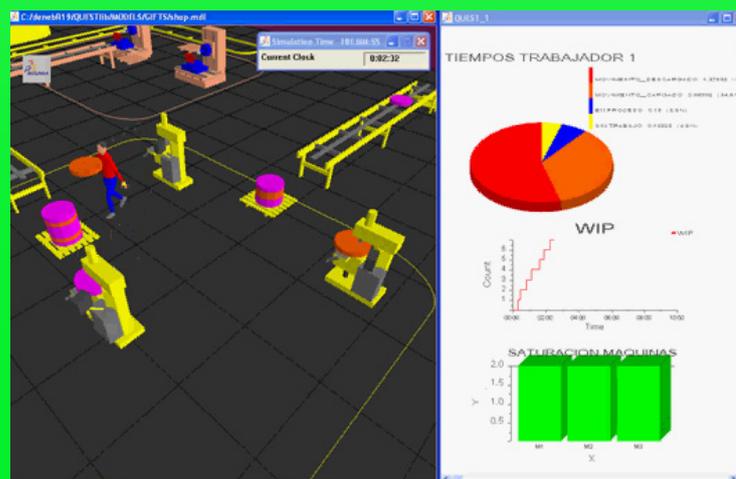


# LA SIMULACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES: CLAVE EN LA TOMA DE DECISIONES PARA PRO- CESOS DE REINGENIERÍA DE PLANTA Y DISEÑO DE NUEVAS INSTALACIONES DE FABRICACIÓN



Septiembre 2010



FUNDACIÓN  
**PRODINTEC**

Centro Tecnológico para el Diseño y  
la Producción Industrial de Asturias

**FEMETA**

FEDERACIÓN DE EMPRESARIOS DEL  
METAL Y AFINES DEL  
PRINCIPADO DE ASTURIAS

## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	2
1. ¿QUÉ ES LA SIMULACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES?.....	3
2. PRINCIPIO TEÓRICO DE LA SIMULACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES. ....	4
3. PRINCIPALES VENTAJAS E INCONVENIENTES. ....	6
4. BENEFICIOS GENERADOS POR UN PROYECTO DE SIMULACIÓN. ....	7
5. ELEMENTOS QUE SE PUEDEN SIMULAR. ....	10
6. APLICACIONES.....	11
8. SOFTWARE DE SIMULACIÓN.....	19
9. CASOS PRÁCTICOS.....	23
9.1. GENERAL DYNAMICS SANTA BÁRBARA SISTEMAS FÁBRICA DE TRUBIA.....	23
9.2. ALAS ALUMINIUM.....	28
9.3. SOLDAVIGIL .....	32
10. GLOSARIO .....	37
11. BIBLIOGRAFÍA.....	39

## 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 (modelo) 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 presentan en la realidad. En el ámbito de producción, la simulación es empleada para representar y analizar distintas alternativas de un sistema y finalmente decidir cuál es la mejor de las distintas alternativas.”

La aplicación de simulación de procesos industriales supone una fuente de competitividad para las empresas, mediante modelos que permiten simular 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 y la optimización de procesos industriales.

Estas tecnologías son aplicadas en grandes empresas, pero muy poco aplicadas en PYMES industriales, empresas que constituyen más del 90% del tejido empresarial asturiano.

En esta guía pretende aportar a la empresa un documento de consulta que les permita identificar en qué puntos de su organización se podría aplicar la simulación como herramienta para la mejora de su rendimiento. El presente documento se divide en dos partes, una sencilla parte teórica donde se explican los fundamentos, las aplicaciones, las ventajas y las dificultades que pueden existir para su aplicación y una parte eminentemente práctica, mostrando los casos de éxito desarrollados a lo largo del proyecto, así como los diferentes softwares que permiten desarrollar este tipo de proyectos.

## 1. ¿QUÉ ES LA SIMULACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES?

La simulación de procesos industriales, basada en la técnica de simulación de eventos discretos, es una técnica informática que permite crear modelos dinámicos de una fábrica o de un sistema logístico, que posteriormente servirán para analizar el comportamiento de ese modelo en diferentes circunstancias, analizando los posibles cambios y sus consecuencias, de tal manera que permite comprobar las hipótesis antes de implementarlas en la realidad.

Simulación de eventos discretos es el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado (García Dunna, 2006)

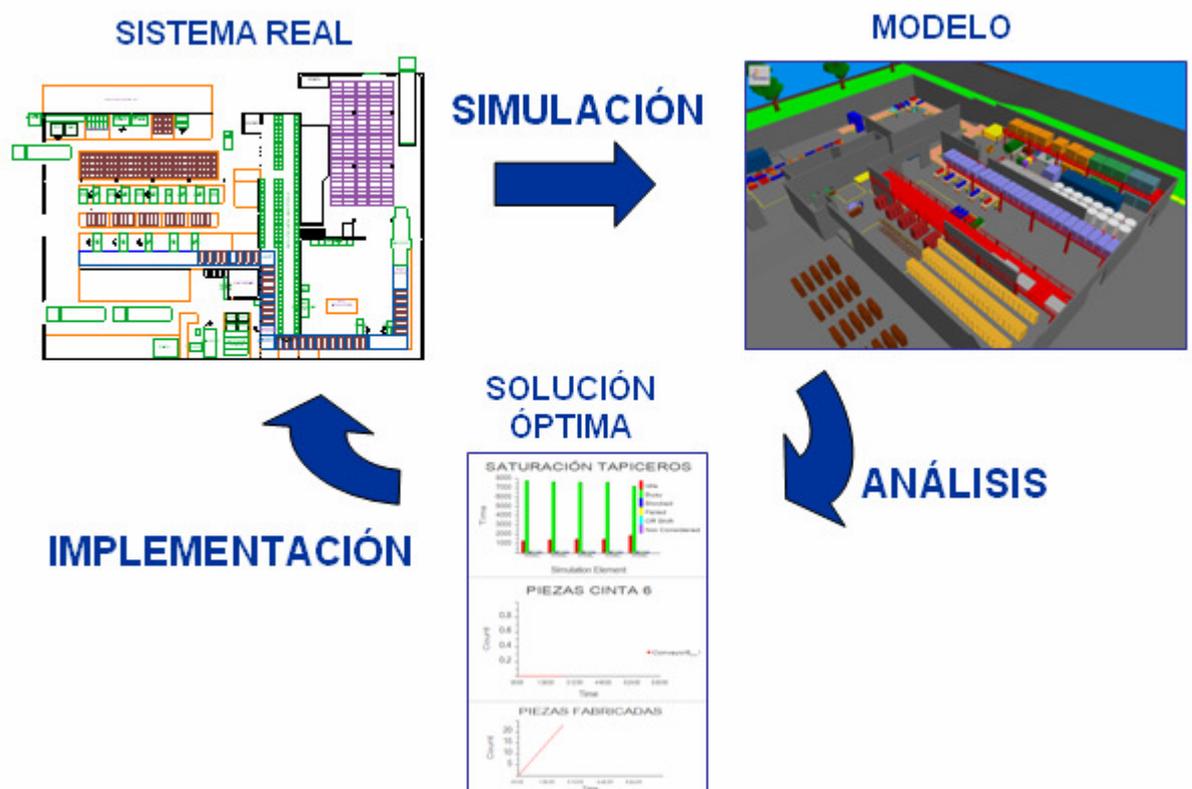


Figura 1. ¿Qué es la simulación de procesos industriales?

## 2. PRINCIPIO TEÓRICO DE LA SIMULACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES.

A continuación, se definen los principales conceptos que permiten comprender el concepto teórico de la simulación de eventos discretos.

- **Sistema:** conjunto de elementos que interactúan para la consecución de un determinado fin.
- **Variables de estado:** conjunto de variables necesarias para definir un sistema en un momento dado. En función de la evolución temporal de estas variables, se pueden distinguir dos tipos de sistemas:
  - Sistemas discretos: aquellos en los que las variables de estado cambian en un conjunto de instantes de tiempo concretos.
  - Sistemas continuos: Aquellos sistemas en los que las variables de estado cambian de manera continua a lo largo del tiempo.
- **Modelo de simulación:** consisten en la representación de un sistema mediante un conjunto de relaciones cuantitativas y lógicas entre sus componentes, permitiendo estudiar cómo se comporta el modelo del sistema cuando cambia alguno de sus componentes. Los modelos de simulación se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios.
  - Según el instante temporal que representan:
    - **Estáticos:** representan a un sistema en un determinado estado de tiempo
    - **Dinámicos:** representan a un sistema que evoluciona a lo largo del tiempo
  - Según la aleatoriedad de sus variables de estado:
    - **Deterministas:** el sistema no contiene ninguna variable de estado aleatoria
    - **Estocásticos o aleatorios:** el sistema contiene al menos una variable de estado no determinista

- Según el modo en el que evolucionan las variables de estado:
  - **Discretos o de eventos discretos:** si las variables de estado del modelo varían en un conjunto contable de instantes de tiempo
  - **Continuos:** si las variables de estado varían de modo continuo en función del tiempo

Los procesos industriales están constituidos por moldes dinámicos, aleatorios y discretos, por lo que para su representación se requiere la denominada **simulación de eventos discretos**, con la cual se representan y analizan este tipo de modelos.

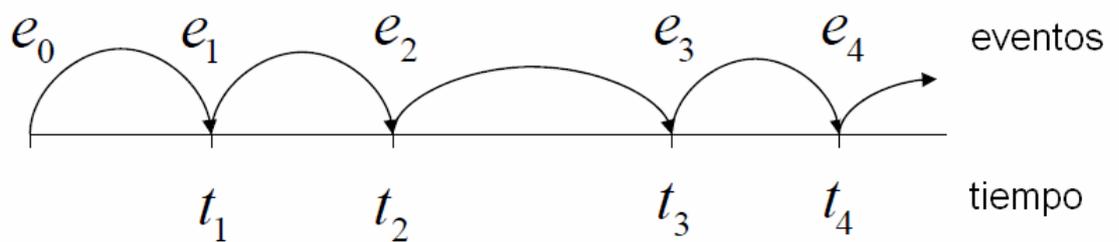


Figura 2. Concepto teórico de simulación de eventos discretos.

### 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, este “banco de pruebas” 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 stocks (necesidades, dimensionamiento de espacios, ...), reparto de cargas de trabajo, identificación de cuellos de botella, dimensionamiento de cintas transportadoras, ...
- Permite realizar planificaciones 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 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 o que la información del ERP no es la requerida para poder analizar la situación que se pretende estudiar.
- Las simulaciones pueden ser usadas inadecuadamente, los datos presentados deben estar siempre ligados a las hipótesis y datos de partida.

#### 4. BENEFICIOS GENERADOS POR UN PROYECTO DE SIMULACIÓN.

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

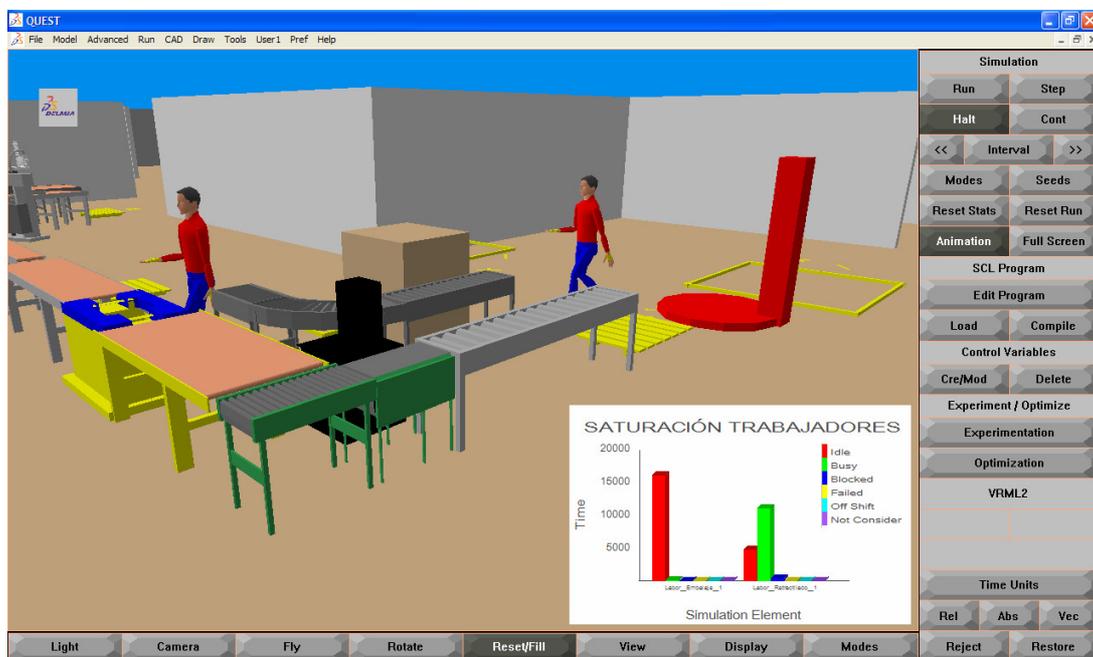


Figura 4. Detalle de simulación de un proceso industrial.

En la publicación "The benefits of digital manufacturing", realizada por CIMDATA en 2002, se exponen los siguientes beneficios derivados de aplicar estas técnicas de simulación:

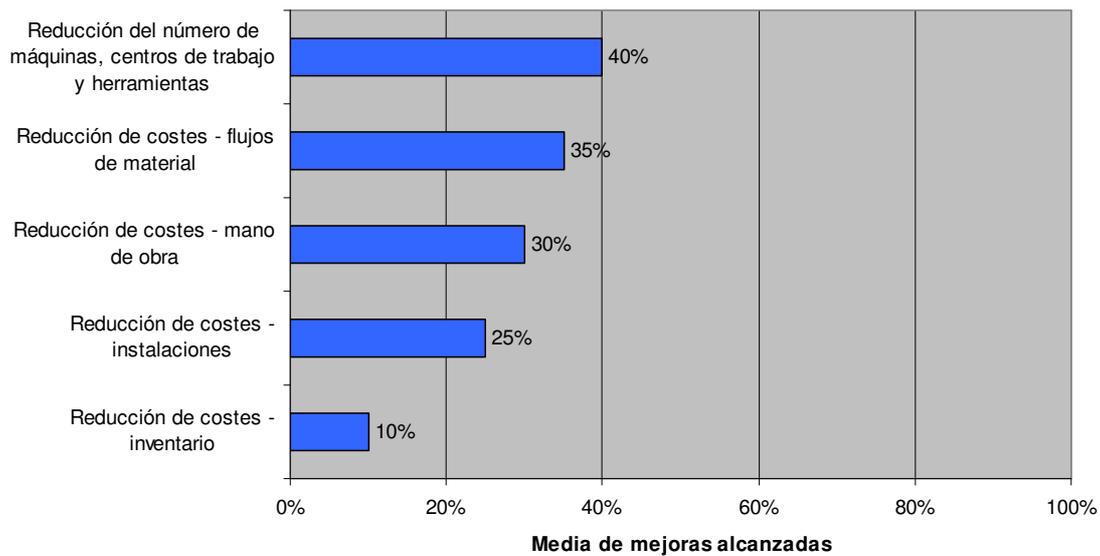


Figura 5. Mejoras alcanzadas aplicando simulación de procesos industriales.

- **Reducción de costes debido a la optimización de los niveles de inventario**, como resultado de haber estudiado el comportamiento global de la planta ante diferentes demandas del mercado.
- **Reducción del coste de las instalaciones debido a un lay-out optimizado**, lo que hace que la superficie total a construir se pueda reducir.
- **Reducción de costes debido a la optimización del empleo de la mano de obra**, derivado de un empleo más eficiente de los recursos y a una sistemática de planificación que contemple en detalle las capacidades productivas de las instalaciones.
- **Reducción de costes debidos a la optimización del flujo de materiales**, los movimientos de material no aportan valor al producto, pero conllevan un importante porcentaje de tiempo desde que la materia prima entra en la planta industrial hasta que esta es transformada en un producto final.
- **Reducción del número de máquinas**, centros de trabajo y herramientas.

A nivel global estos beneficios se traducen en (Figura 4):

- **Reducción del coste de producción**, derivado de los diferentes ahorros comentados anteriormente.

- **Incremento de la productividad**, resultado de un mejor empleo de los recursos.
- **Reducción del time-to-market**, es decir, reducción del tiempo total desde que se decide industrializar un producto hasta que éste llega al mercado.

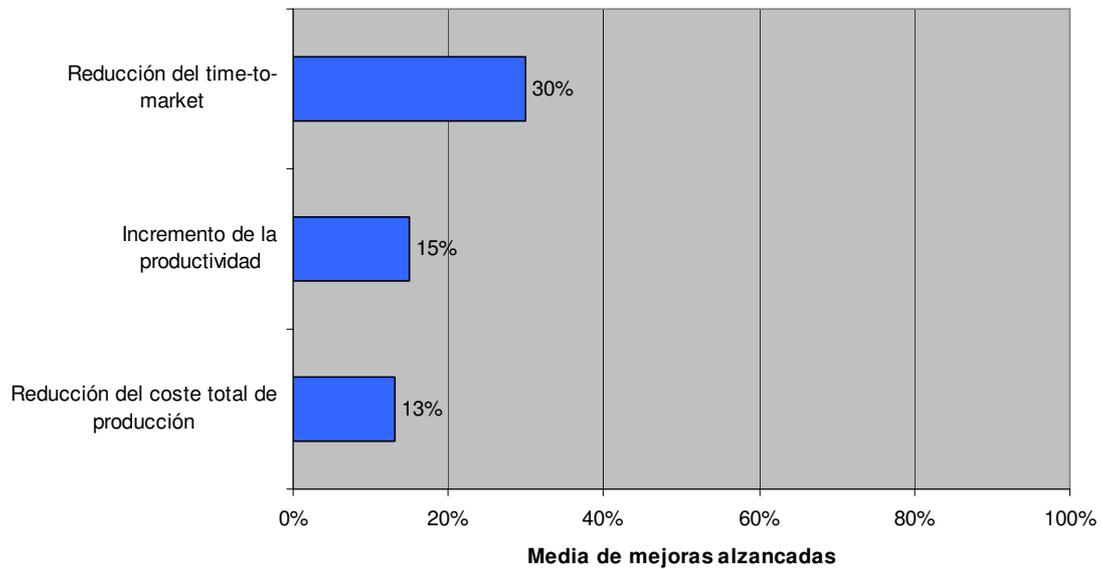


Figura 6. Mejoras alcanzadas aplicando simulación de procesos industriales.

## 5. ELEMENTOS QUE SE PUEDEN SIMULAR.

Los elementos que se pueden simular son todos aquellos que nos podemos encontrar en un entorno fabril, logístico o incluso de servicios. Los principales elementos en el entorno industrial son:

- Máquinas con los procesos de fabricación, preparación y reparación que estas llevan asociadas
- Medios de manipulación: puentes grúa, carretillas, AGVs, cintas transportadoras ...
- Planes de producción
- Personas.
- Turnos de trabajo.
- Almacenes intermedios entre procesos bien a nivel de suelo o bien es estanterías
- Etc...

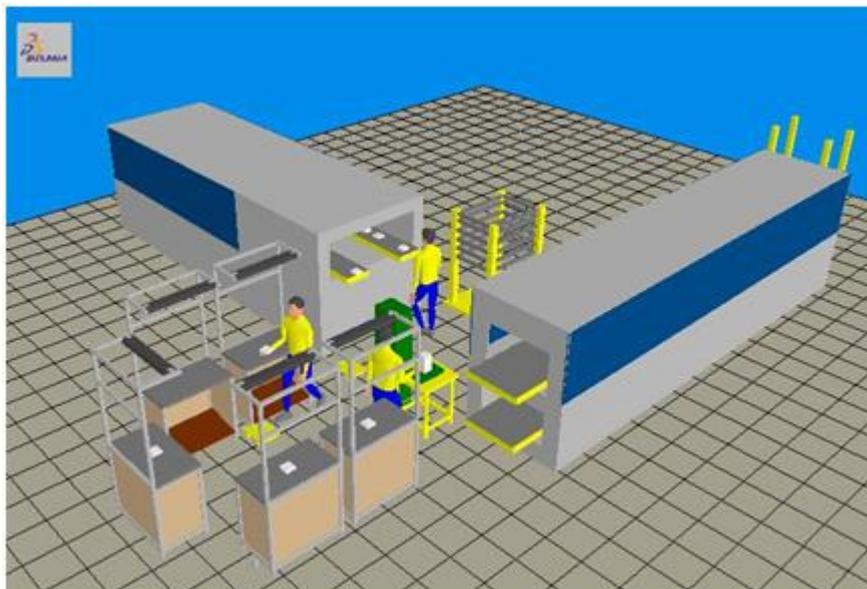


Figura 7. Detalle de trabajadores, máquinas y puestos de trabajo en un proceso industrial.

## 6. APLICACIONES.

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

### Diseño de Lay-out

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.

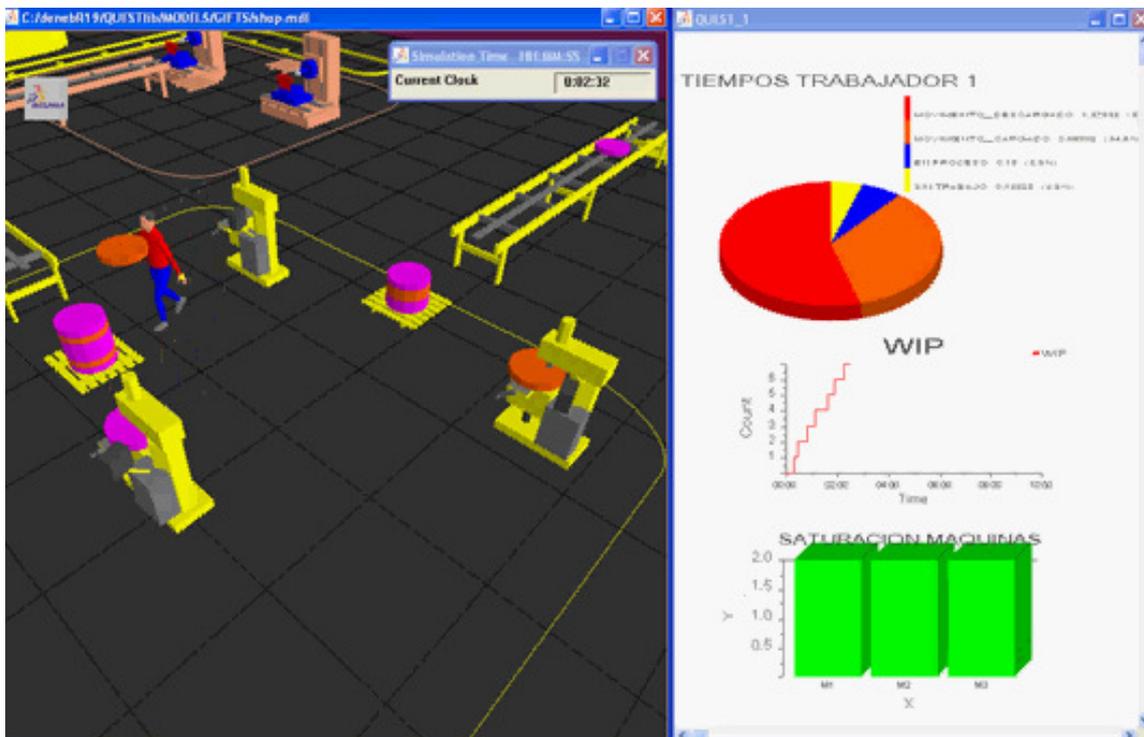


Figura 8. Imagen célula en U simulada.

### 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.

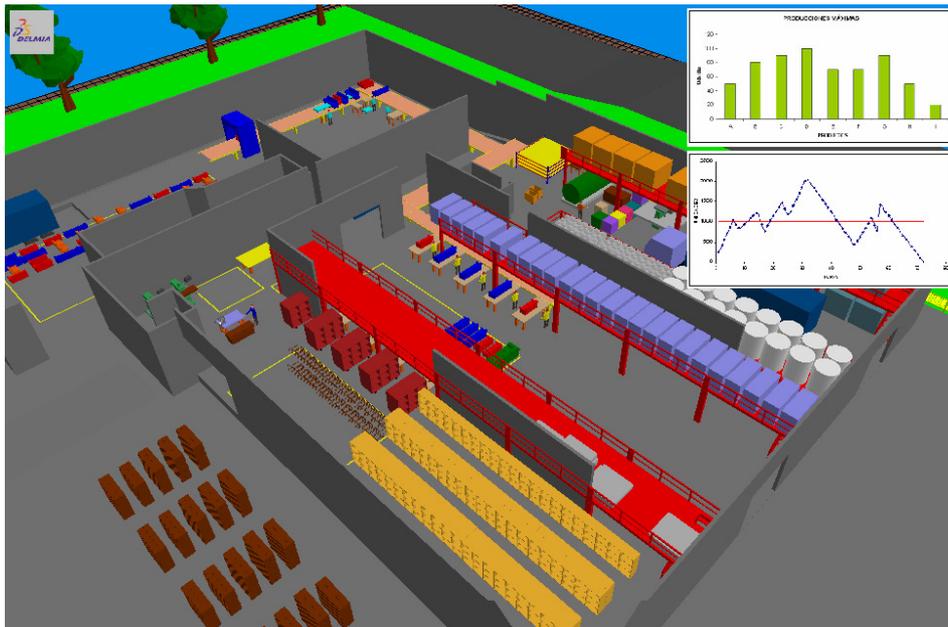


Figura 9. Ejemplo de validación de lay-out mediante simulación.

### **Balaceo 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.

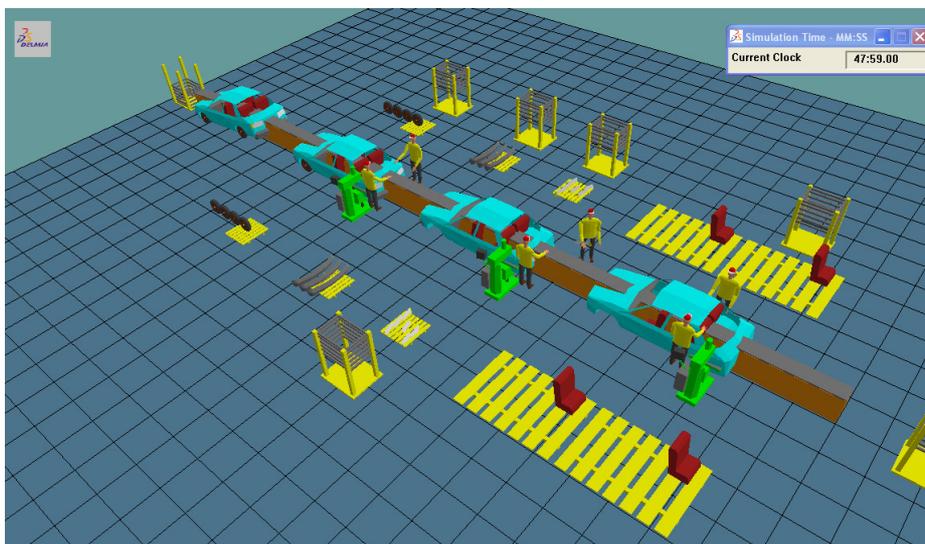


Figura 10. Línea de producción simulada.

## **Optimizar nivel de stocks**

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

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

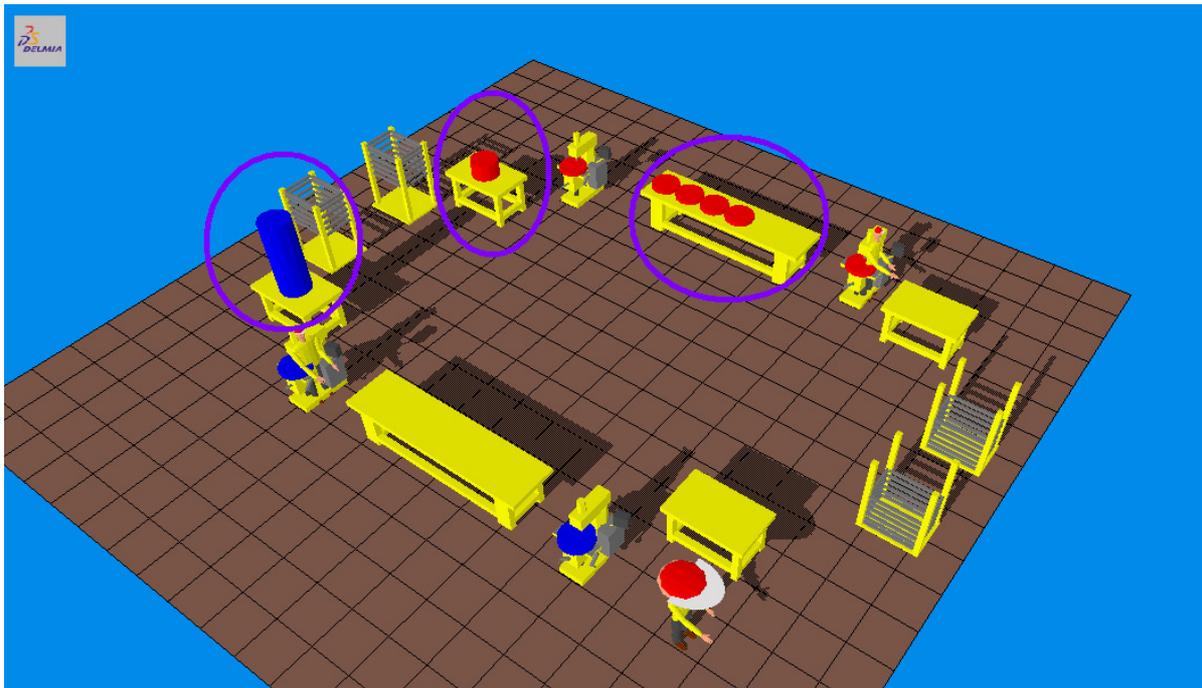


Figura 11. Análisis stock entre procesos.

## **Validación de sistemas logísticos automáticos**

En este apartado se encontraría la validación de sistemas logísticos como es el caso de sistemas automáticos de movimiento de materiales como son los AGVs, cintas transportadoras, cadenas de transporte elevadas e incluso los transe levadores de los sistemas automáticos

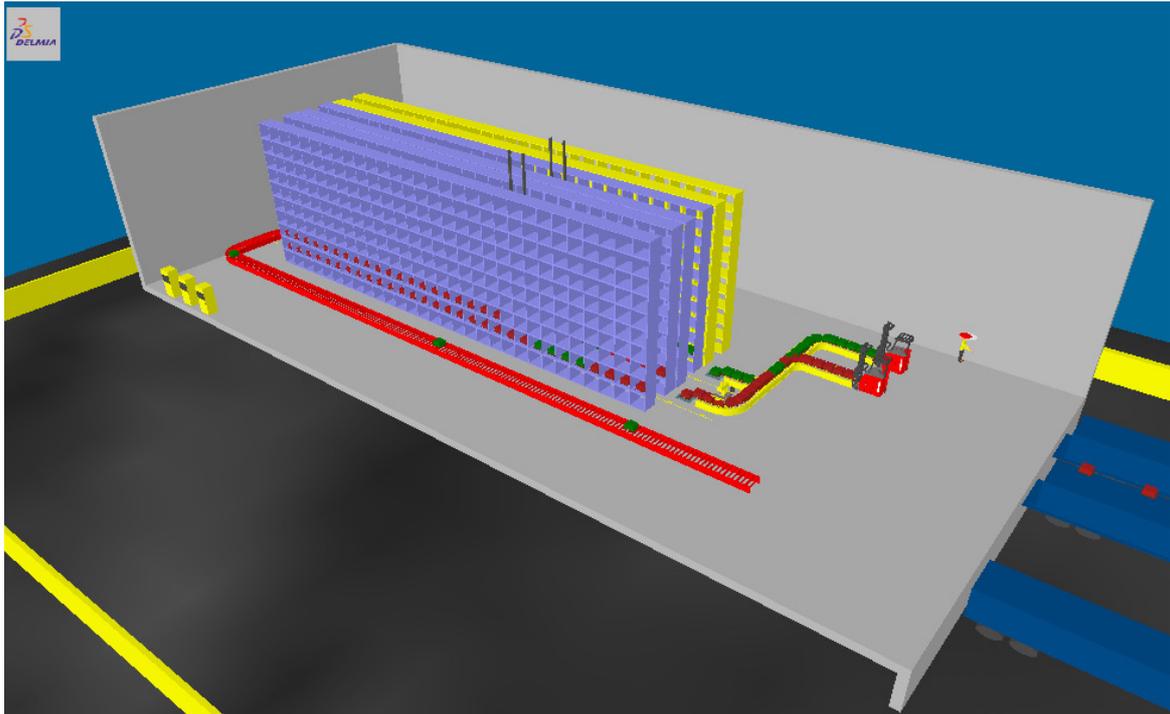


Figura 12. Ejemplo de validación mediante simulación de un sistema logístico.

## 7. ETAPAS DE UN PROYECTO DE SIMULACIÓN.

A continuación, se exponen las etapas de un proyecto de:

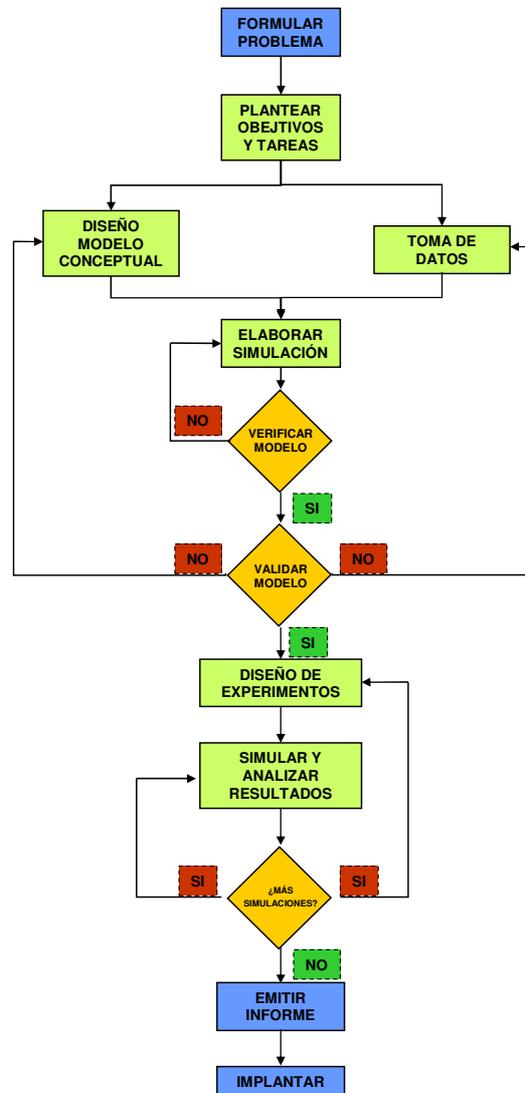


Figura 13. Etapas de un proyecto de simulación.

### 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 software que podría requerir el cliente en el caso de que quisiese simular personalmente el modelo una vez realizado.

## **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.

## **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 introducir fácilmente en el modelo. 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 problemas, 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 ayudará a tomar una decisión u otra, o simplemente será la base para implementar físicamente el escenario planteado mediante simulación.

## 8. SOFTWARE DE SIMULACIÓN.

Existe una amplia gama de software dedicado a la simulación de eventos discretos. Los más utilizados en el mercado son:

### **DELMIA QUEST ([www.3ds.com](http://www.3ds.com))**

Se trata de un simulador del entorno de fabricación que posee una interfaz donde se pueden dibujar modelos. Delmia Quest puede integrar dibujos CAD en 2D y 3D para captar con más precisión el layout de la fábrica a simular.

También puede interactuar con hojas de cálculo y software de producción, tales como sistemas de captura de datos en planta (MES), planificación de las necesidades de material (MRP), planificación de los requerimientos de la empresa (ERP), lo que le permite trabajar con datos reales de producción.

DELMIA QUEST permite modelar una gran variedad de tipos de medios de manipulación materiales, incluidas las carretillas, cintas transportadoras, vehículos guiados automáticamente (AGVs), sistemas de almacenamiento....

Permite analizar los datos mediante gráficos creados directamente sobre el modelo o exportarlos a Microsoft Excel.

### **ARENA ([www.arenasimulation.com](http://www.arenasimulation.com))**

Software cuya finalidad es la simulación de sistemas de fabricación y de servicios. En su versión básica se centra en el modelado de proceso de negocio (business process) pero con las versiones estándar y profesional se puede simular cualquier tipo de entorno, incluyendo sistemas continuos. Permite un análisis estadístico detallado de los datos y puede modelar una enorme variedad de dispositivos de manipulación de materiales incluyendo montacargas, vehículos automatizados (AGV) y diferentes tipos de cintas transportadoras.

### **WITNESS ([www.lanner.com](http://www.lanner.com))**

WITNESS es un producto del Grupo Lanner. Su versión de fabricación puede simular tanto de manufactura discreta como manufactura de flujo continuo. Los modelos están contruidos con un diseño de bloques de construcción, con una estructura modular que puede interactuar con bases de datos, hojas de cálculo y otras aplicaciones. También tiene un

módulo de realidad virtual que se puede integrar con el sistema estándar para proporcionar la capacidad de modelado 3d. Tiene un escenario de simulación para ayudar en la experimentación y los resultados los cuales pueden ser exportados a otras aplicaciones.

### **TECHNOMATICS FACTORY FLOW ([www.plm.automation.siemens.com](http://www.plm.automation.siemens.com))**

El software Tecnomatix pertenece a la casa SIEMENS. Este software permite modelizar todo tipo de maquinaria (herramientas, robots, elementos de distribución) así como las relaciones espaciales existentes entre las mismas con el fin de simular la cadena de producción con gran realismo. Dispone de un interface de programación a disposición del usuario para definir nuevas máquinas o planificar procesos de forma automatizada.

### **SIMUL 8 ([www.simul8.com](http://www.simul8.com))**

Es un producto de SIMUL8 Corporación y tiene una versión estándar y otra profesional. Cuenta con una interfaz gráfica de modelo de construcción que incluso permite que los iconos definidos por el usuario se puedan guardar y volver a utilizar.

SIMUL8 es de aplicación general, sin embargo, ha sido frecuentemente utilizado para modelar industrias de servicios o procesos de negocio, y también cuenta con especialización en la simulación de tanques y tuberías de fabricación en continuo de líquidos. Los datos de entrada se pueden imputar a través de un Excel, en la versión profesional también puede interactuar con bases de datos. Los datos de salida también se pueden exportar directamente a Excel o Minitab.

### **FLEXSIM ([www.flexim.com](http://www.flexim.com))**

Software orientado a la simulación de objetos y de todo tipo de entornos de fabricación incluyendo los sistemas de eventos discretos como los de flujo continuo. En este software todo está abierto a la customización por parte del usuario, que puede crear sus propios programas en lenguaje C++.

Los resultados pueden exportarse a bases de datos y todos los modelos se construyen y visualizan en 3D.

### **EXTEND ([www.extendsim.com](http://www.extendsim.com))**

Software de simulación de eventos discretos perteneciente a la casa Imagine inc., que cubre una amplia gama de aplicaciones, incluyendo los sistemas continuos, la manufactura y los sistemas de servicios. Todos los productos tienen una estructura similar y capacidad. Los modelos se construyen mediante la combinación de diferentes bloques, lo que representa un paso lógico o de cálculo, de acuerdo con el flujo de la lógica propiamente dicha para las entidades.

### **AUTOMOD ([www.visual8.com](http://www.visual8.com))**

Software de simulación con posibilidad de utilización en una amplia gama de aplicaciones, especialmente indicado para fabricación y más concretamente para el flujo de materiales. Se pueden definir vehículos guiados automáticamente (AGV's), transportadores, grúas puente, sistemas de almacenamiento...

Las capacidades de animación están basadas en dibujos a escala e incluyen vectores gráficos en 3D sobre una pantalla virtual en tiempo real. Representa los datos en forma de gráficos.

### **PROMODEL ([www.promodel.com](http://www.promodel.com))**

La casa Promodel cuenta con varios productos de simulación disponibles, incluyendo ProModel, MedModel y ServiceModel. Promodel es aplicable en entornos de fabricación y almacenaje, Medmodel es específico para la simulación de sistemas sanitarios y ServiceModel está diseñado para las industrias de servicios. Aunque el resto de esta sección se centra en Promodel, las características de los tres productos son similares.

Promodel es un simulador dirigido a entornos de fabricación en general. Se pueden crear entornos tanto en 2D como en 3D.

En ProModel también se pueden especificar la información de costes que pueden estar asociados con un recurso específico, la ubicación...

### **ED FALCON ([www.incontrolsim.com](http://www.incontrolsim.com))**

ED FALCON es la aplicación más completa (en cuanto a software de simulación se refiere) de entre el total de 3 que ofrece Enterprise Dynamics. ED FALCON permite crear

aplicaciones de simulación de sistemas dinámicos para la planificación, la capacidad de gestión y control de procesos operativos. Junto a esto, ED FALCON incluye una funcionalidad completa para fines de marketing y formación. ED FALCON agrega una dimensión única al sistema de logística o de fabricación de una organización. Planificación avanzada y programación, gestión de incidentes, control de procesos, visualización total o de operaciones de red son sólo algunas de las posibilidades de los sistemas que se crean mediante ED FALCON.

## **9. CASOS PRÁCTICOS.**

### **9.1. GENERAL DYNAMICS SANTA BÁRBARA SISTEMAS FÁBRICA DE TRUBIA**

<http://www.gdsbs.com>

C/ Ctra. General, s/n Trubia 33100

#### **CASO DE ESTUDIO 1. ANÁLISIS MEDIANTE SIMULACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE BARCAZAS**

##### **PRESENTACIÓN LA EMPRESA**

Los orígenes y antecedentes de Santa Bárbara Sistemas se remontan a varios siglos con fábricas como la de Sevilla, fundada en el año 1540 y que fue una de las primeras en fundir cañones de hierro del calibre 24 en España en 1777; la Fábrica de Armas de Oviedo, fundada en 1794, o la de Trubia, de donde salió el primer carro de combate español en 1926.

Santa Bárbara Sistemas, continuadora de una dilatada tradición española en el diseño y fabricación de armas y municiones, se constituyó como empresa en 1960 al reagruparse diversas fábricas pertenecientes hasta entonces al Ministerio español de Defensa y bajo el accionariado del Instituto Nacional de Industria (posteriormente Sociedad Estatal de Participaciones Industriales).

El 25 de julio de 2001 representa una fecha clave al concretarse su integración dentro del Grupo de Sistemas de Combate de General Dynamics, uno de los principales proveedores mundiales de sistemas y servicios de defensa. Este hecho constituyó una clara consecuencia del proceso evolutivo de la empresa y estuvo en sintonía con sus compromisos de excelencia en los productos de la más alta tecnología.

La privatización de la compañía fue consecuencia del proyecto del Gobierno Español para sanear y consolidar la industria pública y con la elección de General Dynamics, Santa Bárbara Sistemas cobró un nuevo impulso para desarrollar su negocio a escala internacional, fiel a sus objetivos y compromisos iniciales de promover la investigación, desarrollo, y comercialización de materiales para la defensa.

Hoy, la nueva General Dynamics Santa Bárbara Sistemas es uno de los líderes en el sector de la defensa y punto de referencia indiscutible en el mercado europeo. Con sede central en Madrid, cuenta con cerca de 1.800 empleados y cuatro líneas de negocio básicas: Vehículos Blindados, Sistemas de Armas, Municiones y Misiles e Investigación y Desarrollo.

## **INTRODUCCIÓN**

El presente proyecto de simulación se centró en una nueva línea de fabricación que aún no se encontraba operativa, de tal manera que mediante la simulación se pudiesen detectar los diferentes problemas que puedan existir en lo relativo a flujos de material y saturación de los recursos antes de iniciar la fabricación en serie.

El proceso incluye estaciones de montaje, soldadura, mecanizado, verificación dimensional, pintura y mecanizado principalmente.

## **OBJETIVOS**

El objetivo del proyecto se centró en el **estudio del proceso diseñado para la fabricación de la barcaza** mediante simulación. Los parámetros a analizar que permitieron detectar cuellos de botella son los siguientes:

- Lead-time para la fabricación de las barcazas.
- Work In Process (WIP) mínimo para asegurar el flujo continuo en la línea de producción
- Saturación recursos: operarios, puestos de trabajo y puentes grúa.

## **DESARROLLO DE LAS TAREAS**

Para la correcta ejecución del proyecto se han llevado acabo las siguientes tareas:

### REPRESENTACIÓN DE LA SITUACIÓN DEFINIDA MEDIANTE TÉCNICA DE VALUE STREAM MAP (VSM)

Previamente a elaborar el proceso de simulación, se ha recopilado toda la información relativa a TAKT TIME requerido en la instalación, tiempos de ciclo, tiempos de preparación, polivalencia de trabajadores y flujos de materiales principalmente. Toda esta información se

ha recopilado a través de la técnica VSM, donde a través de varias reuniones con los responsables se ha representado todo el proceso a simular.

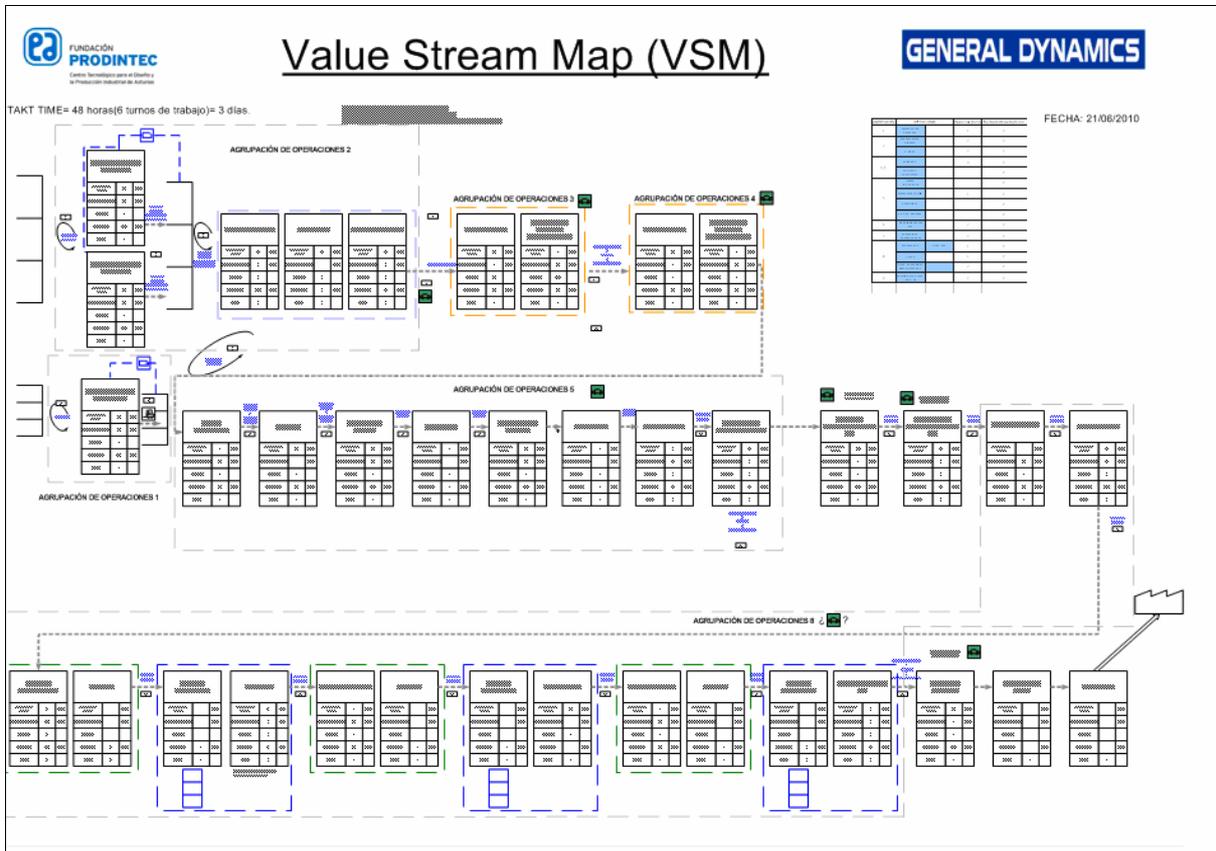


Figura 14. Value Stream Map.

## ELABORACIÓN DE MODELO DE SIMULACIÓN

Se ha elaborado un modelo de simulación que contempla los siguientes recursos:

- Estaciones de trabajo
- Puentes grúa
- Personal
- Turnos de trabajo

El modelo de simulación se basó en una sistemática de trabajo PULL, de tal manera que cada célula de trabajo pide una barcaza a la célula anterior cuando ya ha enviado la barcaza

en la que trabajaba a la célula posterior. Con esta sistemática se consigue que el número de barcazas en el proceso se mantenga constante en toda la instalación.

Además, en las cabinas de pintura y granalla se han definido diferentes escenarios que contemplan diferentes alternativas de polivalencia de operarios, pues en esta zona es donde más alternativas se presentan al realizarse varios procesos en esa misma célula de trabajo

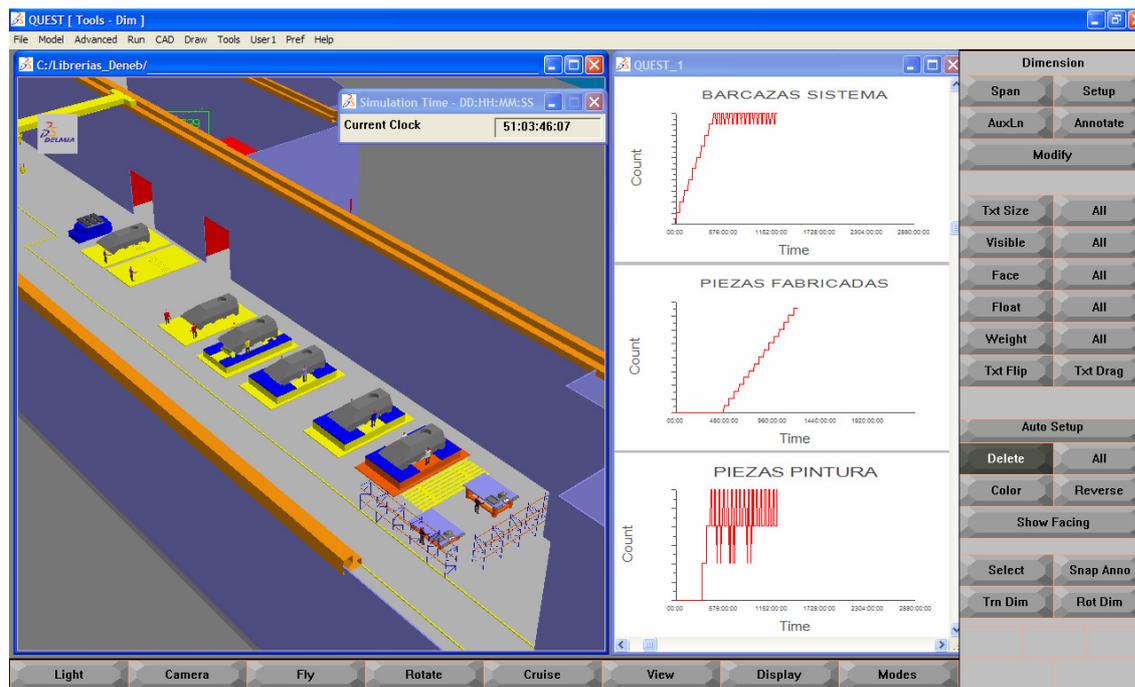


Figura 15. Modelo simulación.

## RESULTADOS

Tras realizar la fase de análisis del modelo se han llegado a las siguientes conclusiones:

- Los procesos de armado y soldadura son los procesos cuello de botella, por lo que para cumplir el TAKT TIME requerido será necesario prestarles una especial atención.
- Las cabinas de pintura y granalla lograrán cumplir el TAKT TIME requerido de manera ajustada siempre que se cuente con el mínimo de trabajadores definido para esta zona.
- El resto de procesos no deberían generar cuellos de botella para cumplir el TAKT TIME requerido.

- Se ha calculado el número mínimo de barcazas que permiten cumplir con el TAKT TIME requerido.
- Se ha definido el estándar óptimo de trabajo en las cabinas de pintura y granalla.

## **CONSLUSIONES**

Este proyecto la simulación ha permitido conocer en detalle un sistema productivo antes de su puesta en marcha además de predecir su comportamiento, minimizando así el tiempo necesario para la puesta en macha de la instalación.

## **9.2. ALAS ALUMINIUM**

www.alasaluminium.com

Avda Laviana s/n · 33900 - Ciaño - Langreo

### **CASO DE ESTUDIO 2. VALIDACIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE LOGÍSTICA INTERNA MEDIANTE SIMULACIÓN**

#### **PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA**

En el año 2002, a partir de la iniciativa de un grupo de empresarios con amplia experiencia en el sector, nace Alas Aluminium S.A. con ideas innovadoras para asumir nuevos retos de futuro en el mercado actual de los perfiles de aluminio por extrusión.

En la actualidad Alas Aluminium de una de las instalaciones tecnológicamente más avanzadas y modernas del sector, sobre unos terrenos de 100.000 m<sup>2</sup> y con una superficie construida de 30.000m<sup>2</sup>, donde un equipo humano altamente especializado y con una dilatada experiencia, persigue la excelencia en todas sus acciones para satisfacer las necesidades de cada uno de sus clientes.

#### **INTRODUCCIÓN**

El presente proyecto de simulación se centra en un nuevo sistema logístico interno que aumente la flexibilidad del sistema productivo permitiendo lotes menores, reduciendo stocks intermedios y reduciendo el lead time de cuatro a una semana y media. Se contempla tanto el almacenamiento automático como el transporte de materiales de forma automática por toda la planta. Dicho sistema se encontraba en la fase de diseño, de tal manera que se pretendió profundizar en el funcionamiento del mismo, así como en detectar mejoras en el sistema y finalmente identificar los problemas que pudieran surgir antes de la implementación física.

El nuevo sistema incluye tres almacenes automáticos (sólo simulados dos), una estación de picking y un sistema automático de transporte de materiales

## **OBJETIVOS**

El objetivo del proyecto se centra en la validación del nuevo sistema logístico mediante simulación y en la valoración de la rentabilidad de aumentar las especificaciones de capacidad máxima y velocidad de transporte de cada elemento logístico. Los parámetros a analizar que permitirán detectar recursos sobresaturados son:

- Cálculo saturación de los translevadores y transfers
- Cálculo esperas de material en cintas de tránsito
- Evolución de inventarios en el almacén regulador y almacén de procesos

Además, se realizará una primera valoración de las lógicas de control del sistema, para que sea eficiente y se eviten bloqueos por un incorrecto control de los transportadores y carros.

## **DESARROLLO DE LAS TAREAS**

Para la correcta ejecución del proyecto se han llevado acabo las siguientes tareas:

### RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La fase inicial del proyecto ha contemplado la recopilación de toda la información necesaria para elaborar el modelo de simulación (datos físicos de velocidades, capacidades de almacenamiento y planos de lay-out principalmente), así como de los datos de producción existentes en el ERP de la compañía.

### ELABORACIÓN DE MODELO DE SIMULACIÓN

Se ha elaborado un modelo de simulación que contempla los siguientes recursos:

- Estaciones de picking
- Almacén regulador
- Almacén de procesos
- Carros de transporte de contenedores

- Datos de producción de un mes dado

El modelo de simulación contempla todos los datos físicos de la instalación en términos de lay-out y de datos físicos (velocidades, aceleraciones y datos de capacidad de almacenamiento principalmente). Los datos introducidos en el modelo son los datos de un mes dado para poder observar el comportamiento del nuevo sistema con los datos de un mes ya conocido.

La lógica de funcionamiento está basada en un sistema mixto PUSH-PULL en el que existe un almacén regulador alimentado por las extrusoras (PUSH), del que tira un almacén de procesos (PULL), desde el cual se reparten los contenedores a las diferentes secciones.

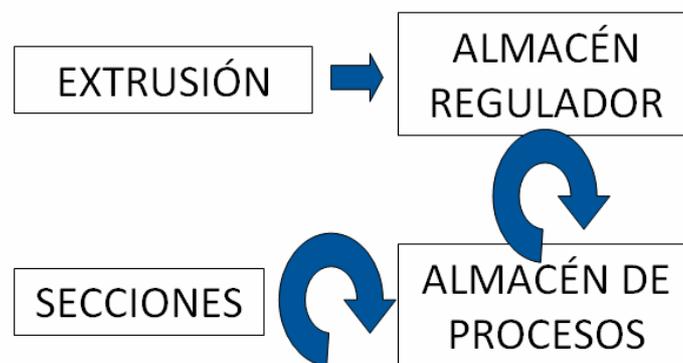


Figura 16. Lógica básica funcionamiento sistema interno de transporte.

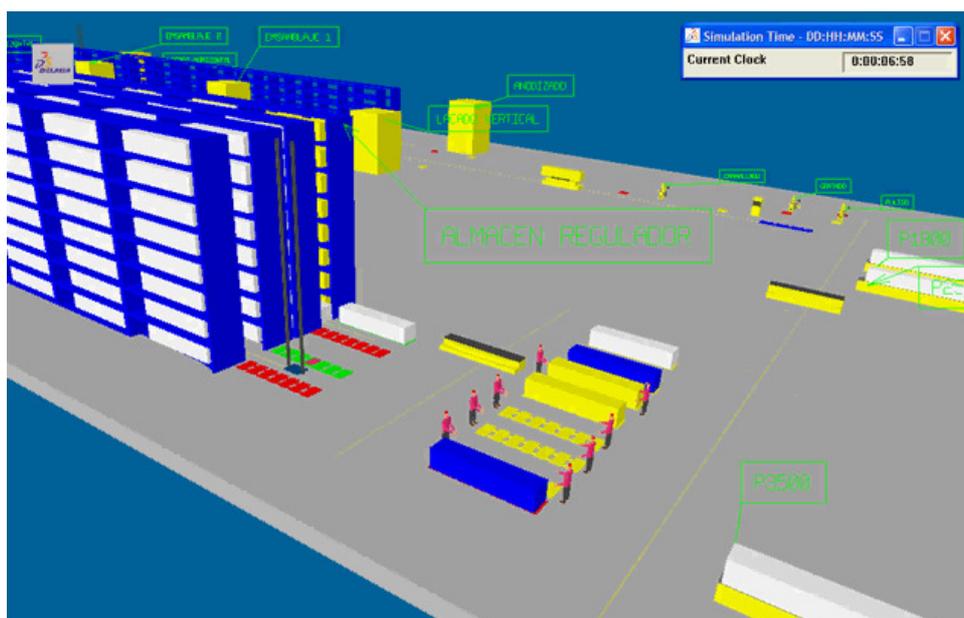


Figura 17. Modelo simulación ALAS ALUMINIUM.

## **RESULTADOS**

Tras realizar la fase de análisis del modelo se han llegado a las siguientes conclusiones:

- El almacén regulador y el de procesos tiene capacidad para el trasiego de carros simulados
- El carro que más movimientos realiza es el carro de extrusoras, presentando la mayor saturación
- Los puntos de unión entre transfers requieren de unas lógicas de funcionamiento que eviten el bloqueo del sistema
- No se ha observado que ninguna zona que precise carros vacíos y se haya quedado sin ellos a lo largo de la simulación

## **CONCLUSIONES**

Este proyecto la simulación ha permitido identificar puntos críticos del sistema así como validar el funcionamiento del mismo, y todo ello, antes de tener listo el modelo físico a implantar.

### **9.3. SOLDAVIGIL**

www.soldavigil.com

Polígono Industrial Porceyo, Calle Carl Sagan 69, Gijón

## **CASO DE ESTUDIO 3. ANÁLISIS MEDIANTE SIMULACIÓN DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN DE BRAZOS Y CHASIS**

### **PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA**

SOLDAVIGIL es una empresa familiar con una proyección de rápido crecimiento pasando de tener una plantilla de treinta trabajadores en el año 1990 a doscientos cincuenta en el año 2005. Se realizan cuatro actividades principales, disponiendo de instalaciones perfectamente equipadas para los trabajos que se desarrollan.

El último de estos centros dedicado a la fabricación de componentes para automoción fue inaugurado en el año 1999. SOLDAVIGIL siempre está orientado al incremento de calidad con la clara mentalidad de reducción de costes, para ello se han formado a todos sus trabajadores en el sistema KAIZEN (mejora continua) implantando programas de participación como: ZD, QC, TPM, Trabajo en Equipo, Trabajo en Línea, Sugerencia, VE, 5S, PE, Trabajo por Objetivos, Just in Time, etc, los cuales aseguran su competitividad en un mercado tan dinámico, exigente y globalizado como el actual.

### **INTRODUCCIÓN**

El presente proyecto de simulación se centra en el estudio de la fabricación de tres componentes para la industria de la automoción. Se pretende analizar a partir de la planificación de un mes real la posibilidad de identificar mejoras enfocadas a la reducción del inventario intermedio que se encuentra en la planta.

El proceso de fabricación analizado incluye procesos de doblado, taladrado, estampación, mecanizado, soldadura, mecanizado y controles de calidad principalmente.

### **OBJETIVOS**

En el proyecto se definieron dos objetivos;

Objetivo 1. Estudio proceso actual de fabricación de manillares y brazos mediante simulación.

Objetivo 2. Validación mediante simulación de nueva situación que optimice:

- Lead-time
- Inventarios en proceso
- Productividad en términos de mano de obra (por reducción de movimientos y transportes)

## **DESARROLLO DE LAS TAREAS**

Para la correcta ejecución del proyecto se han llevado acabo las siguientes tareas:

### RECOPIACIÓN DE LA INFORAMCIÓN

Para analizar la situación de partida se han empelado las siguientes herramientas de Lean Manufacturing:

- Mapa de flujo de valor (VSM-Value Stream Map), mediante el cual se ha recopilado toda la información relativa a tiempos de procesos, tamaños de lote, tamaños de contenedor, rutas de fabricación, requerimientos de personal y medios de manipulación principalmente.
- Diagramas de Spaghetti, representado todos los flujos de materiales.

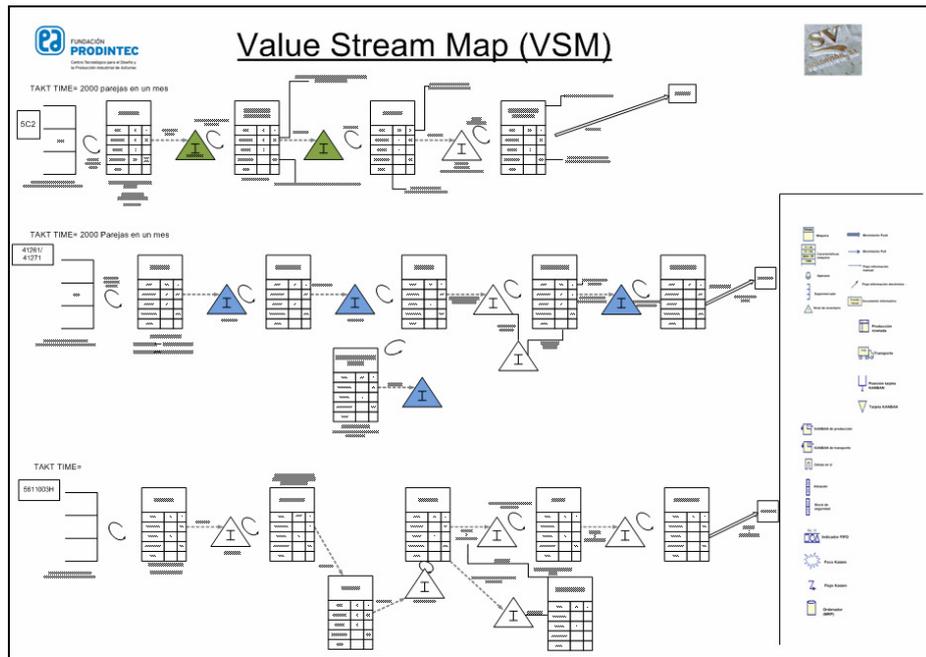


Figura 18. Value Stream Map situación actual.

## ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL MEDIANTE SIMULACIÓN

Una vez recopilada toda la información se ha pasado a modelar y simular el modelo, siendo los datos referentes a la planificación los de un mes dado.



Figura 19. Modelo de simulación.

Con el modelo simulado se observó que:

- El inventario en curso no permanece constante a lo largo del mes, lo que indica que existe la posibilidad de reducirlo mediante una sistemática kanban entre determinados procesos.
- Un 7% del tiempo de los trabajadores se dedica a mover materiales, lo que indica que realizando alguna agrupación de máquinas (células de trabajo) a añadir a las ya existentes se podría reducir los movimientos e inventarios intermedios.

### DEFINICIÓN DE LA SITUACIÓN FUTURA

Basándose en el análisis de la situación actual, se decidió diseñar una situación futura que contemplase las siguientes posibles mejoras:

- Empleo de sistemática pull+kanban entre células de trabajo.
- Empleo de una célula de curvado taladrado.
- Eliminar el stock entre el proceso de mecanizado y verificación.

Dichas mejoras quedaron reflejadas en el mapa de flujo de valor de la situación futura:

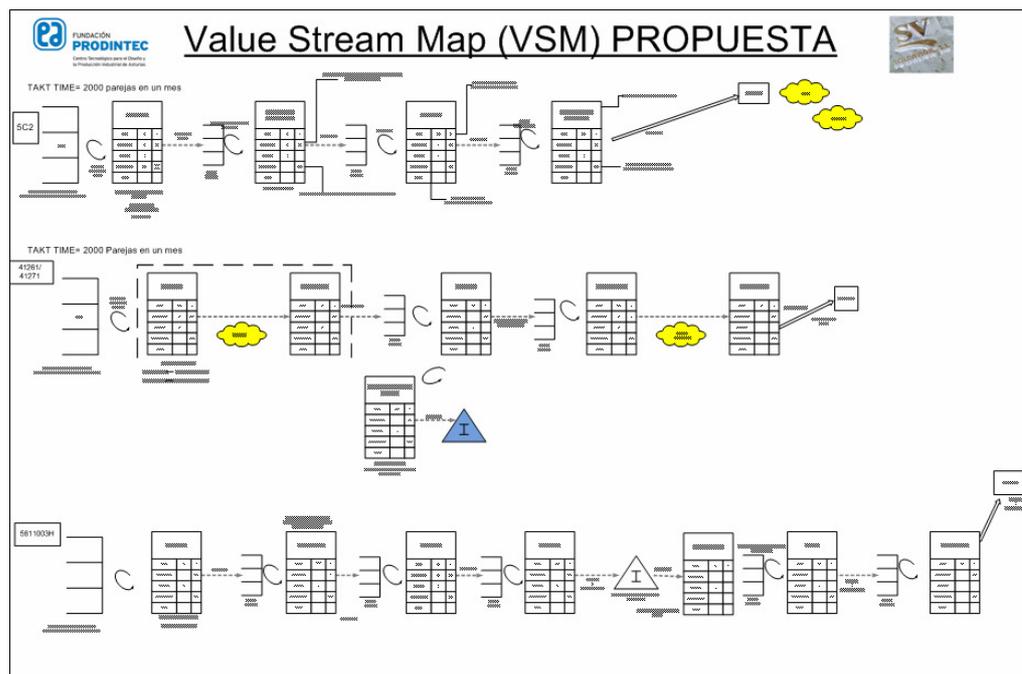


Figura 20. Value Stream Map situación futura

## ELABORACIÓN DE MODELO DE SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tomado como base el modelo generado para el análisis de la situación actual, se realizaron las modificaciones pertinentes para representar la situación futura y poder realizar el análisis de dicha situación. Dicho análisis se exponen en el apartado posterior.

### **RESULTADOS**

Tras realizar la fase de análisis del modelo se han llegado a las siguientes conclusiones:

- Con la sistemática pull los inventarios intermedios se pueden reducir (se espera al menos un 20%) y la planificación es mucho más sencilla, únicamente hay demandas a los últimos puestos. Esta mejora se podrá conseguir siempre que se puedan disminuir los tiempos de setup de la máquina de curvado.
- Con la célula de trabajo de curvado y taladrado, creada para una de las tres referencias analizadas, se consigue reducir los inventarios de esta referencia.

### **CONCLUSIONES**

A diferencia de los otros dos casos de simulación, donde se simulaban situaciones que no se encontraban en funcionamiento, en este caso, la simulación ha servido para analizar una situación existente pudiendo analizar de manera cuantitativa el impacto de las mejoras identificadas. Este ejemplo, permite ver cómo la simulación de procesos industriales complementa al Value Stream Map, herramienta por excelencia de análisis de sistemas productivos de Lean Manufacturing

## 10. GLOSARIO

- **AGV (Automated guided vehicle o automatic guided vehicle):** robot de transporte que a través de sistemas láser o sistemas de visión permite transportar materiales por el interior de la planta sin necesidad de personal.
- **CAD (Computer Aided Design):** herramientas informáticas que permiten a los diseñadores, ingenieros o arquitectos acortar los tiempos necesarios en el diseño de productos.
- **Célula en U:** ubicación de las distintas etapas de un procesamiento de material, de manera que estén lo suficientemente próximas como para trabajar en flujo continuo (one piece flow, o lotes pequeños). La distribución en forma de “U”, es común, puesto que minimiza las distancias a recorrer por operarios y permite distintas combinaciones de tareas por los operarios de la célula.
- **MTM (Methods Time Measurement):** es un sistema mundialmente utilizado para el estudio del trabajo y que se basa en el análisis de los métodos operatorios por micromovimientos.
- **Lay-out:** distribución en planta de las máquinas instaladas.
- **Pull:** método de producción en el que la demanda “tira” de la producción.
- **Push:** método de producción en el que la propia producción es la que “empuja” la demanda.
- **Tak time:** Ritmo de fabricación que marca el cliente (tiempo disponible para producir, dividido entre la demanda del cliente en el mismo periodo). Takt es el vocablo alemán para nombrar un intervalo de tiempo exacto, como un compás musical.
- **TPM (Mantenimiento Productivo Total):** es un nuevo enfoque del mantenimiento que no sólo permite la reducción de paradas del equipo por fallo sino que busca optimizar el rendimiento de los mismos.
- **VSM (Value Stream Map):** herramienta gráfica de análisis de procesos, en ella se representan todas las acciones necesarias en términos de material físico y flujo de

información para entregar un producto al cliente con el objeto de detectar posibles mejoras.

- **5S:** metodología para la mejora del orden y limpieza. Son 5 términos que en japonés empiezan por “S”.
  - Seiri: Separar lo necesario de lo innecesario.
  - Seiton: Buscar una ubicación a lo necesario.
  - Seiso: No ensuciar.
  - Seiketsu: Estandarizar.
  - Shitsuke: Disciplina.

## 11. BIBLIOGRAFÍA.

- Banks, J. “*Introduction to Simulation*”. Winter Simulation Conference. 1999, P.11-13.
- Nutter, P. “*Manufacturing Simulation for Industrial Projects*”. Ohio Northern University. 2006. P. 2.
- Miller, S., Pegden, D. “*Introduction to manufacturing Simulation*”. Winter Simulation Conference. 2000, P. 63-65.
- Longo, F., Mirabelli, G., Papoff, E. “*Effective Design o an Assembly Line Using Modeling&simulation*”. Winter Simulation Conference. 2006, P. 1895-1897.
- McLean, C., Leong S. “*The Role of Simulation un Strategic Manufacturing*”. Manufacturing Simulation and Modeling Group, National Institute of Standards and Techonology. P. 1-6.
- Ferrin, D. M., Miller, M., Muthler, D. “*Lean sigma and Simulation, so what´s the correlation?*”. Winter Simulation Conference. 2005, 2013-2014.
- Standridge, C. R., Marvel, J. H. “*Why Lean needs simulation?*”. Winter Simulation Conference. 2006, P. 1097.
- Adams, M., Componation, P., Czarnecki, H., Schroer, B. J. “*Simulation as tool for continuous process improvement*”. Winter Simulation Conference. 1999, P.768-769.
- Law, A. M., McComas, M. G. “*Simulation of Manufacturing Systems*”. Winter Simulation Conference. 1999, P. 57.
- Pazos Arias J.J, Suárez González A, Díaz Redondo R.P., “*Teoría de Colas y Simulación de Eventos Discretos*”. 2003, P. 35-38.
- A. Ravindran, “*Operations research and management science handbook*”.
- CIMDATA, “*The benefits of digital Manufacturing*”. 2002.





FUNDACIÓN  
**PRODINTEC**

Centro Tecnológico para el Diseño y  
la Producción Industrial de Asturias

**FEMETA**

FEDERACIÓN DE EMPRESARIOS DEL  
METAL Y AFINES DEL  
PRINCIPADO DE ASTURIAS



UNIÓN EUROPEA

Fondo  
Europeo de  
Desarrollo  
Regional



Asturias  
Reflejo de Europa



GOBIERNO DEL  
PRINCIPADO DE ASTURIAS



**IDEPA**

Instituto de Desarrollo Económico  
del Principado de Asturias

**PROYECTO  
SUBVENCIONADO  
POR EL IDEPA**