así mismo, en este análisis se han estudiado escenarios que contemplan un aumento de la fabricación, de tal manera que se ha podido observar como se comportaría el sis-

tema de cintas con una fabricación mayor.

Finalmente se ha elaborado un informe conteniendo los aspectos técnicos y económicos de esta transformación del sistema productivo.

En este caso, la simulación de elementos discretos ha jugado un papel fundamental para ayudar a tomar una decisión que supone una elevada inversión y un cambio drástico en el sistema productivo en una empresa del sector del mueble, encontrando una solución óptima para la fabricación que ha permitido mantener la misma en las instalaciones actuales (se había incluso barajado la migración a una nueva nave), ahorrando así el coste de la construcción de una nueva nave. Este nuevo sistema de fabricación con la distribución planteada supondrá:

- Un aumento de productividad del 14%
- Una reducción de *lead-time*<sup>(4)</sup> del 75%
- Eliminación del almacén intermedio de fabricación.

## GLOSARIO

<sup>(1)</sup>*Lay-out*: ordenación física de máquinas y procesos en las instalaciones industriales.

<sup>(2)</sup>*Lean Manufacturing*: filosofía de trabajo que engloba un conjunto de técnicas enfocada a la eliminación de

aquellas actividades que no añaden valor al producto y a la mejora continua con el objetivo de mejorar la productividad

<sup>(3)</sup>*Value Stream Map (VSM)*: herramienta gráfica de análisis de procesos, en las que se representan todas las acciones necesarias en términos de material físico y flujo de información para entregar un producto al cliente.

<sup>(4)</sup>*Lead-Time*: tiempo transcurrido desde que se inicia la fabricación hasta que se entrega el producto.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Banks, J. "Introduction to Simulation". Winter Simulation Conference. 1999, P.11-13.

[2] Nutter, P. "Manufacturing Simulation for Industrial Projects". Ohio Northern University. 2006. P. 2.

[3] Miller, S., Pegden, D. "Introduction to manufacturing Simulation". Winter Simulation Conference. 2000, P. 63-65.

[4] Longo, F., Mirabelli, G., Pappoff, E. "Effective Design of an Assembly Line Using Modeling & Simulation". Winter Simulation Conference. 2006, P. 1895-1897.

[5] McLean, C., Leong S. "The Role of Simulation in Strategic Manufacturing". Manufacturing Simulation and Modeling Group, National Institute of Standards and Technology. P. 1-6.

[6] Ferrin, D. M., Miller, M., Muthler, D. "Lean sigma and Simulation, so what's the correlation?". Winter Simulation Conference. 2005, 2013-2014.

[7] Standridge, C. R., Marvel, J. H. "Why Lean needs simulation?". Winter Simulation Conference. 2006, P. 1097.

[8] Adams, M., Compton, P., Czarnecki, H., Schroer, B. J. "Simulation as tool for continuous process improvement". Winter Simulation Conference. 1999, P.768-769.

[9] Law, A. M., McComas, M. G. "Simulation of Manufacturing Systems". Winter Simulation Conference. 1999, P. 57. ■