



DISEÑO DE INSTALACIONES LOGÍSTICAS A TRAVÉS DE LA SIMULACIÓN

Memoria del Proyecto Final de
Carrera de Ingeniería en Informática
realizado por
CRISTINA MARTÍN MANCERA
y dirigido por
DANIEL GUIMARANS
SERRANO
Bellaterra, 12 de junio de 2008

El sotasignat, DANIEL GUIMARANS SERRANO

Professor/a de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball a què correspon aquesta memòria ha estat realitzat sota la seva direcció per en CRISTINA MARTÍN MANCERA

I per tal que consti firma la present.

Signat: DANIEL GUIMARANS SERRANO

Bellaterra, 12 de juny de 2008

El sotasignat, MARC BACARDIT SUBIRANA
de l'empresa, DLM-SOLUTIONS, SL

CERTIFICA:

Que el treball a què correspon aquesta memòria ha estat realitzat en l'empresa sota la seva supervisió mitjançant conveni PROJECTE FINAL DE CARRERA firmat amb la Universitat Autònoma de Barcelona.

Així mateix, l'empresa en té coneixement i dóna el vist-i-plau al contingut que es detalla en aquesta memòria.

Signat: MARC BACARDIT SUBIRANA
Bellaterra, 12 de juny de 2008

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, a mi hermano y a Francisco Sayago, por estar ahí en los momentos malos y enseñarme el valor del esfuerzo.

A Daniel Guimaraens por dirigirme de manera admirable este proyecto a miles de kilómetros de distancia.

Y especialmente a Joan Rubio por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto y abrirme el camino hacia mi futuro. Y cómo no, a Núria Priego por dejar que aprendiera de su experiencia.

ÍNDICE

| | Página |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1: Introducción | 1 |
| CAPÍTULO 2: Estudio de la viabilidad del proyecto | 5 |
| 2.1. Estudio económico | 6 |
| CAPÍTULO 3: Planificación temporal | 7 |
| 3.1. Planificación temporal futura | 7 |
| 3.2. Planificación temporal | 8 |
| CAPÍTULO 4: Distribución actual de la planta | 10 |
| 4.1. Tipología de los productos | 10 |
| 4.2. Distribución actual de la planta | 12 |
| CAPÍTULO 5: Proyecto de simulación | 17 |
| 5.1. Formulación del problema | 18 |
| 5.2. Diseño del modelo conceptual..... | 21 |
| 5.3. Recogida de datos..... | 24 |
| 5.4. Construcción del modelo | 24 |
| 5.5. Verificación y validación | 33 |
| 5.6. Diseño de experimentos | 34 |
| 5.7. Análisis de resultados | 35 |
| 5.7.1. Resultados primer escenario | 36 |
| 5.7.2. Resultados segundo escenario | 37 |
| 5.7.3. Resultados tercer escenario | 39 |
| 5.7.4. Evolución del stock | 40 |
| 5.8. Documentación | 42 |
| 5.9. Implementación | 42 |
| CAPÍTULO 6: Conclusiones | 43 |
| CAPÍTULO 7: Bibliografía..... | 45 |

CAPÍTULO 1: Introducción

La empresa de bolígrafos de la que se va a realizar este proyecto es una de las 10 marcas que lideran el sector en el mundo y la primera en España. Produce unos 150 millones de bolígrafos al año, donde el 70% de su facturación es extranjera. Más de 75 países importan los bolígrafos que salen de sus cuatro fábricas situadas en Barcelona y Girona.

En España se comercializa sus bolígrafos, plumas estilográficas y el resto de la gama de productos de escritura en papelerías y grandes superficies, además de regalos de empresa y oficina. Sólo el 30% de sus bolígrafos se consumen en España.

Desde los comienzos de la empresa siempre se ha defendido la estrategia de la fabricación integral de los bolígrafos, desde la tinta hasta el plástico y acero, pasando por las puntas. Producen sus artículos incorporando los últimos avances técnicos en conceptuación, también cuentan con las creaciones de grandes diseñadores del mundo de la moda, ilustradores, humoristas gráficos, etc.

Para la ejecución de este proyecto se ha seleccionado la fábrica situada en Barcelona que cuenta con 12.000 m². Concretamente, se va a centrar en la zona de almacén, además de las áreas que están a su alrededor por ser un proceso de la planta crítico con un gran potencial de mejora para la empresa.

Para realizar la gestión del almacén de la planta, se procede de la misma manera que en sus inicios, hace ya 45 años. Se almacena el producto acabado ocupando un gran volumen en las estanterías, porque no solo se trata de almacenar los bolígrafos, sino también los expositores donde éstos se encuentran.

Antiguamente esta manera de gestionar era viable ya que contaban con pocos productos y a la vez con pocos clientes, pero hoy en día con el aumento del abanico de sus productos y el número de pedidos diarios, seguir con esta metodología supone unos costes asociados innecesarios, debido a que los gastos de almacén cada vez son más elevados. Además, se puede añadir el coste de almacenar el producto acabado con una estacionalidad elevada, hasta el punto de que quede obsoleto para una nueva colección.

Esta situación es particularmente grave en una época como la actual en la que la continua apertura del mercado obliga a ser competitivos frente a nuevas empresas que se adaptan a los gustos y necesidades de los clientes y sobre todo en la forma en que serán satisfechos con el producto y su precio.

Para resolver este problema, y así encontrar el objetivo del proyecto, se utilizará la técnica de simulación por ordenador en el que se realizarán diferentes estudios de las instalaciones, después se validará su funcionamiento y se analizarán los resultados obtenidos.

El estudio de las instalaciones lleva a la búsqueda de la organización óptima de los componentes, sean activos o pasivos, para alcanzar los volúmenes requeridos minimizando los costes, los movimientos, las existencias o almacenamientos intermedios y la inactividad o espera de los productos, tanto semielaborados como acabados.

La organización de la fábrica plantea una serie de cuestiones como el espacio que debe ser asignado a cada operación y a los almacenes, cómo debe configurarse el espacio, qué equipo de transporte debe emplearse, qué servicios necesitan en cada área, etc. Por lo tanto, hay que organizar las instalaciones necesarias para que el proceso de la salida deseada se logre con un número mínimo de recursos y con el menor coste posible.

Para poder alcanzar el rediseño de la planta se ha tenido en cuenta una serie de restricciones resultantes de:

- Tipo del producto/Proceso empleado

Dependiendo del producto se harán diferentes procesos, tales como su envoltorio y su destino una vez finalizado el proceso.

- Capacidad prevista

La empresa realiza una compra mensual a un operador logístico para el material de papelería, no obstante, actualmente se plantean hacer una compra anual, lo que implica una búsqueda de una ubicación de 288 m² aproximadamente en la nueva distribución o lo que es lo mismo, almacenar un total de 1.640 referencias con unas medidas de 70x60x60 y 45x60x60 centímetros.

- Espacio disponible

Se ha de tener en cuenta el espacio que la empresa está dispuesta a cambiar para poder hacer el rediseño y a que partes del almacén no creen oportuno renunciar.

- Restricciones del edificio

Como restricciones físicas importantes, de cara a realizar una propuesta de redistribución, podemos destacar un carrusel horizontal, que podría resultar muy costoso de trasladar. Por otra parte, una restricción física quizás más importante que la anterior, es el muelle de carga. En esta parte de la planta solo existe este, por lo que la zona de embaladores vendrá condicionada a estar cerca del muelle.

- Disponibilidad de capital para ser invertido

Una vez analizados los datos proporcionados por la simulación, se hará un estudio de mercado para poder llevar a cabo al mundo real lo que se ha construido en la simulación.

- Seguridad

Los bolígrafos y el material de oficina actualmente están protegidos con estanterías dinámicas, de forma que cuando finaliza el turno de la tarde, el material quedará cerrado con llave. Para la implementación del nuevo rediseño, se ha de estudiar que este material también deberá estar asegurado en la nueva distribución de la planta.

- Calidad del entorno

Se tendrá en cuenta la fatiga¹ de los operarios de la planta, y de como minimizar y automatizar sus movimientos para un mayor rendimiento.

Mediante la simulación se facilitará el análisis de éstas restricciones que harán reducir los siguientes puntos:

- Riesgo técnico de la solución propuesta: Validación de la solución mediante la simulación y optimización.
- Número de recursos: Optimización de las instalaciones, máquinas, espacio, operarios, etc.
- Time to Market: Reducir el período de tiempo que el producto tarda en llegar al cliente desde que se comenzó a producir.
- Riesgo económico: Tanto de costes por producto, stocks, buffers intermedios, inversiones de nuevas instalaciones, etc.

¹ Es la sensación sostenida y abrumadora de agotamiento y disminución de la capacidad para el trabajo mental y físico a nivel habitual.

CAPÍTULO 2: Estudio de la viabilidad del proyecto

Para la realización de este proyecto se utilizará el simulador QUEST® de Delmia. La elección de este simulador respecto al resto de programas, tales como, Arena, Showflow, Enterprise Dynamics, viene determinada por las siguientes características:

- Estructura abierta a programación;
- Interfaz intuitiva;
- Inserción directa de elementos 3D;
- Eficiente importación y exportación de datos, y;
- Soporte técnico eficaz y garantía de producto Delmia.

QUEST es un desarrollador de simulación potente y una herramienta de análisis de validación y visualización de los efectos del flujo del proceso de las decisiones adoptadas para satisfacer las necesidades de producción. Además, permite reducir el riesgo mediante la validación de medidas de accesibilidad, y disminuir al mínimo los gastos imprevistos y los problemas asociados. QUEST proporciona una solución completa, subministrando las herramientas necesarias tanto para un análisis eficiente del flujo de procesos como una presentación efectiva de los resultados a los usuarios, clientes y directivos.

Además, para poder hacer uso del simulador será necesario un ordenador con las siguientes características técnicas:

- Procesador Intel Core2 Duo E6750 (2,66 GHz);
- Placa Base ASUS P5K;
- Disco Duro SATA II SAMSUNG 500GB;
- Tarjeta Gráfica ASUS NVIDIA 8600 GF 512MB, y;
- Memoria RAM DDR2 1GB.

2.1. Estudio económico

El presupuesto del proyecto se valorará de la siguiente manera:

Coste del personal

 Consultor 6.250€

Coste del hardware

 Ordenador * 15% de uso 225€

Coste del software

 QUEST * 15% de uso 3.600€

Coste del material fungible

 Luz y material de oficina 250€

TOTAL 10.325€

CAPÍTULO 3: Planificación temporal

3.1. Planificación temporal futura

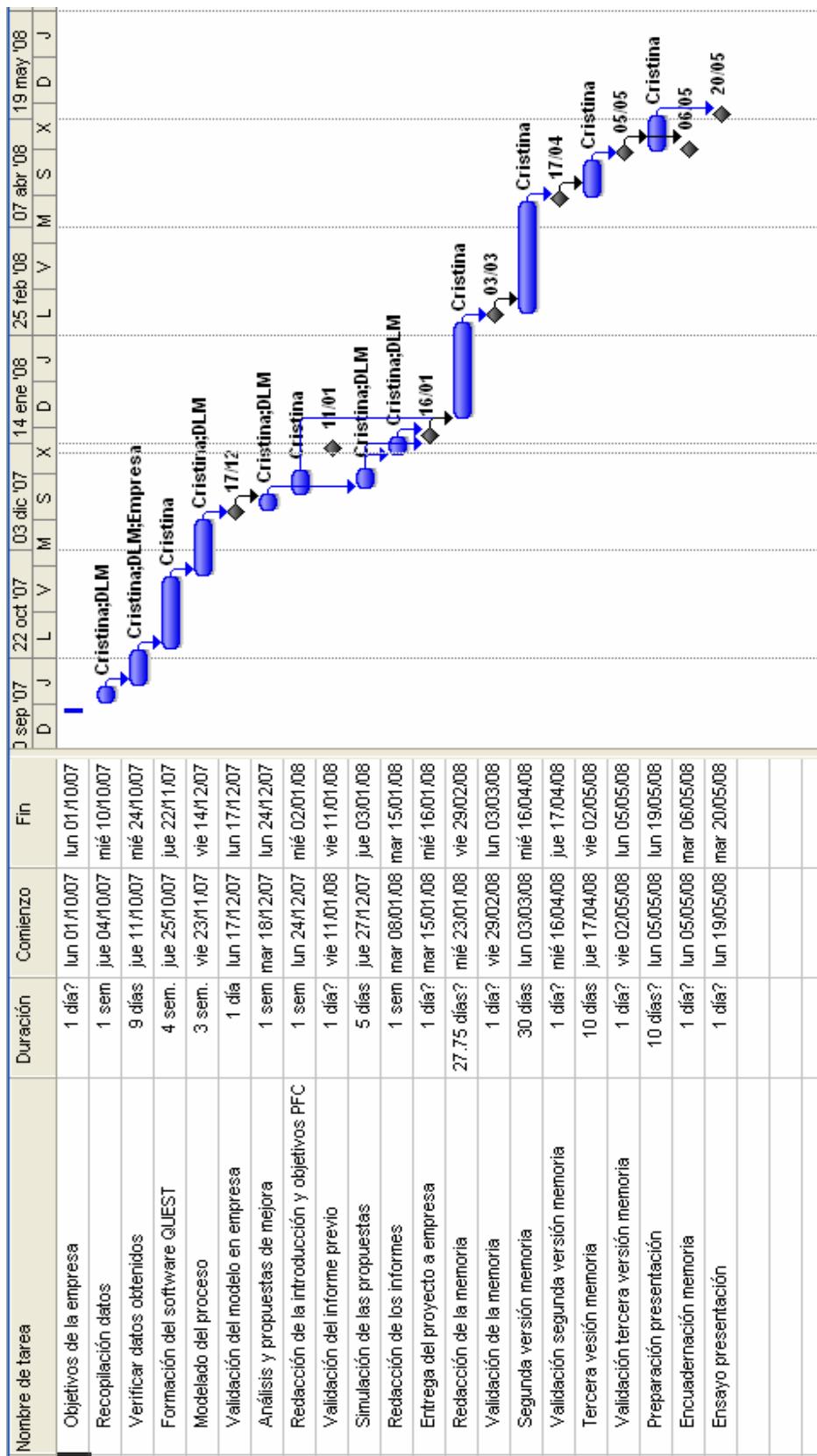


Figura 3.1.1 Planificación futura

3.2. Planificación temporal

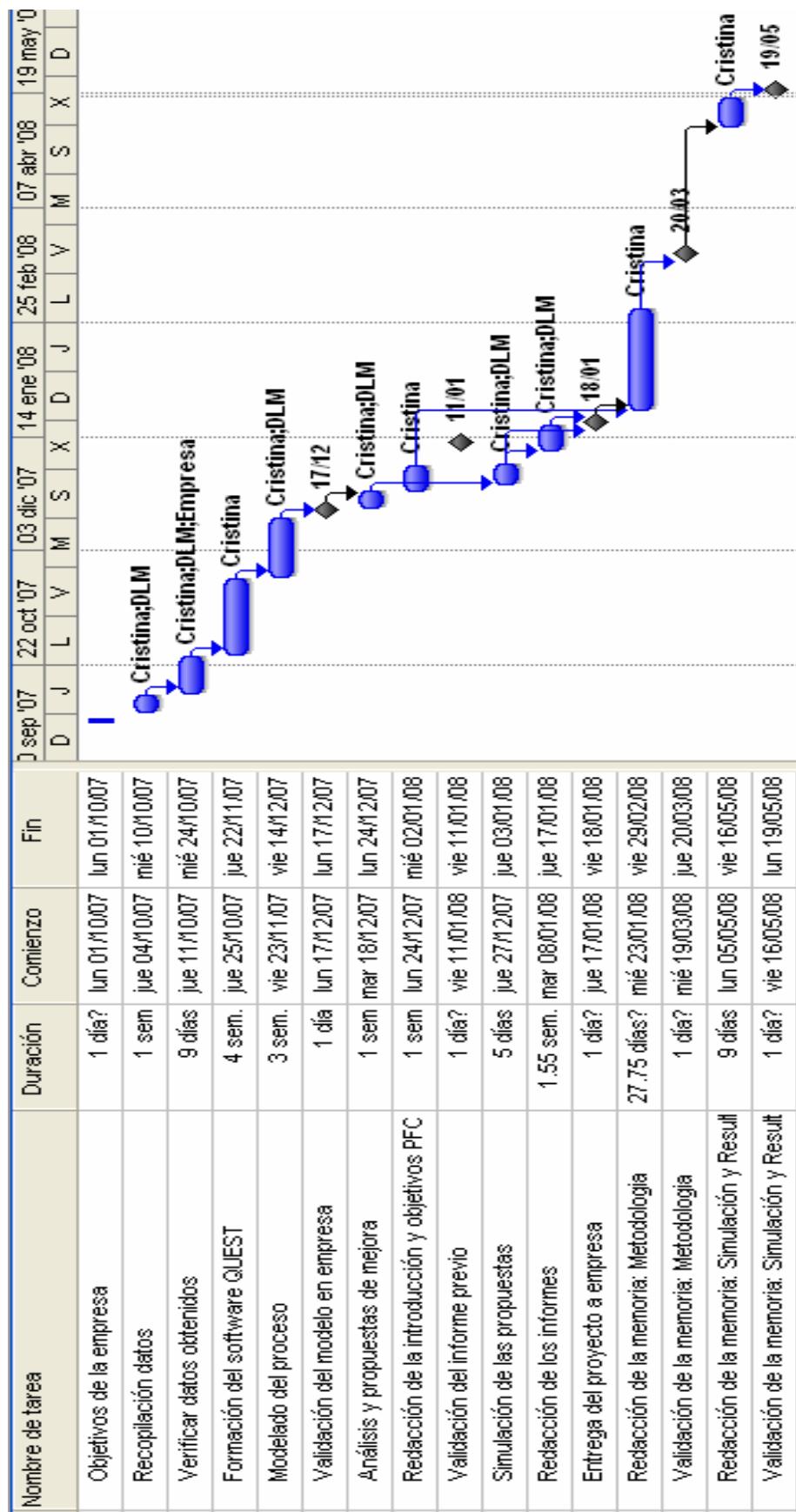


Figura 3.2.1 Planificación temporal

Si se realiza una comparativa entre la planificación futura (Figura 3.1.1) con la planificación que se ha seguido (Figura 3.2.1) en la realización de este proyecto, se puede observar que se ha retrasado dos semanas la redacción de la memoria.

No obstante, la planificación futura se realizó con un amplio margen de tiempo por si algún punto fuera prorrogado, y de esta forma, no se viera afectada la finalización del proyecto para la fecha de entrega prevista.

CAPÍTULO 4: Distribución actual de la planta

Actualmente la empresa de bolígrafos dispone de tres grupos de productos, además de diferentes áreas de trabajo donde se va a realizar el estudio. En este capítulo se explicará qué tipo de productos se pueden encontrar en el almacén y después, las áreas de la distribución actual de la planta.

4.1. Tipología de los productos

En la empresa de bolígrafos se pueden encontrar los siguientes productos:

- Bolígrafos, plumas y lápices portaminas. Este material se puede presentar de dos maneras diferentes:

- Bolígrafos displayados

Son bolígrafos que están colocados en expositores o en estuches. Mayoritariamente se comercializan en papelerías. Ejemplos de bolígrafos displayados se pueden encontrar en la Figura 4.1.1.



Figura 4.1.1 Bolígrafos displayados

- Bolígrafos blisters

Son bolígrafos que tienen el envase de plástico transparente.

Normalmente se comercializan en grandes superficies. Un ejemplo de bolígrafos blíster se puede ver en la Figura 4.1.2.



Figura 4.1.2 Bolígrafos blíster

- Material de papelería procedente del operador logístico, tales como carpetas, libretas, mochilas, etc.
- Material de soporte para la realización de los envoltorios blisters y displayados, por ejemplo, plásticos, cartones, expositores, estuches, etc.

4.2. Distribución actual de la planta

Se puede observar en este plano cómo es la distribución actual.

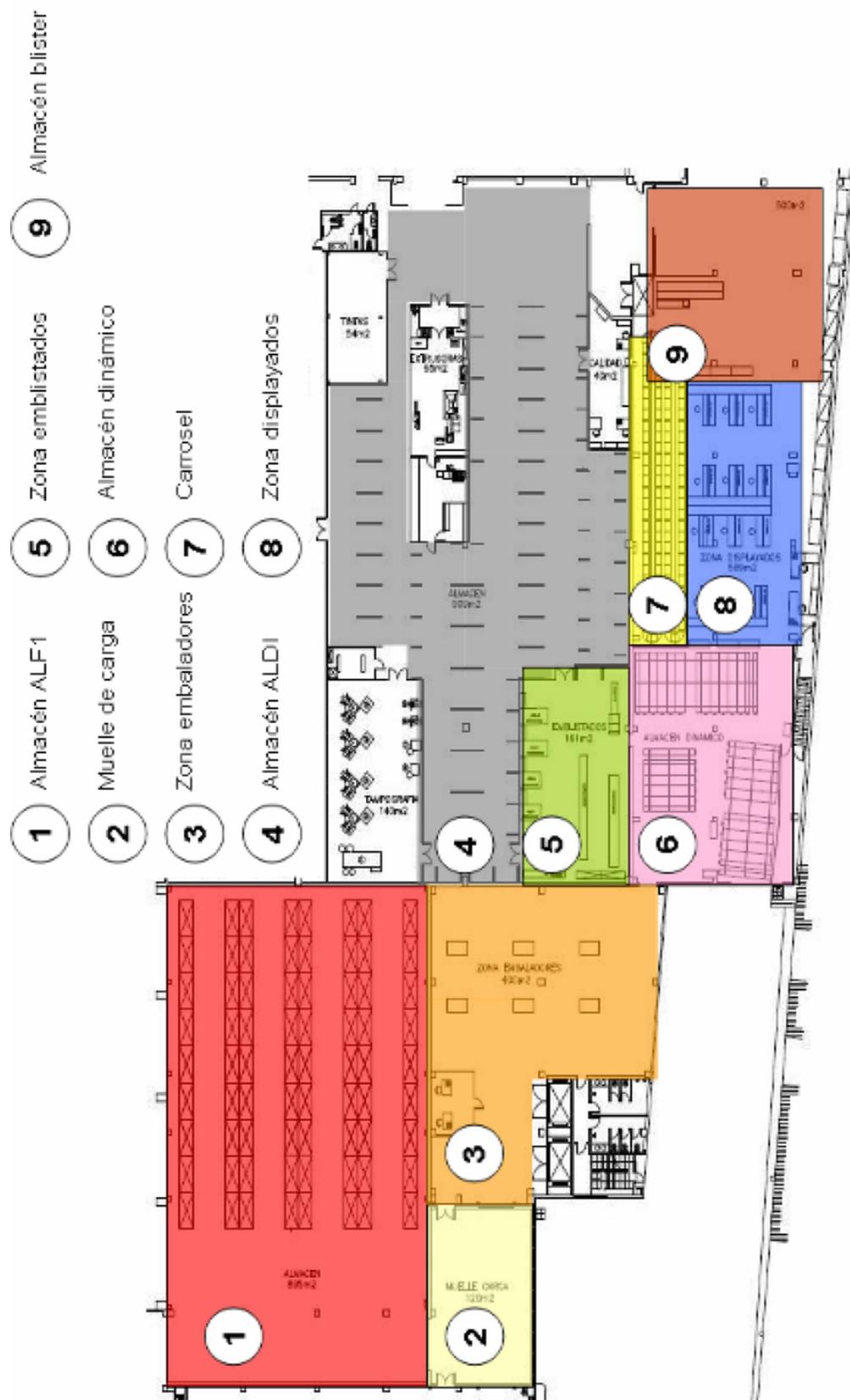


Figura 4.2.1 Plano actual de la planta

Las diferentes áreas de esta distribución son:



Almacén ALF1

Un almacén de 895 m² que dispone de una capacidad de 1.722 palets con una altura de 8 metros. Aquí se almacena el producto semiacabado y acabado que se exportará a otros países. Esta sección no se rediseñará en el nuevo layout², pero se tendrá en cuenta a la hora de estudiar el flujo del material.



Figura 4.2.2 Almacén ALF1

² Disposición de los elementos.

Muelle de carga

El muelle de carga cuenta con 120 m² donde el camión se posiciona para cargar los pedidos. El muelle es un gran problema para la empresa porque si el camión es demasiado largo, no se puede posicionar correctamente en la puerta y el camión deberá ser cargado manualmente.



Figura 4.2.3 Detalle del muelle de carga

Zona de embaladores

La zona donde se embalan los pedidos es de 400 m² y dispone de ocho mesas, una por operario. En el caso que se tenga que embalar un palet se tendrá que retractilar³ y después flejar⁴. En cambio, si se trata de un bulto solo se deberá flejar.



Figura 4.2.4 Zona de embaladores

³ Envolver algo, protegiéndolo con una película plástica que se adapta a su forma.

⁴ Colocar flejes, tira de chapa de hierro o de cualquier otro material resistente, para asegurar bultos.



Almacén ALDI

También se le puede llamar almacén de displayados. Con un total de 909 m² se almacena todas las materias primas para poder llevar a cabo la elaboración de los displayados, es decir, el cartón para los expositores, plásticos, diferentes cajas según modelos, papeles, etc.



Zona emblistados

Esta zona tiene 161 m² y es donde se realiza el envoltorio blíster de los bolígrafos. Esta sección no se rediseñará en el nuevo layout, pero sí será importante a la hora de estudiar el flujo del material.



Almacén dinámico

El almacén dinámico tiene 275 m² y se trata de estanterías móviles. En estas estanterías se almacena los bolígrafos y plumas a granel, mejor dicho, los que todavía no están envueltos. El motivo por el que este material está en este tipo de estanterías es porque proporciona la seguridad de no ser substraído fácilmente.



Figura 4.2.5 Almacén dinámico

Carrusel horizontal

Disponen de dos carruseles de una altura de 2,9 metros. Un carrusel esta formado por 54 módulos y el segundo de 52 módulos cada uno con ocho niveles de altura, por lo que tienen en total una capacidad mínima de 848 ubicaciones y una capacidad máxima de 3.392 ubicaciones. Hoy en día está destinado para almacenar todo lo que se refiere al material de papelería, material displayado y los bolígrafos blíster que se comercializarán a la cadena El Corte Inglés. En la Figura 4.2.6 se puede observar como es un carrusel.



Figura 4.2.6 Carrusel de ocho niveles

Zona de displayados

Esta zona dispone de 589 m² donde actualmente trabajan doce operarias para colocar los bolígrafos, plumas y lápices portaminas en estuches o expositores.

Almacén blíster

Este almacén dispone de 500 m² para ubicar todo el material que ya está emblistado que no puede ser almacenado en el carrusel por no tratarse de producto comercializado por El Corte Inglés.

CAPÍTULO 5: Proyecto de simulación

La simulación consiste en reproducir en un ordenador el comportamiento de un sistema bajo ciertas condiciones. Para conseguirlo es necesario formalizar el conocimiento que se tiene del sistema que se desea simular, mediante relaciones lógicas, matemáticas y simbólicas.

Las etapas de un proyecto de simulación se dividen en las siguientes partes:

- Formulación del problema: Define el problema a estudiar, incluyendo los objetivos escritos del problema.
- Diseño del modelo conceptual: Especificación del modelo a partir de las características de los elementos del sistema a estudiar y sus interacciones teniendo en cuenta los objetivos del problema.
- Recogida de datos: Identificar, recoger y analizar los datos necesarios para el estudio.
- Construcción del modelo: Construcción del modelo de simulación partiendo del modelo conceptual y de los datos.
- Verificación y validación: Comprobar que el modelo se comporta como es de esperar y que existe la correspondencia adecuada entre el sistema real y el modelo de simulación.
- Diseño de experimentos: En función de los objetivos del estudio, desarrollar las estrategias de definición de los escenarios a simular.
- Análisis de resultados: Analizar los resultados de la simulación con la finalidad de detectar problemas y recomendar mejoras o soluciones.

- Documentación: Proporcionar documentación sobre el trabajo efectuado.
- Implementación: Poner en práctica las decisiones efectuadas con el apoyo del estudio de simulación.

5.1. Formulación del problema

La especificación de objetivos es una de las tareas más importantes de cualquier proyecto y lógicamente también de un proyecto de simulación. Si los objetivos no están claros o son poco concretos, existe el peligro de no abordar el problema para el cual se ha solicitado el proyecto de simulación.

Para la realización de este proyecto, dado que la empresa tiene una metodología de trabajo que se ha de revisar para adaptarse a los nuevos tiempos, el proyecto se centrará en la redefinición de dicha metodología, así como la redistribución y rediseño de los almacenes que resulten afectados, para dar una mejor y más eficaz respuesta a los clientes.

El cambio principal es dejar de almacenar producto acabado para almacenar producto a granel, es decir, bolígrafos y plumas sin displayar/emblistar para proporcionar más flexibilidad, ya que una misma referencia de bolígrafo se puede presentar de diversas maneras como producto final.

Al cambiar esta filosofía la empresa obtendrá más beneficios debido a que reducirá el alto coste de almacenamiento y la pérdida de producto acabado en caso de quedarse obsoleto una vez displayado o emblistado.

Además de este cambio, se proponen los siguientes:

- Una consecuencia directa de almacenar el producto a granel será que el displayado o el emblistado se realizará según marquen los pedidos del día, en otras palabras, se planificarán los pedidos según el día de salida.
- Eliminación del almacén dinámico por su alto coste en tiempo de picking⁵.
- Utilización de equipos con lectura de radio frecuencia para llevar a cabo un seguimiento del material a granel, material de emblistado o displayado y el producto acabado.
- Destinar el producto a granel al carrusel, porque éste nos proporciona la seguridad que se exige y, además, se encuentra en el eje central de la planta donde se podrá acceder a él desde la zona de emblistado o displayado.
- El inconveniente de trabajar con la metodología presentada es la de trabajar con lotes pequeños. Para obtener productividad, se actuará de la siguiente forma:
 - Al conocer los pedidos que se realizarán en el día, se agruparán las mismas referencias del producto final.
 - Además, el material necesario para el displayado se preparará en el día anterior a la realización del pedido.
- Se crearán nuevas zonas en la distribución:
 - Material de papelería: La empresa desea hacer una compra anual de este material para ahorrarse la compra mensual del operador logístico que disponen actualmente. Por este motivo, se deberá crear una nueva zona.

⁵ Preparación de pedidos.

Con la nueva política de realizar el producto final para los pedidos del día, en esta zona estará el material previsto que se utilizará a corto plazo. De esta manera, se podrá realizar un picking rápido.

- Sobrestock papelería: Esta zona se almacenará todo el producto que no podrá ser ubicado en el almacén de material de papelería.
 - Almacén displayado: En este almacén estarán las materias primas para realizar el displayado que será utilizado a corto plazo, de esta manera, el picking será rápido.
 - Sobrestock displayado: Al igual que el sobre stock de papelería, se almacenarán las materias primas que no se podrán ubicar en el almacén de displayado por falta de ubicaciones y aumentar así la velocidad de picking en el almacén.
 - Preparación pedidos: Tras agrupar las mismas referencias, en la zona de preparación de pedidos se separará el producto final según la cantidad deseada de cada pedido.
 - Pulmón de seguridad: En esta área se almacenará cualquier producto que no pueda ser expedido ya sea porque:
 - a. Falta algún producto para completar el pedido del cliente.
 - b. Adelanto de pedidos de uno o dos días.
 - c. Alta ocupación de la zona de preparación de pedidos.
- Como consecuencia de la creación de nuevas áreas, se cambiará la metodología de trabajo de los operarios de manutención. La misión principal de estos operarios es la de suministrar a las operarias de displayado el material de soporte. Una vez finalizada esta tarea, repondrán el material de papelería y el material de displayado en los almacenes, a partir de los almacenes de sobre stock.

5.2. Diseño del modelo conceptual

Una vez se conoce los objetivos del proyecto, se construye un modelo conceptual donde se especifica las relaciones estructurales del sistema a simular.

Los modelos conceptuales pueden ser considerados modelos analíticos si pueden ser resueltos analíticamente o numéricamente. Si ello es posible, siempre es preferible obtener la solución empleando técnicas analíticas, dado que en general su coste de cálculo será menor. No obstante, en la mayoría de los procesos reales la solución analítica es inviable si se pretende construir el modelo con todo el nivel de detalle deseado.

Los modelos de eventos discretos son modelos dinámicos, estocásticos y discretos en los que las variables de estado cambian de valor en instantes no periódicos del tiempo sin estar dirigidos por un reloj. Estos instantes de tiempo se corresponden con la ocurrencia de un evento. Por tanto, un evento se define como una acción instantánea que puede cambiar el estado del modelo.

Construir una especificación formal del modelo de simulación en modelos de eventos discretos se basan fundamentalmente en los conceptos de evento y actividad. Un evento genera un cambio en las variables de estado y una actividad encapsula de forma natural un modelo de eventos discretos. Las Redes de Petri (RdP) permiten representar de forma natural un modelo de eventos discretos. En una RdP los eventos están asociados a transiciones y las actividades a lugares. Aunque no es el único formalismo que maneja eventos discretos y actividades, es el único que representa formalmente el paralelismo y la sincronización. Otros aspectos que contribuyen a potenciar las RdP para el modelado de sistemas de eventos discretos son:

- Es posible efectuar un análisis cuantitativo del sistema, estudiando aspectos estructurales tales como las situaciones de bloqueo o la alcanzabilidad de ciertos estados.

- La RdP permite determinar de modo inmediato todos aquellos eventos que pueden aparecer cuando el sistema se encuentra en un cierto estado y todos los eventos que pueden ser desencadenados por la aparición de un evento determinado.
- La RdP permite formalizar un sistema a distintos niveles de abstracción de acuerdo con los objetivos del modelado.
- Permite la descripción del sistema mediante la metodología *Bottom-Up*⁶:
 - Descomposición de un sistema en sistemas más sencillos (subsistemas);
 - Desarrollo de RdP de los subsistemas;
 - Construcción del modelo del sistema completo a partir de las RdP {submodelos} de los subsistemas que han sido previamente desarrollados y verificados;
 - Es un formalismo de modelado gráfico con muy pocas reglas sintácticas.

⁶ Las partes individuales se diseñan con detalle y luego se enlazan para formar componentes más grandes, que a su vez se enlazan hasta que se forma el sistema completo.

Un ejemplo de modelo conceptual, sería el aprovisionamiento del material que está en granel para llenar el carrusel.

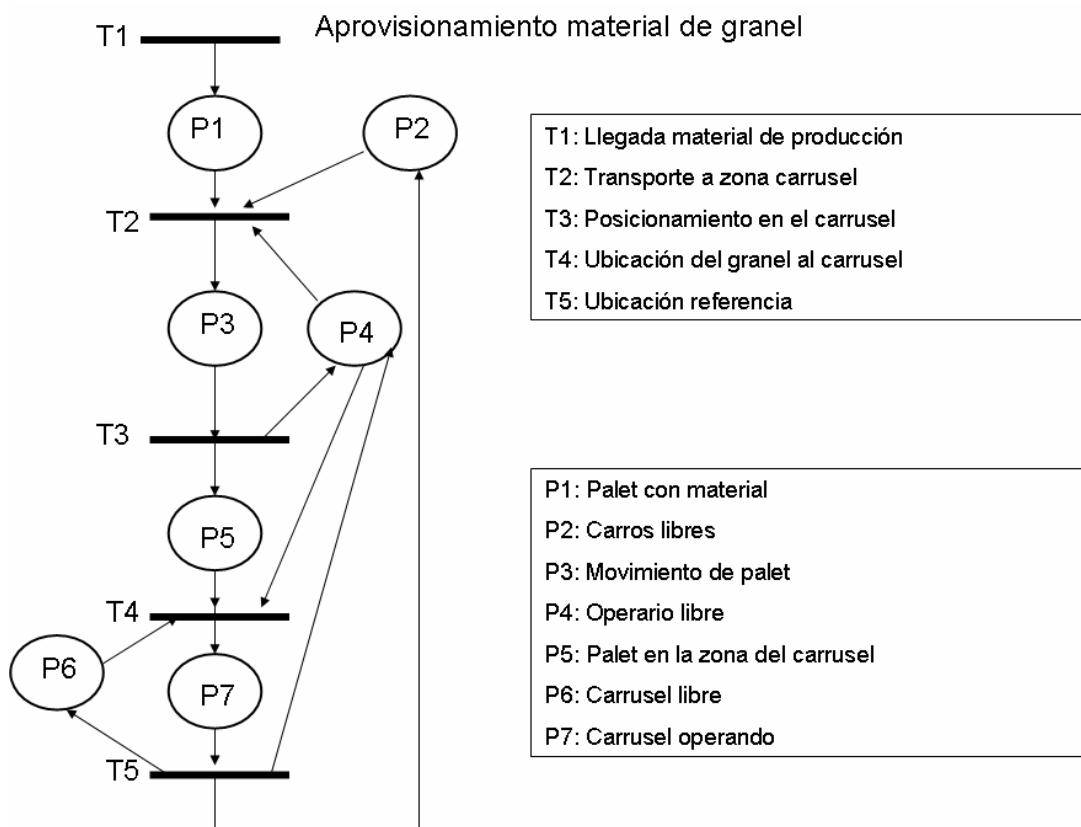


Figura 5.2.1 Red de Petri

Los nodos tipo transición, representados por rectángulos y por la nomenclatura T_i , se utilizan para modelar los eventos que aparecen en la dinámica del sistema estudiado, mientras que los nodos lugar representados por círculos y anotado como P_i , se utilizan para describir colas de espera, estados de los elementos del sistema, y condiciones que permiten que un evento pueda o no suceder. Los arcos que conectan los nodos lugar y los nodos transición se utilizan para describir las condiciones necesarias para que se pueda activar el evento asociado a la transición.

5.3. Recogida de datos

El análisis de los datos de los que se dispone sobre el sistema a modelar es una tarea imprescindible que, correctamente desarrollada, facilita y simplifica considerablemente el desarrollo de los modelos y de los proyectos de simulación.

La primera etapa a seguir en el proceso de recogida de datos es determinar la información necesaria basándose en los objetivos planteados en el proyecto y en función del nivel de detalle deseado.

Los datos no provienen en general de una única fuente, sino que son el resultado del análisis de la información existente, de extrapolaciones, de entrevistas, de medidas efectuadas para el estudio, por lo que para el proyecto se han obtenido los siguientes datos:

- Stock del material procedente de los almacenes y de fábrica;
- Stock del material procedente del material de papelería;
- Cálculo aproximado del material de papelería por la compra anual al operador logístico;
- Listado de los pedidos que han expedido en el último año;
- Tiempos que los operarios embaladores dedican a retractilar y flejar;
- Tiempos que las operarias de displayado/emblastado necesitan para cada referencia de producto;
- Velocidad del carrusel;
- Dimensiones de las referencias para ser ubicadas en las estanterías.

5.4. Construcción del modelo

Dentro de la simulación de procesos de elementos discretos existen multitud de programas en el mercado, pero para la realización de este estudio, tal y como se presentó en el Capítulo 2 en el estudio de viabilidad, se utilizará el simulador QUEST.

El primer paso para la construcción del modelo es obtener el diseño del layout a modelar en formato AutoCAD para poderlo visualizar en QUEST.

Los distintos elementos deben estar representados a un nivel de detalle apropiado. El nivel de la realidad visual en el modelo es muy importante para comunicar la intención y el resultado de la simulación. Una regla general es que el modelo debe ser de un nivel de detalle a fin de que todas las partes interesadas puedan reconocerse y entenderse claramente.

Para ello, QUEST proporciona un entorno de modelado 3D donde cada modelo puede ser dividido en dos partes: el modelo lógico y el modelo físico.

El modelo físico de QUEST es la representación en 3D del sistema que se modela. QUEST tiene un sistema de CAD 3D para crear representaciones físicas de los elementos y partes en el sistema.

El modelo lógico es el núcleo de la simulación en QUEST y se compone de dos tipos de componentes lógicos: elementos y partes.

- Elementos: Por ellos circularán las piezas. Entre ellos están interconectados. Los elementos están formados por:
 - Lógicas, que son las reglas y procedimientos que rigen el comportamiento del elemento. Las lógicas pueden ser por defecto de QUEST, como por ejemplo, la lógica First-In-First-Out (FIFO), y lógicas escritas por el usuario a través del lenguaje SCL (Simulation Control Language), ya que en algunas situaciones, la combinaciones de lógicas estándares a través del interfaz de QUEST no son adecuadas para la simulación;
 - Atributos, que son los elementos de información adjuntos al elemento;
 - Procesos, son la actividad desarrollada por un elemento que definen las piezas requeridas para realizar el proceso, el tiempo y que salida debe generar una vez finalizado el proceso, y;
 - Geometría CAD 3D, que constituye el elemento físico de la representación.

- Partes o piezas: son las entidades que son procesadas por los elementos y fluyen a través del modelo. Al igual que los elementos, las partes tienen atributos y geometría CAD 3D, pero a diferencia de los elementos, las partes no tienen ninguna lógica.

En el modelo lógico, se definen los siguientes tipos de elementos:

- Elementos de creación y destrucción de partes:
 - Fuentes o *Sources*: Elementos que crean partes y las libera en la simulación. Se pueden configurar mediante botones como se muestra en la Figura 5.4.1 o mediante programación.

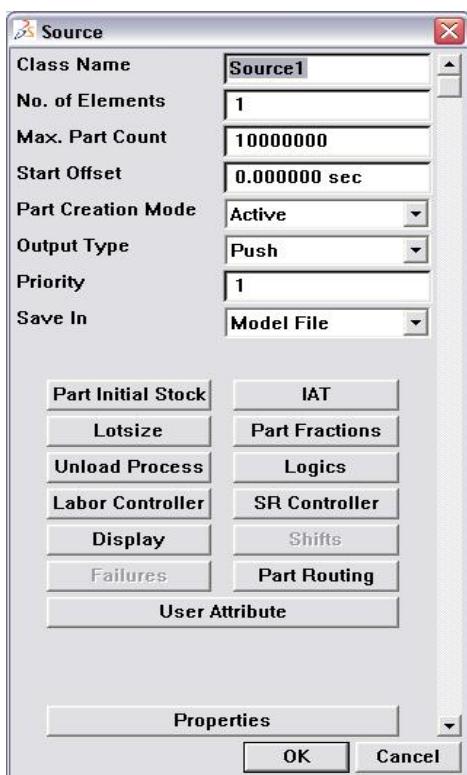


Figura 5.4.1 Cuadro de diálogo para las fuentes

Como parámetros de las fuentes más importantes se tiene:

Max Part Count: Número máximo de partes que se crearán durante el transcurso de la simulación.

Lotsize: Creará el número de piezas indicadas y las expulsará en lote, es decir, simultáneamente.

IAT: Será la función de distribución que seguirá para crear piezas.

Part Fractions: Una misma fuente puede crear diferentes piezas, por lo que se indicará en esta casilla la proporción de cada una.

Part Routing: Además, una misma fuente podrá expulsar las piezas por diferentes salidas.

Unload Process: Se puede asignar un proceso de descarga.

Logics: En el caso que se programe mediante código SCL, se le asignará el código en este botón.

User Attribute: Tanto para las fuentes como para cualquier elemento, los atributos tienen la característica que se pueden acceder a este dato desde cualquier elemento del modelo.

Para la realización de este proyecto, las fuentes utilizadas serán las que creen las piezas bolígrafos, material de papelería y material de soporte, por lo que todas contendrán sus lógicas respectivas.

- Sumideros o *Sinks*: Elementos que destruyen partes.



Figura 5.4.2 Cuadro de diálogo de los sumideros

Para la construcción de este modelo, los parámetros de los sumideros se han tomado por defecto.

Es importante utilizar los sumideros para eliminar las piezas del sistema que ya han sido procesadas para que el modelo no sufra retardos en tiempo de simulación.

- Elementos de almacenamiento:
 - *Buffers*: Elementos de almacenamiento para las partes.

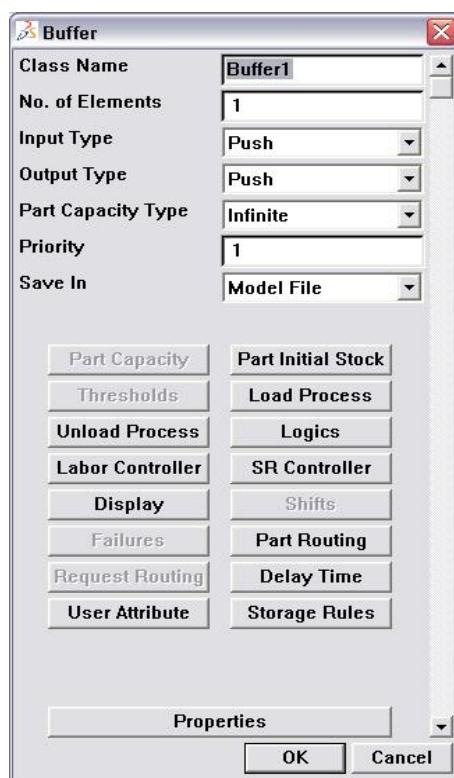


Figura 5.4.3 Cuadro de diálogo de los buffers

El cuadro de diálogo de los buffers tiene botones en común con otros elementos, pero lo que le diferencia del resto es:

Part Capacity Type: Capacidad máxima de piezas que el buffer puede contener, ya puede ser infinito o un número entero. Para la simulación los buffers tienen una capacidad limitada porque se tratan de los almacenes de la planta.

Part Initial Stock: Son las piezas que contendrán en el buffer al inicio de la simulación, es decir, el stock inicial.

Un ejemplo de buffers con geometría de estantería:

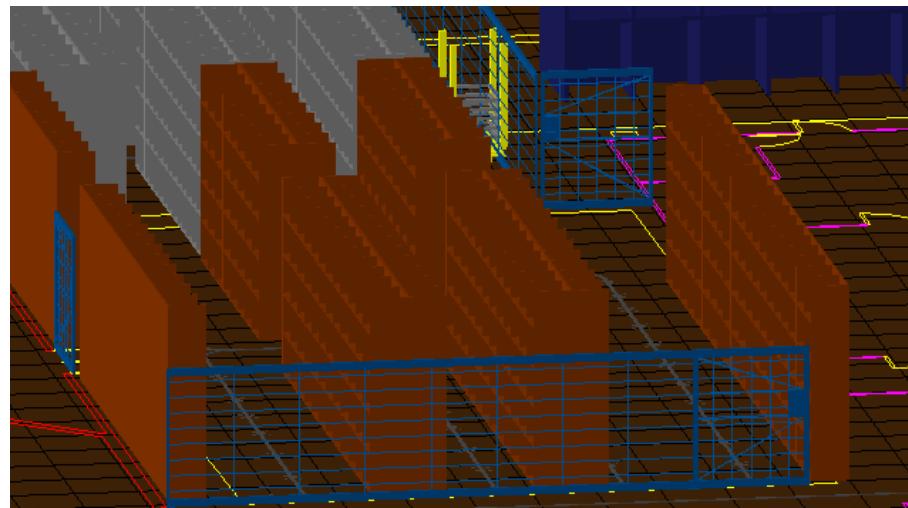


Figura 5.4.4 Ejemplo de buffers

- Procesador de los elementos:
 - Máquinas: Elementos que procesan las partes.

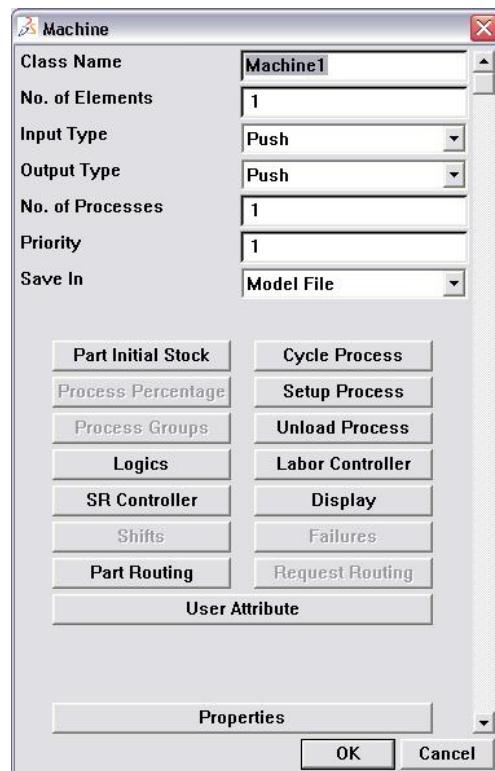


Figura 5.4.5 Cuadro de diálogo de las máquinas

Uno de los parámetros más importantes de las máquinas es:

Cycle Process: Gracias a este botón se puede definir el proceso (Ver Figura 5.4.6) que utilizará la máquina. En el cuadro de diálogo de los procesos se especifica qué requerimientos son necesarios para ejecutar el proceso, en este caso, qué piezas son necesarias. Una vez tenemos las piezas en la máquina, con *Cycle Time* simularemos el tiempo que necesitan las piezas para ser procesadas. A continuación, con el botón *Products* indicaremos cómo saldrán las piezas una vez finalizado el ciclo del proceso.



Figura 5.4.6 Cuadro de diálogo de los procesos

Para la simulación de este proyecto, se han considerado como máquinas las operarias de displayado y los operarios de embalaje, de forma que como requerimientos de partes son los bolígrafos o los paquetes de pedidos respectivamente. Visualmente, en el modelo las máquinas tienen la geometría de trabajadores (ver Figura 5.4.7a). Además, de la máquina que realiza flejado y retratilado a los pedidos ya embalados (ver Figura 5.4.7b).

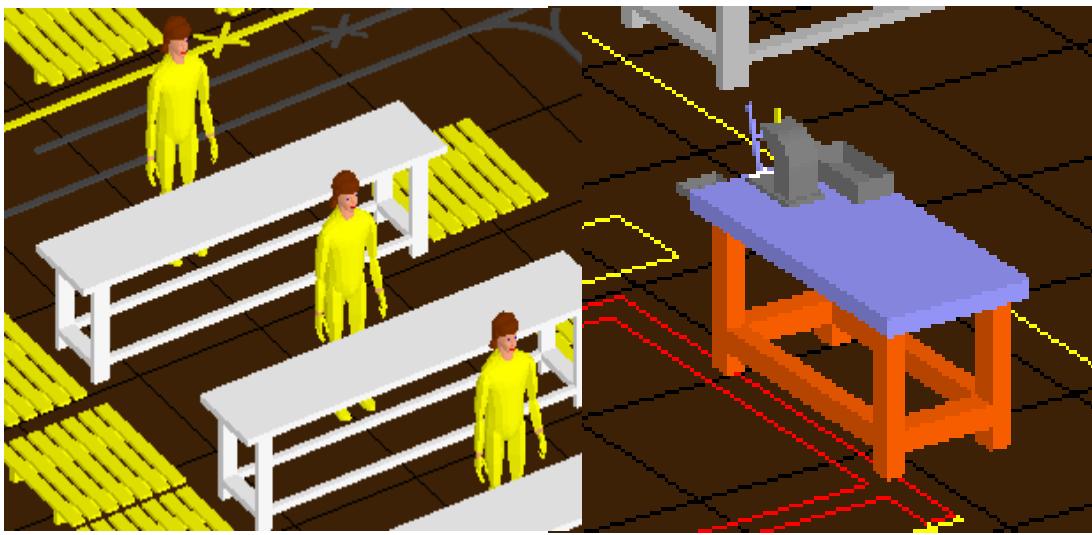


Figura 5.4.7a Ejemplo de trabajadores con comportamiento de máquina

Figura 5.4.7b Ejemplo de máquina

- Manipulación de las partes:
 - Trabajadores o *Labors*: Modelo de los seres humanos que se mueven y llevan piezas. Los trabajadores necesitan tres elementos para su funcionamiento correcto:
 - Controlador: El controlador es el encargado de decidir hacia qué lugar se dirigirá el trabajador, es decir, es la figura del encargado de una empresa. Para la realización del proyecto, los parámetros escogidos son por defecto.

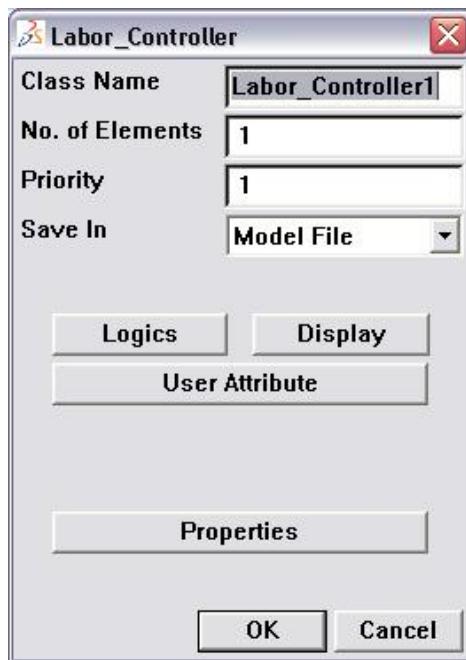


Figura 5.4.8 Cuadro de diálogo del controlador

- Camino: Nos define el recorrido que realizará el trabajador asociado. En el cuadro de diálogo correspondiente podemos definir si se trata de un camino unidireccional o bidireccional.

Para este proyecto, todos los caminos de los trabajadores serán bidireccionales.

- Puntos de decisión: Son elementos que actúan como sensores de los elementos de transporte.



Figura 5.4.9 Detalle del camino, puntos de decisión y trabajador

Cada uno de estos elementos van conectados entre si, de manera que las piezas van haciendo el recorrido que dictamina estas conexiones. Un ejemplo de conexión entre elementos es la mostrada en la Figura 5.4.10.

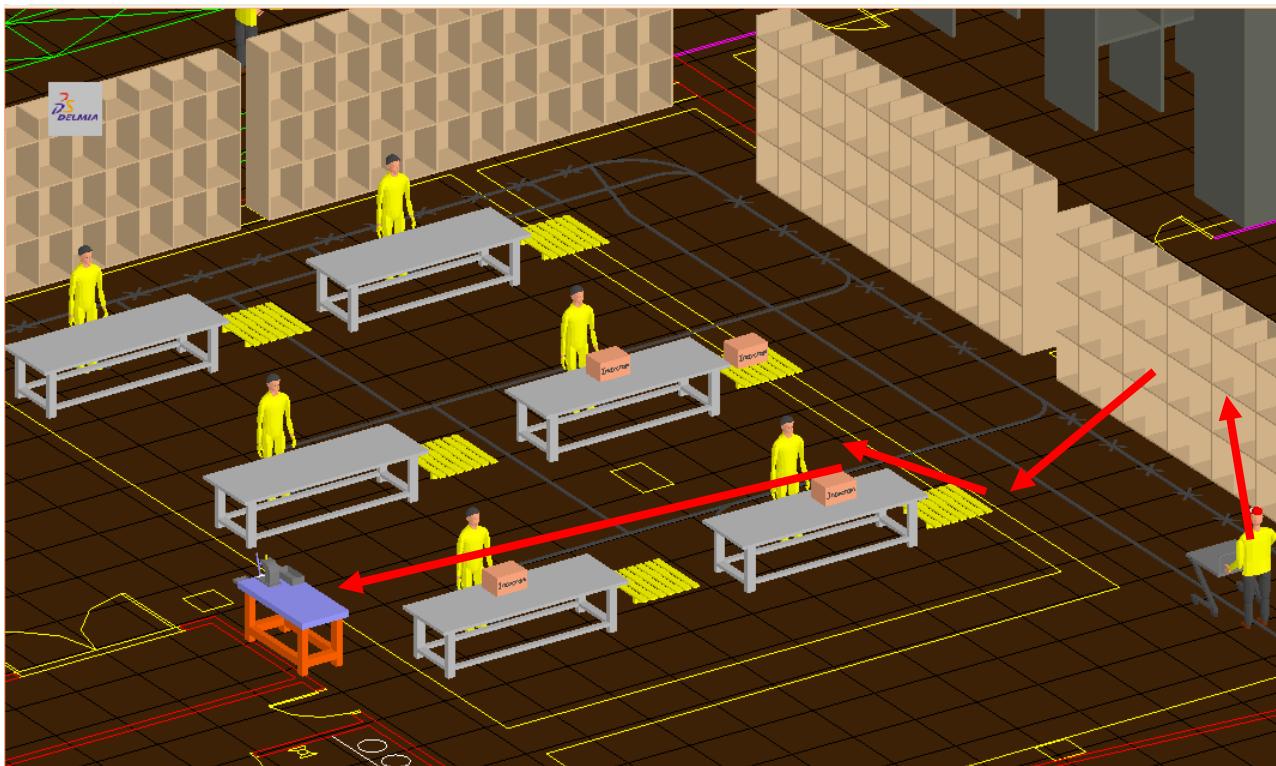


Figura 5.4.10 Conexión entre los diferentes elementos

5.5. Verificación y validación

Un aspecto muy importante que incide de modo determinante en el éxito de los proyectos de simulación es que el modelo con el que se trabaja sea una representación suficientemente fiable y, por lo tanto, creíble, del comportamiento del sistema.

La fase de verificación consiste en asegurar que el modelo conceptual ha sido transformado de forma correcta en un modelo de simulación por ordenador, por otro lado, la fase de validación consiste en asegurar que el modelo presenta la realidad con la precisión suficiente según el objetivo perseguido.

En este caso, la verificación y la validación de la distribución de la planta propuesta se ha realizado elemento a elemento. Primeramente, con un estudio previo y con los datos proporcionados por la empresa, se ha calculado los resultados de manera estática, y una vez expuestos a la empresa, se empleó la simulación para obtener los resultados dinámicamente y poder así constatar con los resultados calculados de forma estática.

Los resultados proporcionados por la simulación fueron bastante aproximados a los resultados estáticos, por lo tanto, quedó demostrado que el proyecto de simulación es fidedigno con la realidad.

5.6. Diseño de experimentos

Se trata del aspecto estratégico en la resolución de problemas de decisión. En este apartado se ejecutará la simulación donde se contempla una serie de condiciones iniciales que determinaran el funcionamiento de los elementos a lo largo de la simulación de dos turnos de trabajo.

Para ello, se inicializará el modelo a través de un fichero de entrada con los pedidos que se deberán realizar en el día, además de inicialización del carrusel, el stock de papelería y el material de soporte.

Cada una de las configuraciones de niveles de los parámetros con los que se desea evaluar o simular el sistema, se llama escenario. Dado que la empresa puede tener diferentes ratios en la realización de los pedidos, se ha simulado tres escenarios: un primer escenario con un volumen de venta mínimo, un segundo escenario con un volumen de venta medio, y por último, un escenario con volumen de venta pico. Como volumen de venta mínimo escogeremos 4.137 ZUN⁷'s, un nivel de venta medio de unos 9.000 ZUN's, y de 45.845 ZUN's para la simulación de una cantidad de venta elevado.

Tanto para las operarias de displayado o emblistado como los operarios embaladores trabajarán un turno de trabajo de ocho horas, excepto los operarios de manutención, que trabajarán dos turnos de ocho horas, de esta manera el primer turno subministran el material necesario a las operarias de displayado o emblistado, y en el segundo turno deberán reponer el material desde el sobrestock de papelería y el sobrestock de displayado a los almacenes respectivos. No obstante, para todos los operarios se ha dotado de veinte minutos de descanso por cada turno de trabajo.

⁷ Unidad de Venta.

Además, para poder realizar una comparativa en los resultados, se ha establecido las siguientes hipótesis de trabajo tras el estudio de los datos proporcionados, para los tres escenarios:

- Tiempo de picking en el carrusel de 60 segundos/referencia;
- Tiempo de setup⁸ en las operarias de displayado de 10 minutos;
- Tiempo de setup para la realización del blíster de 30 minutos;
- Tiempo para empaquetar de 10 minutos;
- Tiempo para retractilar son 2 minutos/palet;
- Tiempo para realizar el flejado de 3 minutos/palet;
- Velocidad en el movimiento de los operarios de manutención de 0,5 metros/segundo.

5.7. Análisis de resultados

A partir de los distintos escenarios desarrollados mediante un adecuado diseño experimental, se debe determinar, cuáles son los datos que se van a recolectar de la simulación. Así, que se descartará aquellos datos que corresponden a la fase de inicialización del sistema, ya que se considera que no aportan nada al estudio porque distorsionan las estadísticas.

De las diferentes explotaciones de los escenarios comentados en la fase anterior, se obtendrán como resultado los siguientes parámetros:

- Número de operarias de displayado;
- Número de operarios de manutención;
- Número de operarios embaladores;
- Ocupación de las operarias de displayado;
- Ocupación de los operarios de manutención;
- Ocupación de los operarios embaladores;
- Ocupación de las estanterías de preparación de pedidos;
- Ocupación del pulmón de seguridad;
- Ocupación del carrusel en picking;
- Ocupación del carrusel en reposición.

⁸ Tiempo entre un cambio de referencia al siguiente.

Los resultados que se obtendrán en el número de operarios no se han tenido en cuenta la fatiga de éstos, es decir, se ha simulado el escenario con un rendimiento de trabajo en un 100%.

5.7.1. Resultados primer escenario

Para el primer escenario, donde el volumen de venta es mínimo, se obtiene:

| Parámetros | Resultados |
|---|--|
| Número de operarias de displayado | 5 operarias |
| Número de operarios de manutención | 4 operarios |
| Número de operarios embaladores | 2,5 operarios |
| Ocupación de las operarias de displayado | 80% realizando el displayado y 6% en setup |
| Ocupación de los operarios de manutención | 75% |
| Ocupación de los operarios embaladores | 60% |
| Ocupación de las estanterías de pedidos | 50% |
| Ocupación del pulmón de seguridad | 0% |
| Ocupación del carrusel en picking | 25% |
| Ocupación del carrusel en reposición | 50% |

Tabla 5.7.1 Resultados primer escenario

Como se puede observar en la tabla de resultados, los operarios de manutención se ha obtenido 2,5 operarios. Esto quiere decir que se dispondrá de dos trabajadores en una jornada laboral de ocho horas, mientras que el 0,5 restante será un trabajador que trabaje a media jornada.

Para las operarias de displayado se ha dividido la ocupación en el tiempo dedicado al cambio de referencia (setup) y al tiempo propiamente dicho para realizar el trabajo de displayar. El motivo de esta división es poder cuantificar la penalización que se tiene al trabajar con lotes pequeños y ver cuánto afecta al automatismo de las operarias.

Además, disponer de poco volumen de pedidos, el pulmón de seguridad no ha sido utilizado, por lo que para los siguientes escenarios hay que comprobar su grado de ocupación, por si se hubiera gestionado mal la utilidad de esta zona en la planta de almacenaje.

En referencia a la ocupación del carrusel se puede apreciar que la ocupación total del carrusel es del 75%, es decir, la reposición del carrusel del material a granel puede ser rellenado en un mismo turno de trabajo, siempre y cuando los operarios de manutención hayan finalizado la extracción del material necesario para las operarias de displayado.

5.7.2. Resultados segundo escenario

Para el segundo escenario, donde el volumen de venta es medio, se obtiene:

| Parámetros | Resultados |
|--|---|
| Número de operarias de displayado | 11 operarias |
| Número de operarios de manutención | 5 operarios |
| Número de operarios embaladores | 5 operarios |
| Ocupación de las operarias de displayado | 10 operarias al 85% displayado y un 10% en setup + 1 operaria al 65% displayado y un 8% en el setup |
| Ocupación de los operarios de manutención | 95% |
| Ocupación de los operarios embaladores | 90% |
| Ocupación de las estanterías de pedidos | 100% |
| Ocupación del pulmón de seguridad | 32% |
| Ocupación del carrusel en picking | 80% |
| Ocupación del carrusel en reposición | 50% |

Tabla 5.7.2 Resultados segundo escenario

Al igual que en el primer escenario, la ocupación de las operarias de displayado se ha dividido en dos, además, en esta simulación se ha obtenido que diez operarias trabajaran un 95%, mientras que una operaria lo hará a un 73%. Se puede observar que el tiempo de setup es elevado, es decir, en un turno de ocho horas, se dedica 48 minutos en cambios de referencias.

La ocupación de un recurso a más de un 85% es crítica porque tanto los operarios como las máquinas, no pueden tener una ocupación tan alta debido a que los operarios tienen fatigas, descansos o ausencias, y las máquinas pueden sufrir alteraciones en su funcionamiento o incluso tiempos de mantenimiento. Por lo tanto, para obtener un resultado real, el número de operarios se incrementarían a uno más, es decir, dispondremos de doce operarias para el displayado, seis operarios para manutención y embaladores.

A diferencia del escenario anterior, la ocupación en la zona de preparación de pedidos es del 100%, es decir, se necesitará la zona del pulmón de seguridad para almacenar temporalmente estos pedidos para ser expedidos. Por este motivo, el pulmón de seguridad tiene una ocupación del 32%.

La alta ocupación del carrusel en la realización del picking (80%) determina que la reposición del material se realice fuera del turno, es decir, en el turno de la noche.

5.7.3. Resultados tercer escenario

Por último, los resultados obtenidos para el tercer escenario con un volumen de venta elevado son los siguientes:

| Parámetros | Resultados |
|--|-----------------------------------|
| Número de operarias de displayado | 13 operarias |
| Número de operarios de manutención | 5 operarios |
| Número de operarios embaladores | 6 operarios |
| Ocupación de las operarias de displayado | 85% displayando y un 10% en setup |
| Ocupación de los operarios de manutención | 95% |
| Ocupación de los operarios embaladores | 100% |
| Ocupación de las estanterías de pedidos | 100% |
| Ocupación del pulmón de seguridad | 62% |
| Ocupación del carrusel en picking | 100% |
| Ocupación del carrusel en reposición | 50% |

Tabla 5.7.3 Resultados tercer escenario

Los operarios presentan una ocupación mayor al 85% y el carrusel trabaja a un 100%, provocando que los resultados obtenidos en este escenario sean críticos. En consecuencia, al más mínimo fallo del carrusel se formará un cuello de botella debido a que está en funcionamiento durante todo el turno de trabajo.

5.7.4. Evolución del stock

Además de los resultados anteriores, se ha simulado la evolución de los stocks del producto a granel de las diferentes referencias con diferentes lead-time⁹.

Para un lead-time de diez días, se ha obtenido el siguiente gráfico.

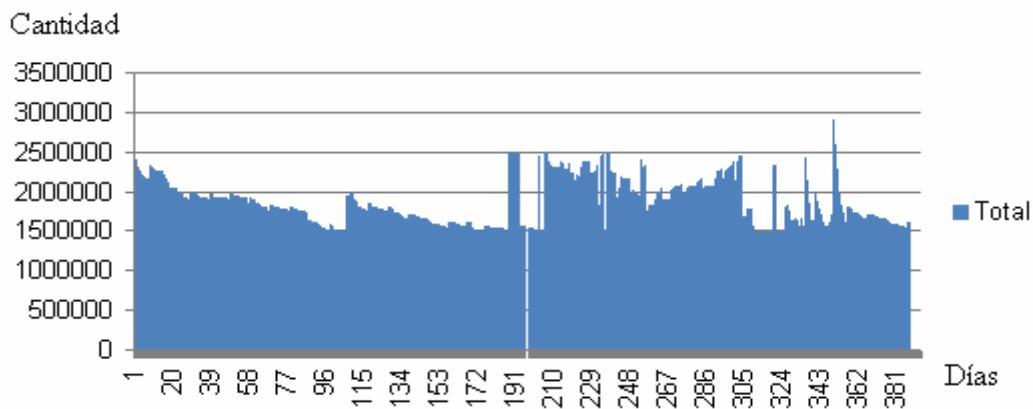


Gráfico 1 Evolución stock con lead-time de diez días

Como se puede observar cerca del día 200 hay una rotura de stock, esto es debido a que es una temporada alta para la empresa, y se ha tenido un volumen de venta elevado.

⁹ Es el período de tiempo entre que se ordena realizar el producto hasta que se expide.

Si se realiza la simulación con un lead-time de veinte días se obtiene el siguiente gráfico:

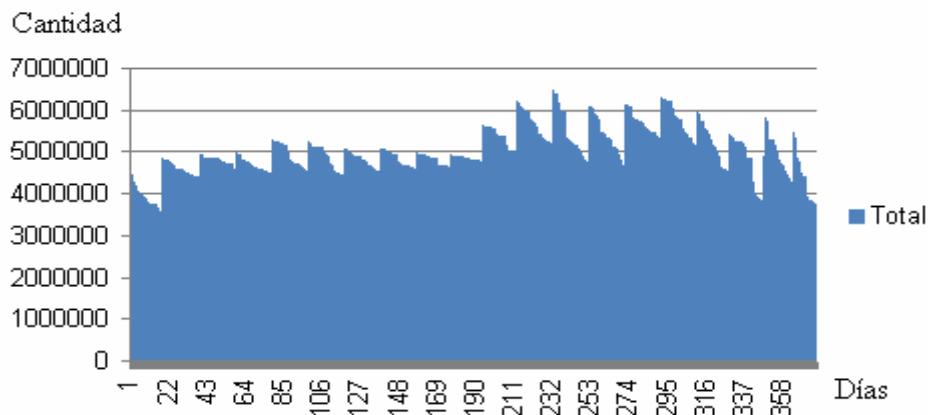


Gráfico 2 Evolución stock con lead-time de veinte días

Se puede apreciar como se incrementa el nivel de stock cada veinte días y tiene una evolución constante.

Por último, con un lead-time de treinta días se obtiene:

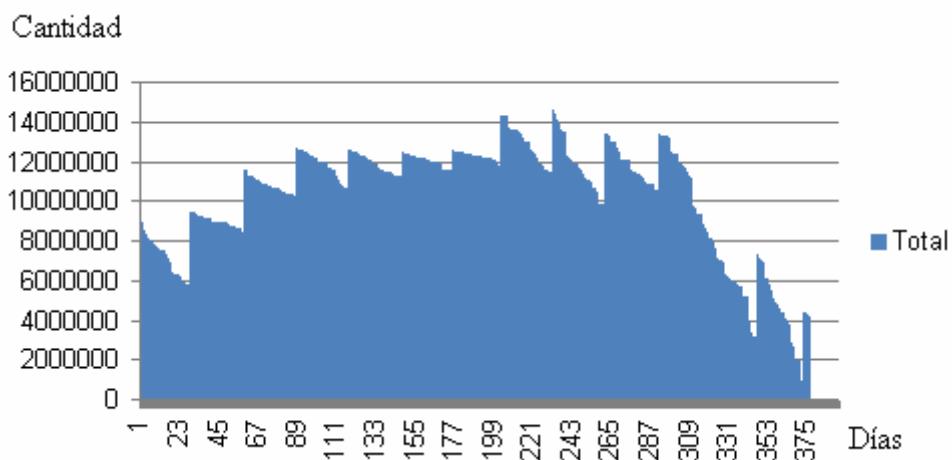


Gráfico 3 Evolución stock con lead-time de treinta días

En este gráfico se puede ver que a partir del día 309 hay una disminución en el stock, de manera que al tener un volumen de venta elevado y transcurrir demasiado tiempo entre que se da la orden de fabricación hasta que se expide, roza la rotura de stock hasta la siguiente llegada de material, por lo que cada vez más el stock tarda en recuperarse.

5.8. Documentación

Es importante mantener una documentación permanentemente actualizada que refleje el estado del proyecto y que evolucionará y se enriquecerá en paralelo con el desarrollo del mismo. Para cada una de las fases del proyecto de simulación se ha mostrado el estado de éste y los resultados intermedios al cliente en cada una de las reuniones realizadas durante el desarrollo.

Al finalizar el proyecto se entregará de forma escrita la documentación final al cliente con los objetivos iniciales, todas las especificaciones del modelo, además de los resultados obtenidos y el estudio de mercado, ya que tener una buena documentación, es facilitar la futura reutilización del modelo si ésta fuera de interés.

5.9. Implementación

Un proyecto de simulación no tiene éxito si las mejoras o cambios que ha justificado técnica y económicamente no son posteriormente implementados.

Por este motivo, además de proporcionar resultados mediante la simulación, se realiza el estudio sobre el nivel de inversión que debería realizar la empresa para llevar a cabo la solución propuesta. En este caso, la solución se ha presupuestado de la siguiente manera:

INVERSIÓN TECNOLÓGICA:

- Terminales de radio frecuencia 65.000€
- Equipos de impresión etiquetaje..... 1.200 €
- Software gestión Almacén Arcante (SGA) 84.000 €

INVERSIÓN INFRAESTRUCTURA:

- Estanterías 130.000 €
- Cerramiento de seguridad (vallado)..... 17.050 €

ELEMENTOS DE MANUTENCIÓN:

- Carretones hidráulicos..... 2.607 €

Total inversión 299.857 €

CAPÍTULO 6: Conclusiones

Finalizada la simulación y una vez analizados los resultados obtenidos, ha quedado demostrado que el cambio de metodología de trabajo propuesto, es decir, trabajar con producto a granel, es viable ya que los operarios pueden realizar los pedidos del día. Además, con este cambio se minimiza el espacio del almacén, incluso evitar que un producto acabado quede almacenado y pueda quedarse obsoleto.

Sería interesante balancear los pedidos en dos turnos de trabajo en vez de aumentar el número de operarios para poder realizar los pedidos del día. Esto es debido a que la expedición la marca la hora de llegada del camión al muelle y la capacidad de la caja del camión, por lo que el número y el ritmo de trabajo de los operarios podrían disminuir porque es el camión quien limita la expedición.

No obstante, el modelo sugerido presenta unos factores de riesgo. Por ejemplo, el carrusel puede llegar a ser un cuello de botella si no se sigue una política correcta en la reposición del material a granel. Un buen método sería distribuir en una misma zona del carrusel los productos con más rotación, de esta manera disminuiría el movimiento del carrusel.

Todo el cambio propuesto, no se podría realizar si no tenemos una trazabilidad del producto de forma informatizada. De esta manera, se puede obtener en cualquier momento el nivel de los stocks, qué referencias son necesarias para realizar un pedido, etc.

A través de las ventajas que proporciona la simulación por ordenador se ha podido obtener las conclusiones anteriormente mencionadas, por lo que se ha permitido evaluar las estrategias de mejora sin perturbar el funcionamiento del sistema real de la planta, además de evaluar hipótesis sobre cómo y por qué aparecen ciertos fenómenos en el sistema. Incluso, analizar los cuellos de botella indicando el estado y grado de utilización de los recursos que entran en juego, y por último, es posible

responder a preguntas del tipo: ¿qué ocurriría si...? que son esenciales para la mejora del rendimiento de los sistemas.

No obstante, los modelos de simulación digital son costosos y requieren tiempo para desarrollarse, verificarse y validarse, sin contar que se requiere una gran cantidad de experimentos para encontrar soluciones óptimas.

Finalmente, como conclusión personal, se puede comentar que la realización de este proyecto ha requerido mucho esfuerzo en el aprendizaje de la herramienta de QUEST pero una vez superada esta fase, ha sido muy satisfactorio saber que a día de hoy, la empresa está buscando los proveedores que más se ajusten a sus necesidades para llevar a cabo la solución proporcionada a través de la simulación. Por lo que se puede decir, que este proyecto de simulación ha sido un éxito.

CAPÍTULO 7: Bibliografía

A. Guasch, M.A. Piera, J. Casanovas, J. Figueras: *Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios.* Edicions UPC, 2002

A. Guasch, M.A. Piera, J. Casanovas, J. J. Ramos: *Cómo mejorar la logística de su empresa mediante la simulación.* Ediciones Diaz de Santos, 2006

DELMIA Corporation. QUEST® Simulation Control Language Reference Manual, 2007

En una època com l'actual en què la contínua obertura del mercat obliga a ser competitius enfront a noves empreses que s'adapten als gustos i necessitats dels clients, l'empresa de bolígrafs realitza la gestió del seu magatzem de la mateixa forma que en els seus inicis, fa 45 anys. Per aquest motiu, es fa necessària una adaptació dels sistemes actuals per a respondre a les característiques del mercat. Per a arribar a aquest objectiu s'emprarà la tècnica de simulació per ordinador per a avaluar les estratègies de millora sense pertorbar el funcionament del sistema existent, a més d'avaluar hipòtesis sobre com i per què apareixen certs fenòmens en el sistema.

En una época como la actual en la que la continua apertura del mercado obliga a ser competitivos frente a nuevas empresas que se adaptan a los gustos y necesidades de los clientes, la empresa de bolígrafos realiza la gestión de su almacén de la misma forma que en sus inicios, hace ya 45 años. Por este motivo, se hace necesaria una adaptación de los sistemas actuales para responder a las características del mercado. Para alcanzar este objetivo se empleará la técnica de simulación por ordenador para evaluar las estrategias de mejora sin perturbar el funcionamiento del sistema existente, además de evaluar hipótesis sobre cómo y por qué aparecen ciertos fenómenos en el sistema.

Nowadays, in a context of open markets, companies are forced to improve their competitiveness to meet customers' demands and needs. Pens manufacturer company manages its warehouse in the same way they did 45 years ago, when they got into the market. Therefore, an adaptation process is compulsory to respond to market's current characteristics. In order to achieve this goal, computer simulation techniques are used to evaluate different strategies while the real system is not perturbed. Moreover, this process allows studying cause and effect hypothesis on phenomena observed in the system.