UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

GRADO EN

INGENIERÍA INFORMÁTICA

TRABAJO FIN DE GRADO

Sistema de Gestión Automatizado: Diseño, Interfaz e Implantación

José Iván San José Vieco

Noviembre, 2010

Resumen

En este Proyecto Fin de Carrera se pretende diseñar e implementar un interfaz gráfico en lenguaje Java para poder controlar un Centro de Distribución Automatizado de una forma sencilla y visual, así como medir también el impacto que la introducción de un sistema de identificación de objetos tiene sobre él. También se pretende diseñar e implantar un Sistema de Gestión de Almacén, utilizando este interfaz como medio para controlar todo el sistema.

Para ello, se ha realizado un estudio de los Centros de Distribución Automatizados, con la intención de poder observar qué podría mejorarse para hacerlos más eficientes. Una de las posibles mejoras sería el etiquetado de los productos a través de etiquetas RFID, tecnología que, previsiblemente, sustituirá a los tradicionales códigos de barras. También se incluyen una serie de propuestas de distribución del almacén para realizar el picking, o mezcla de productos, para que pueda realizarse en el menor tiempo posible.

Para la realización de estas tareas y como no se dispone de un centro de distribución real, se ha diseñado un almacén similar al que posee J. García Carrión en la localidad de Daimiel mediante el programa Grasp10, controlado por el interfaz desarrollado en Java. Del almacén se han realizado una serie de simulaciones con Arena9.0, las cuales nos muestran cual sería la distribución más óptima para realizar todo el proceso de almacenaje y expedición de productos de dicho centro de distribución.

Summary

In this personal Project we try to design and develop a graphic interface in Java language in order to be able to control an Automatic Distribution Centre in an easy and visual way, and to measure the impact the introduction of an object ID system has on it. We also try to design and add a Storage Management System, using that interface as a way to control the whole system.

In order to manage that control, we had done some research about the Automatic Distribution Centres, with the idea of being able to observe what could be improved to make these centres more efficient. One of the possible improvements would be the labelling of the products by RFID tags, a technology that, presumably, will take over the traditional bar codes. Therefore we include a series of propositions of distribution in the storehouse in order to do the picking, or mixture of products, as fast as possible.

To make all these tasks possible, since we do not have access to a real distribution centre, we have designed a similar storehouse to the one that J. García Carrión owns in the city of Daimiel with the program Grasp 10 and controlled by the interface developed in Java language. We have done a series of virtual simulations of warehouse with the Arena9.0 program and they show what would be the best way of distribution to do all the process of storage and the acquisition of the products from that very centre of distribution.

1 - INTRODUCCIÓN

1.1 - Motivación para el desarrollo de este trabajo

1.2 - Objetivos del trabajo

1.3 - Estructura del trabajo

2 – ESTADO DEL ARTE

2.1 – Centros de Distribución Automatizados (CDA)

2.2 – Tecnologías de identificación de objetos

2.3 – Autómatas programables

3 – ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN AUTOMATIZADO

3.1 – Introducción

3.2 – Especificaciones del centro de distribución

3.3 – Estudio para el diseño del centro de distribución

3.4 – Diseño del almacén

3.5 – Diseño de los sistemas de manipulación

3.6 – Distribución en planta y geometría

3.7 – Diseño del sistema de gestión

3.8 – Diseño de la red

4 – SIMULACIÓN DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN AUTOMATIZADO

4.1 – Simulación del centro de distribución automatizado mediante Grasp10

4.2 – Montaje y puesta en marcha de la simulación conectada a una plataforma física

4.3 – Control de la simulación: Interfaz

4.4 – Datos obtenidos de la simulación

4.5 – Conclusiones

5 – ANÁLISIS DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN REAL

5.1 – Problemática actual de la planta de JGC

5.2 – Presentación de propuestas

6 – CONCLUSIONES

6.1 – Aportaciones

6.2 – Futuras líneas de trabajo

7 – BIBLIOGRAFÍA

8 – ANEXOS

Anexo I: Obtención de tiempos promedios en las operaciones características de los centros de distribución

Anexo II: Estudio de tiempos en el centro de distribución

Anexo III: Simulación de las propuestas de picking mediante Arena 9.0

Tema 2

Figura 2.1: Almacén convencional (Fuente: www.mecalux.es)

Figura 2.2: Almacén dinámico (Fuente: www.mecalux.es)

Figura 2.3: Almacén tipo carrusel (Fuente: www.etsystems.com)

Figura 2.4: Almacén automático (Fuente: www.directindustry.es)

Figura 2.5: Robot realizando el proceso de picking (Fuente: www.directindustry.es)

Figura 2.6: Primer código de barras (Fuente: www.patentplaques.com)

Figura 2.7: Código UPC A (Fuente: http://www.gs1co.org)

Figura 2.8: Código EAN (Fuente: http://www.upcbarcode.net)

Figura 2.9: Partes código EAN 13 (Fuente: http://www.vb-mundo.com)

Figura 2.10: Explicación código EAN 13 (Fuente: http://www.vb-mundo.com)

Figura 2.11: Diagrama explicativo funcionamiento RFID

Figura 2.12: Etiqueta RFID activa (Fuente: www.tagsense.com)

Figura 2.13: Etiqueta RFID pasiva (Fuente: www.trazablog.com)

Figura 2.14: Imagen lector fijo RFID (Fuente: www.directindustry.com)

Figura 2.15: Imagen lector de mano RFID (Fuente: www.directindustry.com)

Figura 2.16: Imagen lector móvil RFID (Fuente: www.directindustry.com)

Figura 2.17: Imagen Bokode (Fuente: http://web.media.mit.edu)

Figura 2.18: Imagen autómata programable (Fuente: www.solostocks.com)

Figura 2.19: Lenguaje de contactos (Fuente: www.automatas.org)

Figura 2.20: Lenguaje IL (Fuente: www.automatas.org)

Figura 2.21: Lenguaje GRAFCET (Fuente: www.automatas.org)

Figura 2.22: Lenguaje FDB (Fuente: www.automatas.org)

Figura 2.23: Niveles en la automatización de un almacén automático

Figura 2.24: Simatic S7-300 (Fuente: www.automation.siemens.com)

Figura 2.25: Simatic S7-200 (Fuente: www.automation.siemens.com)

Tema 3

Tabla 3.1: Índices de rotación anual de los productos almacenados

Tabla 3.2: Características y diferencias entre almacenes y centros de distribución (Fuente: www.mecalux.com)

Tabla 3.3: Comparativa buses red industrial (Fuente: F. J. Maldonado Vega et al.)

Tabla 3.4: Versiones de Profibus (Fuente: F. J. Maldonado Vega et al.)

Figura 3.1: Gráfica de distribución del nivel de expedición a lo largo de un día

Figura 3.2: Organigrama para el diseño de un almacén automático. (Fuente: F. J. Maldonado Vega et al.)

Figura 3.3: Palé europeo (Fuente: www.mabesat.com)

Figura 3.4: Transelevadores diseñados con Grasp10

Figura 3.5: Cálculo ciclo doble. (Fuente: F. J. Maldonado Vega et al.)

Figura 3.6: Mesa de rodillos diseñada con Grasp10

Figura 3.7: Mesa de cadenas diseñada con Grasp10

Figura 3.8: Mesa transferidora diseñada con Grasp10

Figura 3.9: Elevadores diseñados con Grasp10

Figura 3.10: Esquema del Punto de Identificación de Entradas

Figura 3.11: Diagrama de flujo de un Punto de Identificación de Entradas

Figura 3.12: Esquema de la planta de picking

Figura 3.13: Diagrama de flujo de cargas de la estación de picking para palés homogéneos

Figura 3.14: Diagrama de flujo de cargas de la estación de picking para palés heterogéneos

Figura 3.15: Esquema del almacén automático

Figura 3.16: Diagrama de flujo de cargas del almacén automático

Figura 3.17: Esquema del centro de distribución completo

Figura 3.18: Niveles de una red industrial. (Fuente: F. J. Maldonado Vega et al.)

Figura 3.19: Simatics Siemens S7-300 (Fuente: www.automation.siemens.com)

Figura 3.20: Simatics Siemens S7-200 (Fuente: www.automation.siemens.com)

Tema 4

Figura 4.1: Vista del PIE diseñado con Grasp10

Figura 4.2: Vista almacén automático diseñado con Grasp10

Figura 4.3: Vista estación picking diseñada con Grasp10

Figura 4.4: Vista almacén completo diseñado con Grasp10

Figura 4.5: Plataforma Grupo Autolog

Figura 4.6: Esquema de montaje de la plataforma física

Figura 4.7: Red de Petri de la plataforma física del Grupo Autolog

Figura 4.8: Imagen del entorno de desarrollo Eclipse

Figura 4.9: Imagen del entorno de desarrollo Eclipse con un archivo abierto con Jigloo

Figura 4.10: Imagen del entorno Grasp10

Figura 4.11: Imagen del entorno Corel Paint Shop Pro X2

Figura 4.12: Imagen del entorno Arena 9.0 (Student Edition)

Figura 4.13: Pantalla de conexión del interfaz Java

Figura 4.14: Pantalla de PIE del interfaz Java

Figura 4.15: Pantalla de picking del interfaz

Figura 4.16: Pantalla de almacén del interfaz

Figura 4.17: Pantalla de conexión del interfaz Java 1.5

Figura 4.18: Pantalla de PIE del interfaz Java 1.5

Figura 4.19: Pantalla de picking del interfaz 1.5

Figura 4.20: Pantalla de almacén del interfaz 1.5

Figura 4.21: Modificación del PIE

Figura 4.22: Modificación del centro de distribución completo

Tabla 4.1: Tiempos promedio de las operaciones características de los centros de distribución

Tabla 4.2: Resultados del análisis de tiempos del centro de distribución simulado

Tema 5

Figura 5.1: Imagen del centro de distribución JGC en Daimiel, Ciudad Real

Figura 5.2: Plano general de las instalaciones de JGC en Daimiel, Ciudad Real

Figura 5.3: Etiqueta RFID pasiva de bajo coste

Figura 5.4: Etiqueta RFID activa con sensor de temperatura

Figura 5.5: Sistema de seguimiento propuesto basado en RFID

Figura 5.6: Configuración en línea con tres puestos de trabajo

Figura 5.7: Configuración en U con cuatro puestos de trabajo

Figura 5.8: Configuración combinada lineal-U con siete puestos de trabajo

Tabla 5.1: Permitividad relativa de los materiales en un palé cargado

1 - INTRODUCCIÓN

1.1 - Motivación para el desarrollo de este trabajo

El mercado global está teniendo un gran impacto sobre todos los sectores que ofrecen bienes y servicios, afectando también a la industria. Debido a esto, las empresas se ven obligadas a posicionarse y a ofrecer ventajas competitivas respecto a empresas rivales de su sector. La capacidad de respuesta de una empresa ante un pedido de un cliente puede representar, si se hace de forma rápida y eficiente, una gran ventaja competitiva.

Hace algunos años, hablar de automatización y robotización en los centros de distribución, era equivalente a hablar sólo de grandes empresas, ya que había que hacer grandes inversiones. En la actualidad, la situación es diferente, cada vez son más empresas las que, con un tamaño reducido o con necesidades concretas, están haciendo uso de sistemas automáticos para sus necesidades logísticas o de su cadena de aprovisionamiento.

La última década ha supuesto un cambio sustancial en la manera de gestionar la logística de las empresas. Las innovaciones en los sistemas de informatización y comunicación junto con las producidas en ingeniería aplicada a los sistemas de almacenaje, han permitido convertir al centro logístico en un sistema inteligente de gestión de mercancías. Y lo que es más importante, han conseguido integrar muy estrechamente al resto de la compañía con sus recursos logísticos, lo que ha facilitado que éstos formen parte de la producción, del servicio ofrecido al cliente, del sistema de calidad e, incluso, como recurso para el marketing de la empresa y como herramienta indispensable en la toma de decisiones.

Uno de los grandes avances ha sido la mejora en las tecnologías de identificación de objetos, entre las cuales se encuentra la Identificación por Radiofrecuencia (*RFID*), que está llamada a hacerse con el lugar que actualmente ocupa el código de barras. Esta tecnología proporciona los argumentos necesarios para hacer viable la implantación de sistemas de control altamente distribuidos, idóneos si se quieren flexibilizar las operaciones de fabricación, facilitando un nuevo camino que puede conducir a la automatización de las actividades de empaquetamiento selectivo, incrementando notablemente la visibilidad de la información a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. En definitiva, significa la mayor oportunidad de mejora para los procesos de fabricación y manipulación de materiales en la industria actual.

1.2 - Objetivos del trabajo

En este Trabajo Fin de Grado se pretende desarrollar, diseñar e implementar un interfaz gráfico en lenguaje Java para poder controlar un Centro de Distribución Automatizado de una forma sencilla y visual, así como medir también el impacto que la introducción de un sistema de identificación de objetos tiene sobre él. También se pretende diseñar e implantar un Sistema de Gestión de Almacén, utilizando este interfaz como medio para controlar todo el sistema.

Para ello, se modelan y simulan los diferentes sistemas diseñados mediante el programa Grasp10, software de modelado sólido en tres dimensiones y simulación, y Arena 9.0, software de simulación de eventos discretos.

Una vez conocidas las ventajas e inconvenientes que puede presentar la identificación por radiofrecuencia en un centro simulado, se pretende extrapolarlo y posteriormente implantarlo, en un centro real. Para ello se realizará un análisis previo del centro y se propondrá un sistema integral de seguimiento basado en radiofrecuencia. Además, también se sugieren algunas soluciones para solventar los problemas que se encontraron tras el estudio de la planta.

Aparte de los objetivos específicos que hemos comentado, este proyecto también pretende conseguir los siguientes objetivos globales:

- Conocer las principales características y limitaciones de las principales tecnologías de identificación de objetos para, de este modo, adquirir los argumentos precisos y conocer las dificultades y requisitos de la implementación de la identificación por radiofrecuencia en un centro de distribución.

- Desarrollar la comunicación entre el interfaz en Java y el programa encargado de la simulación del almacén a través de sockets. Para ello ha sido imprescindible la adquisición habilidades y conocimientos necesarios para el manejo de la herramienta Grasp10 de *BYG Simulation*.

- Desarrollar simulaciones para el análisis de diversas áreas de manipulación en un centro de distribución automatizado, para lo cual también ha sido necesaria la adquisición de conocimientos necesarios para el modelado y simulación de sistemas industriales.

- Proponer modificaciones en función de los resultados del análisis realizado previamente mediante las simulaciones en los centros de distribución diseñados.

- Estudio, análisis y evaluación de posibles mejoras a acometer en un centro de producción, más concretamente en los sistemas de *picking* y almacenaje.

- Realización del análisis de estado y de tiempos de los procesos simulados, así como las posibles mejoras.

1.3 - Estructura del trabajo

Este Trabajo Fin de Grado está estructurado en ocho apartados, con distintos puntos, entre los que se encuentra este primer apartado de Introducción.

En el segundo apartado, hacemos un repaso al Estado del Arte actual, tratando temas como los Centros de Distribución Automatizados, las distintas Tecnologías de Identificación de Objetos (Códigos de Barras, *RFID*, *Bokode*) y Autómatas Programables.

En el tercer apartado, trataremos en profundidad el tema de la Especificación y Diseño de un Centro de Distribución Automatizado, indicando las especificaciones que tendía que tener un centro de estas características, realizando un estudio para la implantación de dicho centro de distribución, su diseño y el de los distintos sistemas de manipulación que nos encontramos en el centro.

En el cuarto apartado tratamos la Simulación de un Centro de Distribución Automatizado a través del programa Grasp10 de *ByG Simulation*.[1] También se hace hincapié en cómo controlar la simulación con un Interfaz Gráfico realizado en Java, que se comunica con Grasp10 a través de *sockets*. Se hace una descripción de todas las herramientas que se han utilizado para el desarrollo de este proyecto, como el entorno de desarrollo *Eclipse*[2] y el *plugin Jigloo GUI Builder*[3] para la programación visual de nuestro interfaz, y, para finalizar, presentamos los datos obtenidos de la simulación y algunas conclusiones obtenidas de ellas.

1 ByG Simulation, (http://www.bygsimulation.com/)
2 Eclipse, (http://www.eclipse.org)
3 Jigloo GUI Builder, (http://www.cloudgarden.com/jigloo/)

En el quinto apartado, realizamos un Análisis de un Centro de Distribución Real, más concretamente el centro de distribución que posee J. García Carrión en Daimiel (Ciudad Real). Se ha realizado un estudio de la problemática de esta planta (deterioro de productos, logística interna, trazabilidad de productos, eficiencia y productividad, bloqueo de los transelevadores, etc…..) presentando una serie de propuestas para modificar el almacén y obtener así una mayor eficiencia y, por último, se ha intentado solucionar el problema que surge cuando se bloquean los transelevadores.

En el sexto apartado, se explican las conclusiones que se han obtenido, así como las aportaciones al proyecto y futuras líneas de trabajo derivadas de este proyecto.

En el séptimo apartado incluimos la bibliografía utilizada y en el último apartado, se incluyen los Anexos, para complementar todo el desarrollo del proyecto realizado.

2 – ESTADO DEL ARTE

En este apartado abordaremos tres aspectos indispensables para la comprensión del Proyecto: los Centros de Distribución Automatizados (CDA), las distintas tecnologías de identificación de objetos y los autómatas programables. Con esto conseguiremos obtener una visión general de las características y tecnologías utilizadas en los centros de distribución.

2.1 – Centros de Distribución Automatizados (CDA)

2.1.1 – Historia y antecedentes

Un centro de distribución, es una infraestructura logística en la cual se almacenan productos, se preparan pedidos y se dan órdenes para su salida. La implantación de dichos centros en la cadena de suministro, nace por la necesidad de una distribución eficiente, flexible y dinámica. De este modo se consiguen unos cortos periodos de tiempo de respuesta ante el cliente, así como una mejor adaptación a las necesidades de éste.

En general, los centros de distribución se componen de uno o varios almacenes, dependiendo de las características de los productos almacenados y las necesidades de la empresa. Un almacén es un lugar o espacio físico dónde se depositan las materias primas, productos semielaborados o productos totalmente elaborados a la espera de ser transferidos a la cadena de suministro.

El almacén tradicional, como centro de distribución ha evolucionado hasta el punto de integrarse en la estructura global de las empresas que gestionan la fabricación, el almacenamiento y la distribución de una referencia. Esta integración hace que el control de los costes derivados de las gestiones de acopio de productos intermedios o finales, influya decisivamente en la gestión total de la cadena de suministro, desde el aprovisionamiento de materia prima a producción, hasta la distribución final del artículo.

Desde hace unos años, los nuevos sistemas de producción, como el *Just-in-Time* (*JIT*),[4] [5]están transformando los tradicionales almacenes en centros de distribución altamente automatizados. Con ello se consigue reducir al mínimo el número de trabajadores, gestionar más eficientemente los pedidos, disminuir el tamaño de las instalaciones, etc.

Una primera clasificación de los sistemas de almacenamiento podría ser esta: sistemas estáticos, dinámicos, semiautomáticos y automáticos.

- Sistemas estáticos o convencionales: estos sistemas están compuestos por estanterías fijas y distintas estructuras destinadas únicamente al almacenamiento. Exceptuando los sistemas *drive-in*,[5] los sistemas estáticos son simples y económicos. En la figura 2.1, se muestra un almacén estático o convencional.

- Sistemas dinámicos: son sistemas que no se pueden considerar ni semiautomáticos ni fijos. Suelen ser estructuras compactas que incorporan caminos de rodillos, colocados con una ligera pendiente que permite el desplazamiento de los palés sobre ellos. Tienen la ventaja de aprovechar al máximo el espacio y están especialmente indicados para almacenes tipo *FIFO*.[6] A menudo este tipo de almacenes pueden resultar muy costosos. En la figura 2.2, mostramos un almacén dinámico con una ligera pendiente, para que así se puedan desplazar los palés.

4 La filosofía JIT se traduce en un sistema que tiende a producir justo lo que se requiere, cuando se necesita, con excelente calidad y sin desperdiciar recursos del sistema,

5 Los sistemas drive-in son sistemas que permiten utilizar al máximo el espacio disponible..

6 Un almacén tipo FIFO, las primeras materias en llegar, son las primeras en salir

Figura 2.1: Almacén convencional (Fuente: www.mecalux.es)

- Sistemas semiautomáticos: sistemas compuestos por una serie de almacenes que, mediante distintos motores y dispositivos, manipulan los elementos almacenados. Existen varios tipos, como los compactables o de tipo carrusel, pudiendo ser ambos horizontales o verticales. En la figura 2.3 se muestra un almacén tipo carrusel horizontal.

- Sistemas automáticos: son almacenes que no sólo permiten la manipulación del material, sino que, además, evitan la intervención del hombre durante la carga y descarga. Este tipo de sistemas resultan interesantes para almacenes de grandes dimensiones donde se realicen un gran número de movimientos. Este tipo de almacenes suponen un alto coste, pero reducen sustancialmente los tiempos de trabajo. En la figura 2.4, mostramos un almacén automático.

Figura 2.3: Almacén tipo carrusel (Fuente: www.etsysistem.net)

Según los datos disponibles, el parque de almacenes automáticos en España en el año 2007 está compuesto por unas 210 instalaciones para cargas ligeras y algo más de 500 almacenes de paletas. Cabe destacar que en este año con respecto al año anterior, disminuyó el número de almacenes para pequeñas cargas y aumentó el número de almacenes de paletas, evidenciando que los almacenes automáticos son equipamientos que cada vez se encuentran más en muy distintos sectores, tanto industriales como de distribución. A finales de este año, se crearon 42 nuevas instalaciones con un total de 114 transelevadores instalados en las mismas.[7]

2.1.2 – Almacenes automáticos

Durante los años noventa, los almacenes automáticos tenían un papel estratégico en el almacenamiento a largo plazo de productos finales o materias primas. Con la llegada de *Just-in-Time* durante los años ochenta y noventa, este tipo de almacenes fue cobrando gran importancia a la hora de mejorar la eficiencia en el proceso de almacenamiento de cualquier tipo de producto.

Las principales ventajas por las que los almacenes automáticos se están extendiendo por toda la industria son las siguientes:

- Transporte: Es uno de los temas fundamentales para las empresas, ya que de él depende la respuesta ante los clientes. Poder transportar gran cantidad de un mismo producto, conduce a importantes ahorros, los costes se ven reducidos hasta un 80%, comparándolos con el coste de transportar cargamentos incompletos o de distintos productos. Es por ello por lo que las grandes empresas comienzan a construir grandes centros de distribución en lugar de tener varios centros distribuidos cerca de sus clientes.

- Descuentos por volumen: Es habitual que las grandes compañías aprovechen los descuentos por volumen para minimizar costes. Debido a esto, los volúmenes de producto almacenado deben ser mayores para poder hacer frente a dichos pedidos.

- Asegurar existencias: Para las compañías es un objetivo primordial asegurar el suministro. Una compañía no puede arriesgarse a parar la producción por falta de existencias, por lo que necesitan tener siempre suficientes materias primas almacenadas para su normal funcionamiento.

- Variabilidad estacional: Otro de los factores importantes a tener en cuenta es el desigual volumen de ventas a lo largo de un periodo, por lo que algunas empresas optan por mantener un ritmo continuo de producción durante todo el año, en lugar de aumentarlo en los periodos de mayor demanda. Esto provoca que durante los periodos de menor demanda se acumulen grandes cantidades de inventario en los centros de distribución.

- Características del producto: Es necesario conocer las características de los distintos productos almacenados a la hora de afrontar un pedido, especialmente cuando los productos son perecederos. En los grandes centros de distribución es complicado controlar las características de todos los productos, por lo que no es aconsejable dejarlo en manos de los trabajadores. Gracias a los sistemas de gestión de almacén tenemos la posibilidad de automatizar dicho proceso de gestión de pedido, evitando la mayor parte de los errores que puedan producirse.

7 Tremosa, Laura. Parque de almacenes automáticos. Disponible en: http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2502466

- Eficiencia: El uso de este tipo de instalaciones, hace que aumente en gran medida la eficiencia en dos sentidos: el primero hace referencia a un uso más eficiente del espacio de las instalaciones y la eliminación de puntos muertos. La segunda está relacionada con la distribución de las existencias del almacén, teniendo como objetivo el de minimizar los costes de manejo de los diferentes productos.

Como hemos podido observar, obtenemos muchas ventajas al utilizar almacenes automatizados en las empresas. Ahora nos centraremos en las ventajas con respecto a otros tipos de almacenes. Citaremos las siguientes:

- Con un almacén automático, aumenta el uso del espacio disponible. Se utiliza toda la altura disponible del almacén, por lo que se reduce la superficie no utilizada.
- Acceso más rápido a los productos. Bajo el principio *Producto a Operario*, se eliminan los desplazamientos y las búsquedas, aumentado la rapidez y eficiencia a la hora de localizar los productos.
- Mayor protección de los productos. Al quedar cerrado, se evitan el polvo y los golpes en los productos, quedando también el acceso restringido.
- Posibilidad de gestión automatizada, consiguiendo de este modo un perfecto control y optimización de accesos, añadiendo también un perfecto control del stock.

2.1.3 – Sistemas de Gestión de Almacén (SGA)

Un Sistema de Gestión de Almacén (SGA) o *Warehousing* (WMS, *Warehouse Management System* en inglés), es el encargado de gestionar las entradas y salidas de inventario en el almacén de una empresa.

El SGA es un elemento indispensable en los almacenes automatizados, ya que es el cerebro que comanda las operaciones de los autómatas encargados de controlar el almacén en todo momento. En este sentido, el software de gestión de almacén tiene un doble cometido:

- Organizar toda la actividad de la planta.
- Dirigir todos los movimientos de los elementos automatizados gracias a su comunicación con el software de control.

El software de control, a su vez, es el encargado de ordenar los desplazamientos de las distintas máquinas que hay en la planta.

Los sistemas de control manejados por sistemas de gestión de almacén suelen ser grandes plantas en las que la gestión de pedidos es complicada. Las empresas que recurren a estos centros de distribución suelen tener grandes y muy variados tipos de productos en stock, por lo que en la mayoría de los casos, pueden ser optimizados.

Kom International [8] es una gran consultora logística que ha desarrollado un documento en el que reflejaba la conveniencia que supone tener un software de gestión de almacén. En dicho informe, se justifican los costes de instalar este tipo de software.

8 Kom International, (http://www.komintl.com/)

Según su informe, con un buen SGA se pueden reducir entre un 10 y un 35% los gastos de operación en un almacén. El ahorro se debe a varios factores:

- Disminución de los costes laborales debido al aumento de la productividad del personal.
- Se facilita el crecimiento en ventas al disponer de recursos para expedir el producto.
- Reducción del inventario.
- Se mejora el servicio al cliente.
- Se rebaja el tiempo del ciclo de pedido y puesta en disposición.
- Se aumenta el ratio de cumplimiento de los encargos.
- Se consigue información de inventario a tiempo real.
- Se cumple con las políticas de etiquetado.
- Se evitan muchos errores en todas las operaciones.

Cuando una empresa utiliza un SGA, los operarios o responsables del almacén no tienen que buscar ningún lugar para la mercancía que acaba de llegar, ya que esta función es realizada de forma automática por el sistema informático. Además, al ser el SGA el que determina la ubicación de la mercancía, sólo se debe confirmar que la carga se ha almacenado en el lugar indicado. Con esto se consigue que no sea necesario tomar nota o reflejar el emplazamiento.

Al dejar almacenado en el sistema informático la mercancía que acaba de llegar al almacén, conseguimos un acceso más rápido, seguro y fácil a la ubicación exacta de dicha mercancía. De lo contrario, no sólo se malgasta tiempo al introducir los datos en el ordenador, también se pueden formar cuellos de botella. La necesidad de introducir los datos manualmente por parte de los operarios, puede provocar grandes cuellos de botella que ralentizan la disponibilidad de la mercancía. Todo esto se ve agravado en el momento en el que ocurre cualquier incidencia, con la consiguiente pérdida de tiempo.

Otro aspecto destacable de los SGA son las operaciones relativas a los detalles de los productos. El conocimiento de éstos es esencial para la gestión de su rotación y expedición en cualquier momento.

Gracias a la informática, se ha logrado que en los almacenes hayan descendido considerablemente el número de errores en los envíos y en las operaciones en general. El software de gestión presenta grandes beneficios en comparación con las operaciones a la antigua usanza.

En primer lugar, como el programa informático conoce de antemano las localizaciones disponibles en el almacén, puede determinar la mejor ubicación para la mercancía que llega a la instalación. Además, como se verá en capítulos posteriores, también se puede combinar con sistemas de identificación de objetos, y más concretamente con sistemas de radiofrecuencia. De este modo, el SGA puede indicar dónde situar, con exactitud, la mercancía e incluso este proceso puede realizarlo mediante unas determinadas reglas o criterios de forma automática.

Hasta ahora sólo hemos hablado de las mejoras que aportan los SGA a la hora de introducir productos y ubicarlos dentro del almacén, pero esta no es la única actividad en la que estos sistemas de gestión nos ofrecen ayuda. Entre el 60 y el 70% de las horas de trabajo en un almacén se destinan al *picking* y extracción de mercancía, empaquetado, controles y preparación de los distintos envíos.

En las instalaciones tradicionales, por llamarlas de alguna forma, en las que tienen métodos anticuados, es necesario ordenar las listas de *picking* o de extracción de palés manualmente antes de pasárselas a los operarios. Dado que su organización no es lógica y optimizada, son los mismos operarios los que deciden el orden para ir recogiendo los distintos artículos por el almacén. Al realizar esta operación, con la consiguiente pérdida de tiempo y desperdicio de esfuerzo que se emplea en recorrer la instalación para recoger los distintos productos, no se tienen en cuenta otros asuntos, como las reglas de apilabilidad de los productos.

Existen otros muchos problemas derivados de la falta de un sistema informatizado que se pueden solucionar con un SGA, especialmente si se combina con equipos de radiofrecuencia. Por ejemplo, si en un almacén no contásemos con estas soluciones, los operarios de *picking* y los carretilleros se entretendrían leyendo y contrastando la información de las listas en papel, recogerían los productos que se han colocado en las estanterías pero al que no se le ha dado el alta en el sistema todavía, las unidades se ubicarían en el primer lugar dónde hubiese sitio y no se seguirían criterios de rotación, por lo que referencias con una elevada demanda se emplazarían junto a otras con poca rotación o en lugares lejanos a las líneas de salida.

Por otro lado, también se desaprovecha la oportunidad para controlar el inventario a la vez que se realiza el *picking*, se confunden productos similares en localizaciones próximas, no se alimentan correctamente las posiciones de las nuevas unidades perdiendo tiempo y esperando a que otros operarios provean de más producto, etc.

Aparte de evitar estos contratiempos, también podemos obtener más ventajas. Mediante un SGA combinado con un sistema de radiofrecuencia, no sólo se solucionan las cuestiones apuntadas, sino que además se puede llegar un poco más lejos y utilizar sistemas que aumentan la eficiencia en un alto grado en las labores de *picking* y extracción, como son los casos de *pick to light*,[9] *put to ligth*[10] y *pick/put to voice*.[11] También es factible emplear herramientas automáticas, como el transporte ligero motorizado, que nos permite llevar el contenedor hasta el hombre y organizar el *picking*, por zonas servidas cada una por un operario, que contribuye a la preparación del pedido entre otras posibilidades dependientes del tipo de producto, la logística de la empresa, etc.

Otra de las ventajas de un SGA es que facilita también el tema de generar y emitir la documentación necesaria, haciéndolo automáticamente, así como las etiquetas que correspondan en cada caso. Todo esto lo realiza sin la intervención del personal del almacén, que puede concentrarse en ejecutar sus tareas de preparación y expedición. Una posibilidad, por ejemplo, es que al sistema se le pueden dar órdenes para que emita automáticamente albaranes de entrega, informes de diferencias entre el pedido y el material servido, relación de contenedores, referencias y pedidos cargados a un camión, etc.

El uso de un SGA también previene grandes errores, como puede ser la carga de mercancías en el transporte equivocado, la falta de orden de carga para que la descarga se produzca ordenadamente a lo largo de una ruta, etc. Aunque se trata de temas que se han ido mejorando y minimizando en las instalaciones manuales, hacerlo con la ayuda de un software de gestión ocupa menos tiempo, reduce el número de errores posibilitando cambios rápidos si es necesario, deja un registro de los fallos producidos y hace que disminuya la necesidad de comprobaciones para saber si la expedición es correcta.

9 Pick to light: Basada en indicadores tipo Led o displays diseñada para el guiado de los trabajadores en las tareas de recogida de artículos.

10 Putt o light: Basada en la filosofía anterior, se realiza la separación de unidades para cada pedido, siguiendo las indicaciones de los displays.

11 Pick/put to voice: El sistema indicará al operario la ubicación de la mercancía para cogerla o d ejarla, a través de un comunicador.

También ayuda a llevar a cabo, de manera automática y precisa, otra de las operaciones clave en una instalación: el control de inventario. La alternativa convencional, basada en operativas manuales, es víctima de algunos de los fallos y problemas en el resto de trabajos del almacén.

Un sistema informatizado, especialmente si cuenta con el apoyo de un sistema de radiofrecuencia, evita que el inventario se convierta en varias jornadas perdidas al año en esta actividad. Más importante aún es que mejora la capacidad de la planta, gracias a que un inventario correcto y un control riguroso de la rotación, optimizan el stock utilizado y, por lo tanto, el espacio en uso, previniendo situaciones nada deseables, como que no se cumplan las caducidades de ciertos productos.

En resumen, contar con un SGA en un almacén no sólo aporta un gran número de ventajas a la operativa y al rendimiento de la planta, sino que repercute beneficiosamente y de forma muy directa en la eficiencia económica. En otras palabras, se trata de una inversión cuyo retorno está asegurado y cuyo coste está más que justificado.

2.1.4 – *Picking* en los Centros de Distribución Automatizados

El *picking* o mezcla de productos, puede describirse como la selección de los elementos adecuados en su justa cantidad, de acuerdo con los pedidos de los clientes. Para las empresas cada vez es más importante la flexibilidad, por lo que es indispensable adaptarse lo mejor posible a los distintos pedidos. De este modo surge la necesidad de incluir una estación de *picking*.

El *picking* es una de las actividades con mayor valor añadido de las que pueden efectuarse en un centro de almacenaje y tiene un gran impacto en la estrategia de distribución de las empresas. Con ayuda de la automatización, la tarea se está volviendo cada vez más cómoda y segura para el personal implicado, a la vez que se le confiere una mayor velocidad y eficiencia.

Los esfuerzos de desarrollo se están centrando en dos aspectos:

- Uno relativo a la organización del pedido, en la que los ordenadores y el software tienen un papel fundamental.
- El otro está relacionado con el trabajo físico, en el que la mecanización está facilitando los movimientos de carga, fundamentalmente en contenedores, palés y cajas.

Existen una serie de técnicas para la mejora de la organización del trabajo de *picking*, como pueden ser el *Batch picking* y el *picking por zonas*. Estos conceptos permiten ahorrar tiempo y trabajo en las tareas de preparación de pedidos de almacén y consisten en:

- Batch *picking*: Técnica por la que varias líneas de pedido son recogidas a la vez por un operario, de tal manera que se aprovecha un solo viaje para realizar diversas tareas a la vez.
- *Picking* por zonas: Consiste en dividir el almacén en distintas áreas y a cada operario se le asigna un área, en la que realizará su trabajo. En este caso, el contenedor de cada pedido es el que se desplaza entre un punto y otro, y el empleado contribuye a la línea final con su parte del trabajo.

Para organizar la actividad a realizar por los operarios, se puede utilizar la ayuda del software de gestión, pero en el caso de que la ubicación de los elementos en el almacén sea de tipo caótico, se hace obligatorio el uso de un SGA.

En el caso del *Batch picking*, el sistema de gestión debe contar con la posibilidad de establecer, para cada producto, las dimensiones y si alguno de ellos puede dañar a otro, desestabilizar el palé final, etc. El software será el encargado de efectuar los cálculos que permitirán fijar la manera más adecuada para que, combinando las unidades, se pueda recoger el mayor número de ellas o conformar el palé de la forma más eficiente y económica posible.

Mientras que en el *Batch picking* lo que se hace es controlar el recorrido del operario y su contenedor, en el caso del *picking por zonas* es el software de gestión el que debe vigilar el movimiento del propio contenedor y la cadencia de todo el mecanismo de recogida. Además, debe comunicarse con el sistema de control de hardware para gobernar el flujo en los transportadores del almacén.

Cuando hablamos de la automatización del *picking*, no sólo hacemos referencia a la asistencia que proporciona contar con elementos que faciliten la organización de la actividad o movimiento de las cargas, sino que también a la propia automatización de los puntos o zonas de selección de producto. De esta forma, es posible contar con máquinas que faciliten la labor en esas áreas en la que se puede dividir una instalación.

Además de los *pick to light*, existen otras alternativas si el artículo es medianamente grande o grande, o todo lo contrario, pequeño o muy pequeño. En ambos casos, es posible contar con la ayuda de carruseles, ya sean horizontales o verticales. Estos carruseles pueden estar dotados de consolas que permitan la búsqueda del producto que el operario extraerá para pasarlo al contenedor del pedido o de sistemas que le indiquen la referencia que el empleado debe extraer y en qué cantidad, en cuyo caso el empleado sólo tiene que ocuparse de ubicar la carga de la manera más estable y con mejor provecho del espacio del contenedor.

Dependiendo del autor, existen distintas clasificaciones y definiciones de los diferentes tipos de *picking* que se pueden llevar a cabo en un almacén. Según la *Material Handling Industry of America*,[12] existen ocho estrategias de *picking*:

- Discreta (convencional): en esta estrategia, cada operario recoge los productos uno por uno y los añade a un solo pedido cada vez.
- Por zonas: en este caso, el área de preparación se organiza en zonas y en cada una de ellas un operador se ocupa de varias líneas.
- En *batch*: cada operario prepara varios pedidos al mismo tiempo. Para ello, va recogiendo producto por producto y distribuyéndolo en los grupos que corresponda.
- En clúster: consiste en que cada trabajador va recogiendo todos los artículos para un grupo de pedidos.
- Por oleadas: cada operario se ocupa de un pedido y recoge producto por producto. La diferencia respecto al *picking* discreto consiste en que en las oleadas hay distintos grupos de encargos que se deben agrupar en un periodo de tiempo determinado.
- Zona *batch*: consiste en asignar un operario a una zona y prepara una parte de una o más líneas a la vez.
- Zona por oleadas: cada operario se dispone en una zona y recoge todos los productos asignados y la totalidad de los pedidos incluidos en su área, uno por uno, y en un momento programado por cada turno.
- Zona batch por oleadas: en esta estrategia, cada operario es asignado a una zona y prepara todas las líneas que han sido asignadas a su área, varias líneas cada vez, según la programación de cada turno.

12 Material Handling Industry of America, (http://www.mhia.org/)

La automatización completa del *picking*, es decir, sin intervención humana en ningún caso, es posible y ya se está utilizando. Las técnicas empleadas para ello son similares a las usadas en la preparación tradicional o en la asistida por software, pero en su lugar se utilizan robots paletizadores[13] distribuidos según la estrategia de *picking* elegida. Un ejemplo de *picking* realizado por un robot es el que se ilustra en la figura 2.5.

Figura 2.5: Robot realzando el proceso de picking (Fuente: www.directindustry.es)

2.2 – Tecnologías de identificación de objetos

Con el fin de prevenir errores o envíos imprecisos, es necesario dedicar tiempo y esfuerzo a labores de verificación, para lo que las tecnologías de identificación de objetos se presentan como una herramienta fundamental para reducir el tiempo de éstos procesos de verificación y de errores humanos a lo largo del proceso que se lleva a cabo en los centros de distribución.

Según algunos estudios realizados por las principales consultoras internacionales, la inversión en el segmento de los almacenes crecerá sobre un 12% anual durante los próximos años. Esta inversión se centrará, sobre todo, en la implantación de *RFID* o códigos bidimensionales.

En este apartado se abordarán distintas tecnologías de identificación de objetos, como los códigos de barras y *RFID*, que será la tecnología que utilizaremos finalmente. También se hablará de nuevas tecnologías más recientes, como por ejemplo *Bokode*.

2.2.1 – Introducción

En el mercado, existen muchos tipos de tecnologías de identificación de objetos, que se han ido utilizando hasta la actualidad. Sin embargo, la más utilizada hasta el día de hoy son los códigos de barras, ya que es una tecnología sencilla, barata y que, debido a su gran implantación durante más de cuarenta años, se han creado estandarizaciones de forma global.

13 Robots paletizadores: son robots autómatas los cuales, mediante unos parámetros configurados previamente, forman palés de cajas, sacos, etc. Evitando la intervención de un operario.

A continuación estudiaremos algunas de las más importantes tecnologías de identificación de objetos, como son los códigos de barras, la identificación por radiofrecuencia (*RFID*) y una tecnología más reciente, como es el caso de *Bokode*.

Los códigos de barras y la tecnología *RFID* están enmarcadas en lo que se conoce como Identificación Automática y Captura de Datos (*AIDC*, *Automatic Identification and Data Capture*). Estas tecnologías incluyen, entre otras características, reconocimiento óptico y sistemas biométricos.

2.2.2 – Identificación de objetos mediante código de barras

El código de barras, es un código basado en la representación mediante un conjunto de líneas paralelas verticales de distinto grosor y espaciado, que en su conjunto contienen una determinada información. Para su lectura, se suelen emplear los lectores de haces luminosos, cuyo funcionamiento consiste en emitir un haz luminoso que incide sobre la etiqueta, actuando ésta como una pantalla reflectante. La luz que refleja llega al decodificador y este proporciona la información que alberga el código.

La primera patente que existe de un código de barras fue solicitada en Estados Unidos en 1949 por Norman J. Woodland y Bernard Silver. Estos primeros códigos estaban compuestos por círculos concéntricos y eran leídos mediante fotodetectores. En la figura 2.6 se muestra una imagen del primer código de barras.

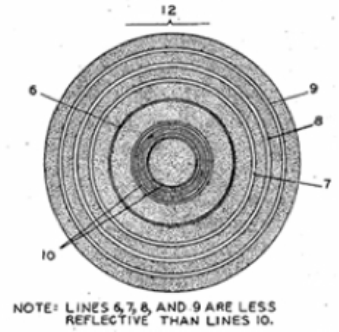


Figura 2.6: Primer código de barras (Fuente: www.patentplaques.com)

A principios de los años 60 fue cuando verdaderamente se comienzan a utilizar los códigos de barras. Inicialmente se introdujo para la detección de material rodante ferroviario y poco a poco se fue extendiendo a toda la industria, hasta llegar a ser la tecnología de identificación de objetos más importante.

El código estándar de identificación de productos se crea en 1973 por George J. Launer y se denominó *UPC* (*Universal Product Code* o Código de Producto Universal). De esta forma, la actualización automática de inventarios permitía una mejor y más oportuna compra de bienes, así como mejor reabastecimiento de los mismos. En la figura 2.7 se muestra un ejemplo de un código UPC A.

Figura 2.7: Código UPC A (Fuente: www.gslco.org)

A mediados de los años 70 se crea el *European Numering and Symbolisation of Products*, con la finalidad de crear un código europeo. En 1976 nace el código *EAN* (*European Article Number*), la versión europea del código *UPC*. En la figura 2.8 se muestra una imagen del código *EAN*.

Figura 2.8: Código EAN (Fuente: http://www.upcbarcode.net)

Actualmente, el código de barras más habitual es el *EAN-13*. En este código se representa el número de identificación del objeto bajo el código. Sólo sirve para identificar el objeto, no contiene ninguna información adicional. Cada empresa que utiliza en sus productos códigos del tipo *EAN*, tiene asignado un bloque de números, determinado por una organización nacional de numeración que, a su vez, recibe los números del organismo rector internacional, *EAN International*.

Como se observa en la figura 2.9, cada código está formado por un margen, un dibujo normalizado de separación, un dibujo central de separación, seis dígitos e, indirectamente, un séptimo, un dibujo de seis barras y espacios que representan directamente seis dígitos, un dibujo normalizado de separación y un margen.

Figura 2.9: Partes código EAN 13 (Fuente: http://www.vb-mundo.com**)**

En la figura 2.10, tenemos un ejemplo de un código *EAN 13*, en el que se hace una explicación de cada uno de los números:

Figura 2.10: Explicación código EAN 13 (Fuente: http://www.vb-mundo.com)

- Los dos primeros dígitos (84) identifican que la empresa está adscrita a *AECOC* como Organización Nacional Registradora de Códigos de Barras.
- Los siguientes cinco dígitos (25623) indican el código de la empresa fabricante del producto, este número lo asigna *AECOC*.[14]
- Los cinco siguientes dígitos (50012) hacen referencia al producto que la etiqueta identifica, este número es elegido por la propia empresa.
- El último dígito (6) es un dígito de control, que es calculado a partir de los anteriores.

La correspondencia entre la información y el código que la representa se denomina Simbología. Estas simbologías pueden ser continuas o discretas y bidimensionales o multidimensionales:

- Continuas: los códigos de este tipo de simbología comienza con un espacio seguido de una barra o viceversa, de modo que tanto los espacios como las barras proporcionan información.
- Discretas: los códigos de estas simbologías comienzan y terminan con una barra y el espacio entre caracteres es ignorado.
- Bidimensionales: en esta simbología sólo existen dos tipos distintos de barras, anchas o estrechas.
- Multidimensionales: las barras de este tipo de simbología son múltiplos de una anchura determinada.

Actualmente, se siguen desarrollando nuevos códigos de barras que permitan adaptarse a las exigencias de la industria, pero necesitan evolucionar para permitir la trazabilidad de objetos individuales, aumentar la cantidad de datos que se pueden almacenar, posibilitar la reprogramación, etc.

Algunas de las ventajas de los códigos de barras son las siguientes:

- Tecnología con más de 40 años de existencia.
- Son muy baratos.
- Permiten porcentajes de error muy bajos.
- Los equipos de lectura e impresión de códigos de barras son flexibles y fáciles de conectar e instalar.

14 AECOC, (http://www.aecoc.es/)

Los beneficios que nos ofrecen están recogidos a continuación:

- Virtualmente, no hay retrasos desde que se lee la información hasta que es usada.
- Se mejora la exactitud de los datos.
- Se puede obtener un mejor control de calidad, ofreciendo un mejor servicio al cliente.
- Se pueden contar con nuevas categorías de información.
- Mejora de competitividad de la empresa.

Pero los códigos de barras, poseen las siguientes desventajas:

- Al igual que es una ventaja sus más de 40 años de existencia, también es un inconveniente, ya que es una tecnología a la que se le está buscando sustituto al estar ya obsoleta.
- Los lectores, para poder leer un código de barras, tienen que estar muy cerca de éste.
- Si el código de barras se encuentra arrugado o deteriorado, es prácticamente imposible su lectura por medio de los distintos lectores que nos encontramos en el mercado.
- El consumidor no es capaz de conocer el precio si este no se publica además del código de barras, conduciendo a costos adicionales.

Hoy en día, la tecnología más emergente en cuestiones de trazabilidad es la de identificación por radiofrecuencia (*RFID*).

2.2.3 – Identificación de objetos mediante *RFID*

RFID son las siglas en inglés de *Radio Frequency Identification*. La identificación por radiofrecuencia es un tipo de tecnología emergente que permite asignar a cualquier producto un número de identificación. Es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos de forma remota, cuyo fin es transmitir la identidad de un objeto por ondas de radio.

2.2.3.1 – Historia y antecedentes

Los inicios de *RFID* no están claros, pero se cree que fue creada en 1946 por Leon Theremin para el gobierno soviético. El dispositivo creado por Theremin, era un dispositivo de escucha pasivo, pero no una etiqueta, de ahí que muchos piensen que su origen del *RFID* no es este.

Otras fuentes nos dan a entender que la tecnología *RFID* se empezó a utilizar en la Segunda Guerra Mundial para la identificación de aviones. El ejército alemán balanceaba los aviones cuando se aproximaban a la base para cambiar la señal de vuelta enviada por los radares y, de este modo, podían distinguir sus aviones de los aviones enemigos, por lo que este sistema se puede considerar como un dispositivo *RFID* pasivo.

La primera aplicación no militar de la tecnología *RFID*, fue patentada en Estados Unidos en el año 1969 por Mario Cardillo. Esta aplicación estaba centrada en la identificación de vehículos, pacientes y tarjetas de crédito. En esos años, el uso de *RFID* estaba muy poco extendido debido a su alto coste.

A principio de los años 80, *RFID* llegó a Europa como método de identificación de ganado en el sector privado. El método consiste en insertar bajo la piel una tarjeta *RFID* pasiva, para poder distinguir los animales que habían sido vacunados de los que no lo habían sido.

Durante la década de los 90 es cuando la tecnología *RFID* toma más relevancia debido a la bajada del coste de fabricación de las etiquetas gracias a *IBM*[15], que consiguió integrar todo el circuito en un solo chip.

En el año 1999 se fundó el *Auto-ID Center*, en la actualidad *Auto-ID Labs*[16], como una sociedad que englobaba unas 100 compañías internacionales y dos importantes universidades: el *Massachussets Institute of Technology* (*MIT*) en Estados Unidos y la *University of Cambridge* (*UCAM*) den el Reino Unido. Posteriormente se han ido uniendo otras grandes universidades de todo el mundo, como *University of Adelaida en Australia*, *Keio University* en Japón o *University of St. Gallen* en Suiza.

Esta unión está creando los estándares y la tecnología necesaria para hacer posible identificar cualquier objeto instantáneamente en cualquier lugar del mundo desde cualquier ordenador conectado a la red.

En el año 2003 fue cuando, en verdad, la tecnología *RFID* se comenzó a extender por la industria, propiciado por los avances tecnológicos, el abaratamiento de los costes y los esfuerzos del Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

En el año 2005 los principales proveedores de la empresa Wal-Mart, cadena minorista de autoservicio, comenzaron a utilizar *RFID* como sistema de identificación de los pedidos.

2.2.3.2 – Funcionamiento de la tecnología *RFID*

La tecnología *RFID* está basada en la transmisión de datos por campos magnéticos. Este sistema está formado por tres elementos: las etiquetas *RFID*, un lector y una base de datos.

Su funcionamiento es el siguiente: el lector dispone de una antena que emite por medio del aire señales electromagnéticas a una determinada frecuencia. Cuando una etiqueta recibe esta señal, se activa y responde con otra señal en la que se encuentra, codificada, la información contenida en ella. La señal emitida por la tarjeta es recibida por la antena y es almacenada en la base de datos. En la figura 2.11, mostramos un diagrama explicativo del funcionamiento de la tecnología *RFID*.

Figura 2.11: Diagrama explicativo funcionamiento *RFID*

15 IBM, (http://www.ibm.com)
16 Auto-ID Labs, (http://www.autoidlabs.org/)

2.2.3.3 – Etiquetas *RFID*

Las etiquetas *RFID* son unos pequeños dispositivos que pueden ser adheridos o incorporados a un producto o ser vivo.

Estos dispositivos están compuestos por una antena, un chip y, en ocasiones, algún elemento de almacenamiento de energía. La antena permite que el chip responda a la señal que emite el lector *RFID*. Dicho chip posee una memoria interna que es dónde se almacenan los números de identificación.

Atendiendo al tipo de memoria que pueden llevar las etiquetas, podemos distinguir los siguientes tipos:

- De solo lectura: el código de identificación de cada tarjeta es único y es asignado durante la fabricación de la tarjeta.
- De lectura y escritura: el código de la tarjeta puede ser modificado posteriormente por el usuario.
- Anticolisión: son tarjetas especiales que permiten que el lector de *RFID* identifique varias etiquetas a la vez.

Una primera clasificación para las etiquetas sería si llevan o no fuente de energía incorporada. Existen los siguientes tipos:

- Etiquetas activas: Este tipo de etiquetas llevan incorporada una fuente de energía, normalmente baterías de litio o baterías tipo AA. Al llevar fuente de energía incorporada, permiten amplios rangos de lectura, son muy fiables, pueden tener memorias de hasta 128 Kbytes y su distancia de lectura puede alcanzar los 100 metros. El inconveniente es que son de mayor tamaño y más caras que el resto de tipos, ya que las más pequeñas pueden tener un tamaño de una moneda. Se utilizan en entornos en los que podemos tener alguna dificultad de lectura, como agua o metales. En la figura 2.12, mostramos una etiqueta *RFID* activa.

Figura 2.12: Etiqueta *RFID* activa (Fuente: www.tagsense.com)

- Etiquetas pasivas: Las etiquetas de este tipo no tienen fuente de energía propia. La señal que es emitida por los lectores, induce una pequeña corriente al circuito CMOS que le permite generar y transmitir una respuesta. Estas tarjetas permiten una distancia de lectura de, como máximo, 6 metros, son más económicas que las anteriores, pueden almacenar hasta 2 Kbytes y pueden ser muy pequeñas. El dispositivo más pequeño de este tipo tiene un tamaño de 0'05x0'05 mm y es más fino que una hoja de papel. En la figura 2.13 se muestra la imagen de una etiqueta *RFID* pasiva.

Figura 2.13: Etiqueta *RFID* pasiva (Fuente: www.trazablog.com**)**

- Etiquetas semipasivas: Son similares a las activas, solo que la fuente de energía que llevan incorporada sólo se usa para alimentar el microchip y no para emitir la señal, que se realiza como en las pasivas. Este tipo de etiquetas responden más rápido que las pasivas y su ratio de lectura es mayor.

A continuación, realizamos un resumen comparando las características tanto de las etiquetas pasivas como de las activas:

- Etiquetas activas:
    - Transmiten señal de radio.
    - Cuentan con una fuente de alimentación interna.
    - Largo alcance, pueden llegar a los 100 metros.
    - Dimensiones considerables. Las más pequeñas, tienen el tamaño de una moneda.
- Etiquetas pasivas:
    - Reflejan la señal de radio emitida por el lector.
    - Responden gracias a la energía inducida en la antena por la señal de escaneo.
    - Alcance limitado, de unos 6 metros como máximo.
    - Su tamaño es muy pequeño, pudiendo ser del orden de milímetros.

2.2.3.4 – Lectores *RFID*

Los lectores *RFID* son los dispositivos electrónicos encargados de emitir y recibir las señales de radio a través de las antenas que llevan acopladas. Después, capturan los datos almacenados en las etiquetas y, dependiendo del tipo de memoria, pueden sobrescribir datos en ellas.

Son los responsables del flujo de información existente entre las etiquetas y el sistema central, a través del *middleware*.

Dependiendo de su movilidad, pueden ser de tres tipos: fijos, de mano y móviles. En las figuras 2.14, 2.15 y 2.16 se muestran imágenes de cada uno de estos tipos de lectores.

Figura 2.14: Imagen lector fijo *RFID* (Fuente: www.directindustry.com)

Figura 2.15: Imagen lector de mano *RFID* (Fuente: www.directindustry.com)

Figura 2.16: Imagen lector móvil *RFID* (Fuente: www.directindustry.com)

El *middleware RFID*[17] es el responsable de la monitorización de los lectores. Además, se encarga de filtrar, procesar y agregar los datos de las etiquetas que han leído los lectores.

El tipo de antena utilizado, depende de la frecuencia en la que se emiten las señales. El voltaje inducido es proporcional a la frecuencia, por lo que se puede producir el necesario para alimentar un circuito integrado dado un número suficiente de espiras.

2.2.3.5 – Estándares *RFID*

En la actualidad, la tecnología *RFID* está desarrollada ya lo suficiente en cuanto a hardware, software y a un relativo bajo coste. Pero esto no es suficiente para su implantación en toda la cadena se suministros.

Si cada empresa tuviese sus propios sistemas *RFID*, los costes aumentan considerablemente. Por ello, hay que crear un sistema integrado en el que participen todos los agentes de la cadena de suministro, es decir, hay que crear una red de lectores, tarjetas y bases de datos que usen los mismos lenguajes y protocolos, y que sean accesibles para cualquiera que quiera utilizarlos. Para la realización de todo esto, es imprescindible la creación de estándares.

Las compañías se esfuerzan en buscar estándares, pero estos sólo funcionan en su entorno interno, son sistemas cerrados. Actualmente, existen muchas organizaciones que intentan trabajar para la creación de estándares. Una de ellas es el *Auto-ID Center*, del *MIT*. El *ISO* también trabaja en ese sentido, al igual que el grupo estadounidense *X3T9*, formado por fabricantes, desarrolladores e integradores de tecnología *RFID*.

Así mismo, *EAN International* también tiene algo que decir en este aspecto, pues puede contribuir enormemente a la difusión de la tecnología *RFID* mediante la adaptación de los códigos de barras.

La red *EPC* (*Electronic Product Code* ó Código Electrónico de Producto) es un estándar *RFID* desarrollado por el *Auto-ID Center* y desde 2003 es conocido como *EPCGlobal*[18] . Este estándar aborda cuatro áreas fundamentales:

- Protocolo en el interfaz aéreo: Especifica el modo en el que las etiquetas y los lectores se comunican.
- Contenido de los datos: Especifica el formato y la semántica de la información que se transmite.
- Certificación: Consiste en una serie de pruebas que deben cumplir los dispositivos *RFID* para garantizar que cumplen los estándares y, por consiguiente, pueden operar con otros de distintos fabricantes.
- Aplicaciones: Usos de los sistemas *RFID*.

Los estándares *EPC* para etiquetas son de dos tipos:

- Clase 1: Etiquetas pasivas de solo lectura.
- Clase 2: Etiquetas de solo lectura, pero que se programan en el momento de la fabricación de la misma.

17 Middleware RFID: Es la plataforma existente entre los lectores de tarjetas y los sistemas de gestión empresariales para trabajar, gobernas y enviar los datos camptados por le hardware RFID.

18 EPC Global, (http://www.epcglobalinc.org/home)

La red *EPC*, extiende su infraestructura añadiendo una identificación única de producto a través del código *EPC*, del Servicio de Nombres de Objeto (*Object Name Service*, *ONS* en sus siglas en inglés) y del Servicio de Información *EPC* (*EPC-Information Service*, *EPC-IS* en sus siglas en inglés).

Este tipo de estandarización es aún joven y necesita madurar para convertirse en un estándar global. Para ello, hay que realizar los siguientes pasos:

- Investigar y obtener un conocimiento de *EPCGlobal* y *RFID*:
    - Uso de la base de datos de conocimiento de *EPCGlobal* España.
    - Investigación y aprendizaje de la tecnología *RFID* y sus procesos.
    - Incentivar a las compañías para unirse a la comunidad *EPCGlobal*.
- Experimenta y obtener experiencia práctica:
    - Desarrollo de casos empresariales de alto nivel.
    - Llevar a cabo pruebas de concepto de la tecnología *RFID* a pequeña escala.
    - Evaluar las ofertas procedentes de proveedores de tecnología.
- Realizar un trabajo de campo previo y extraer conocimientos prácticos de procesos y aplicaciones de negocio que desee alcanzar.
    - Identificar, priorizar y probar las aplicaciones empresariales dónde el *EPC* aporta más valor.
    - Llevar a cabo pruebas interactivas de varios productos, componentes y configuraciones de medio ambiente.
    - Comprobar todo lo relacionado con el proceso y las repercusiones técnicas.
- Poner en marcha pilotos y prever el despliegue a largo plazo:
    - Evaluar los resultados a partir de las pruebas de campo.
    - Llevar a cabo un despliegue, transición y planificación educativa, incluyendo también financiación.
    - Seleccionar los socios para el comercio y la tecnología.
- Comenzar con un despliegue permanente y a largo plazo:
    - Colaboración con socios comerciales (flujo de datos e información en el proceso y técnicos).
    - Llevar a cabo la integración de sistemas en desarrollo.
    - Ajustar y mejorar los procesos y la información de flujo.

En la actualidad, ISO también se encuentra desarrollando estándares de *RFID* para la identificación y gestión de objetos. Por el momento, los dos estándares existentes no son compatibles, pero *Auto-ID Center* está intentando conseguir una nueva generación de estándares *EPC (Gen2)* que permitan la interpolaridad con el estándar ISO.

2.2.4 – Identificación de objetos mediante *Bokode*

Bokode[19] es una nueva tecnología para la identificación de objetos que investigadores del MIT (Instituto Tecnológico de Massachussets)[20] están diseñando y se puede considerar una alternativa a sustituir a los códigos de barras, al igual que ocurre con la tecnología *RFID*.

Los códigos de barras tradicionales, codifican la información en las dimensiones espaciales, temporales o espectrales. El *Bokode* codifica la información en una dimensión angular y, gracias a esto, una cámara centrada en el infinito podría capturar y descifrar esa información. El ojo humano podría centrarse en el *Bokode*, pero prácticamente no podría verlo, ya que la pupila del ojo es menor que la apertura de las lentes de las cámaras.

El *Bokode* consiste en un pequeño LED cubierto por una capa minúscula y una lente. La información se codifica gracias a la luz que brilla a través de la capa, que varía su intensidad dependiendo del ángulo desde el que es visto.

Las principales ventajas del uso de *Bokode* respecto a los códigos de barras tradicionales, son las siguientes:

- Su tamaño es muy pequeño.
- Pueden ser leídas desde varios metros de distancia, unos cuatro metros, por una cámara de un teléfono móvil con apertura de lente.
- Pueden ser leídas desde diversos ángulos.

Al contrario que la tecnología *RFID*, *Bokode* requiere de visión directa para funcionar. Esto lo hace más conveniente para usos que requieren seguridad o aislamiento. Además, *Bokode* consigue dar la información posicional y la orientación de forma exacta, algo prácticamente imposible de conseguir con *RFID*, aunque la distancia si podría estimarse. Finalmente, *Bokode* puede ser leído por cualquier cámara de fotos con apertura de ángulo, mientras que las etiquetas *RFID* necesitan de lectores dedicados única y exclusivamente para ello.

Bokode puede utilizarse en las industrias para tener localizados los objetos, pero también pueden ser usados en supermercados para, por ejemplo, codificar ofertas de alimentación. También podría ser útil en bibliotecas para localizar un libro con facilidad o también podrían utilizarse por restaurantes para indicar, por ejemplo, la información de los menús. Sus aplicaciones, como puede observarse, son muy variadas.

En la actualidad el precio de un *Bokode* es caro en comparación con las tecnologías expuestas en este proyecto (unos 3’5 € por unidad), pero los creadores piensan que en poco tiempo esta tecnología será más barata, ya que se está investigando un sistema, llamado *Bokode* pasivo, que no requerirá energía para su funcionamiento y las etiquetas se abaratarán mucho. En la figura 2.17 se muestran algunas imágenes de *Bokode*.

19 Bokode. Información disponible en: http://web.media.mit.edu/~ankit/Bokode/, http://www.elmundo.es/elmundo/2009/07/27/ciencia/1248717567.html y http://scripts.mit.edu/~raskar/Bokode/index.php?title=Main_Page

20 MIT, (http://web.mit.edu/)

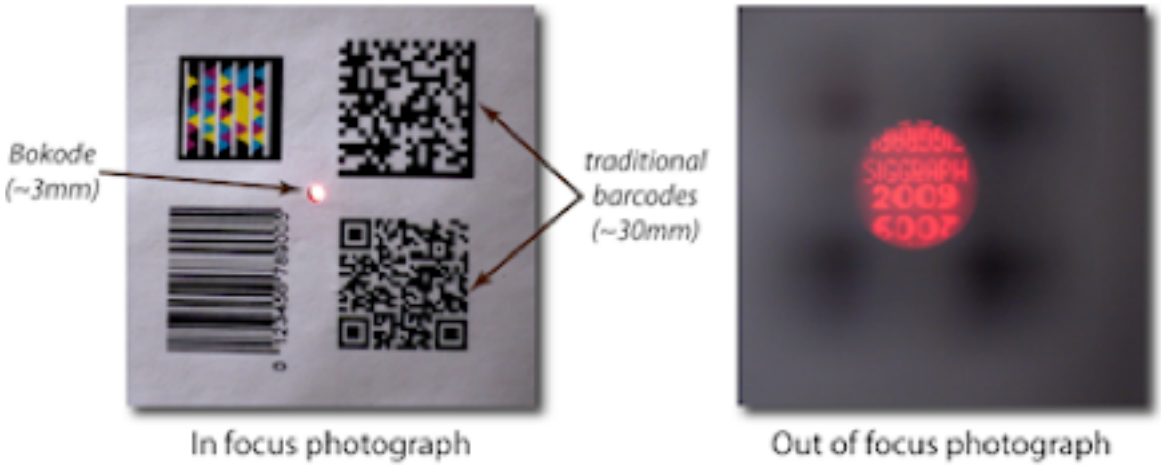


Figura 2.17: Imagen *Bokode* (Fuente: http://web.media.mit.edu)

2.2.5 – Comparativa entre códigos de barras y*RFID*

Hasta ahora, hemos descrito algunas de las tecnologías de identificación de objetos existentes. En este apartado haremos una comparativa entre el código de barras y *RFID*, por la que nos hemos decantado para la identificación de objetos.

Por un lado, tenemos que el código de barras es hasta ahora la tecnología más utilizada, gracias a su bajo precio y sencillez. Por otro lado, podemos ver que *RFID* es la tecnología que, casi con toda seguridad, sustituirá a los códigos de barras en muchos sectores. A continuación realizaremos una comparativa más exhaustiva entre las dos tecnologías, para poder apreciar mejor las ventajas de *RFID* respecto a los códigos de barras.

Sobre la tecnología *Bokode* no realizaremos ninguna comparativa, al ser una tecnología sobre la que todavía se está investigando y no se disponen de muchos datos sobre ella.

La primera ventaja de la tecnología *RFID* con respecto a los códigos de barras es la posibilidad de modificar la información que albergan las etiquetas. De este modo, no sólo conseguimos una identificación del objeto que la porta, sino que, además, se puede añadir más información a dicha etiqueta sobre el objeto, como por ejemplo el tiempo del objeto, su estado, lote, etc.

Otra de las principales ventajas de *RFID* frente a los códigos de barras, es su capacidad de almacenamiento. Los códigos de barras disponen de una capacidad máxima de unos 100 bytes, en cambio las tarjetas *RFID* pueden llegar hasta los 128 Kb.

La distancia de lectura en *RFID* es otra ventaja con respecto a los códigos de barras. En *RFID* la distancia puede llegar a unos 100 metros en las etiquetas activas y hasta 10 metros en las etiquetas pasivas. En cambio, los códigos de barras necesitan estar a menos de medio metro del lector para poder ser leído. Además, cabe añadir, que las etiquetas no tienen por qué estar en un sitio visible para ser leídas, no ocurriendo lo mismo con los códigos de barras.

Un aspecto importante a tratar cuando se habla de las lecturas de datos, es el de las posibles interferencias que pueden provocar que las lecturas no sean correctas. En los códigos de barras, estas interferencias las pueden producir manchas, polvo, arañazos, etc. Es decir, por elementos que no dejen visible el código de barras. En el caso de la tecnología *RFID*, los problemas de interferencias suelen aparecer más en las etiquetas pasivas que en las activas, produciéndose éstas por emisiones radioeléctricas cercanas, obstáculos metálicos y líquidos.

En las etiquetas activas puede ocurrir, pero debido a su elevada potencia de transmisión, las posibles emisiones radioeléctricas ajenas son despreciables.

Otro tema importante es el ciclo de vida. Los códigos de barras pueden tener una vida muy variable, dependiendo del material en el que esté impreso. En el caso de *RFID*, las etiquetas pasivas tienen, en principio, un ciclo de vida indefinido, ya que no dependen de ninguna fuente de alimentación interna. La vida, en este caso, de las etiquetas activas, varía de uno a siete años, dependiendo de la duración de la batería.

El principal problema de la tecnología *RFID* respecto a los códigos de barras, es su elevado precio. En las etiquetas pasivas, su precio puede rondar entre los 15 y los 20 céntimos de euro por tarjeta. En el caso de las etiquetas activas, este precio puede ir desde 5 a 100 euros. Estos precios, previsiblemente, irán descendiendo con el paso del tiempo, ya que al ser una tecnología relativamente moderna, todavía se está trabajando en conseguir precios más competitivos.

2.2.6 – Implantación de la tecnología *RFID* en centros de distribución

Como hemos podido ver en el apartado anterior, y dejando fuera la tecnología *Bokode*, la comparativa entre las tecnologías de códigos de barras y *RFID* nos indica que la tecnología *RFID* tiene múltiples ventajas y un campo de aplicación más amplio. Su único inconveniente es el precio de las etiquetas, sobre todo las activas.

En este proyecto se propone la integración de la tecnología *RFID* en los sistemas de distribución automatizados. La unión entre un sistema de gestión de almacén y la identificación de objetos por radiofrecuencia (*RFID-IMSII*: *RFIDIntelligent Manufacturing System*) aporta una potente solución a la hora de controlar sistemas de estas características.

El uso de *RFID* se justifica por su gran capacidad de gestión de la información. Además, es posible detectar, identificar y verificar la naturaleza de los productos entrantes, permitiendo que sean almacenados, teniendo en cuenta su rotación. *RFID* también permite actualizar los productos que contienen cada palé o caja en cualquier momento, pudiendo controlar cada una de las operaciones realizadas. Al tener este control sobre cada unidad de carga, es posible la reducción de errores en la entrada y salida de productos, entre otros. La eliminación de estos errores es muy importante, ya que en la mayor parte de los casos son causa de devolución, lo que conlleva un coste adicional, además de una mala imagen de la empresa.

Otro aspecto que conviene destacar, es la fuerte dependencia que tienen los sistemas de gestión de almacén con la información de los elementos del sistema físico. Por ello, se hace necesaria la utilización de un sistema que proporcione los datos exactos para que el sistema de gestión tome la decisión más acertada y, de ese modo, satisfacer los objetivos marcados durante el diseño.

La información debe reflejar, fielmente, las características del entorno en cada momento, ya que la eficiencia de la toma de decisiones está directamente relacionada con la fiabilidad de esta información. Se puede afirmar que una información veraz y en tiempo real, es fundamental a la hora de la toma de decisiones de los sistemas de gestión.

2.3 – Autómatas programables

Un autómata puede definirse como un equipo electrónico programable en un lenguaje no informático y diseñado para controlar, en tiempo real y en ambiente industrial, procesos secuenciales. Sin embargo, aunque esta definición es correcta, la rápida evolución de estos sistemas, hace que la definición no esté cerrada.

2.3.1 – Historia y antecedentes

Durante la década de los sesenta, la industria estaba preocupada por los elevados costos de los sistemas de control a base de relés y lógica cableada, ya que cualquier variación del proceso, suponía modificar físicamente gran parte de las conexiones de los montajes, siendo necesario para ello un gran esfuerzo técnico y un mayor desembolso económico. Además, los operarios que se encontraban a cargo de este tipo de instalaciones, se les exigía tener altos conocimientos técnicos para poder realizarlas y, posteriormente, mantenerlas.

En la actualidad, no se puede entender un proceso complejo de alto nivel desarrollado por técnicas cableadas. El ordenador y los autómatas han intervenido de forma considerable para que este tipo de instalaciones se hayan visto sustituidas por otras de forma programada. Fue *General Motors* quien comenzó a utilizar el denominado *PDP-14*, un sistema de control que evitaba los problemas de la lógica cableada.

Durante la primera mitad de la década de los setenta es cuando se producen los mayores avances en los autómatas con la introducción de microcontroladores. De este modo, se aumentaron en gran medida sus prestaciones:

- Se comenzaron a hacer operaciones aritméticas.
- Los autómatas se comunicaban con los ordenadores.
- Se aumentó la capacidad de memoria.
- Se permitían entradas y salidas analógicas.
- Se mejoraron los lenguajes de programación.
- Uso de las redes de comunicación.

La década de los años ochenta está caracterizada por la introducción de los microprocesadores en los autómatas, consiguiendo avances como:

- Altas velocidades de respuesta.
- Pequeñas dimensiones.
- Gran capacidad de almacenamiento de datos.
- Lenguajes de programación más potentes.
- Mayor seguridad de funcionamiento.

En la actualidad, existen autómatas aplicados a todos los niveles, desde pequeños sistemas hasta otros más complejos controlados por redes de autómatas.

Un autómata programable suele emplearse en procesos industriales en los que se disponga de poco espacio, los procesos de producción sean periódicamente cambiantes o sean procesos complejos.

2.3.2 – Los autómatas programables en la actualidad

Los autómatas programables a día de hoy están formados por un microprocesador como nucleo central y sus partes fundamentales son:

- Fuente de alimentación.
- Unidad central de proceso (*CPU*, en sus siglas en inglés).
- Memoria.
- Terminal de programación.
- Sistema de entrada/salida (E/S).
- Periféricos.

Figura 2.18: Imagen autómata programable (Fuente: www.solostocks.com)

La fuente de alimentación es la encargada de convertir la tensión de la red (220V de corriente alterna) a baja tensión de corriente continua (normalmente a 24V), siendo esta última la tensión de trabajo de los circuitos eléctricos que forman el autómata.La unidad central de proceso (*CPU*) es el auténtico cerebro del sistema. Realiza el control interno y externo del autómata e interpreta las instrucciones del programa. Con las instrucciones almacenadas en la memoria y los datos que recibe por las entradas, genera las señales de salida.

Los autómatas, al igual que cualquier ordenador, poseen dos tipos de memoria: la memoria de solo lectura o *ROM* (*Read Only Memory*) y la memoria de lectura/escritura o *RAM* (*Random Access Memory*).

- La memoria *ROM*, es la encargada de almacenar los programas para el correcto funcionamiento del sistema, así como el programa de comprobación de puesta en marcha y el programa de exploración de la memoria *RAM*.
- La memoria *RAM*, se encarga de almacenar los estados de las entradas, salidas y variables internas y, además, contiene la memoria de usuario, es decir, donde se encuentra el programa con el que trabajará el autómata.

El sistema de entrada/salida (E/S), recoge la información de las entradas y es el encargado de enviar las señales de salida. Existen varios tipos de entradas y salidas:

- Discretas: Pueden presentar dos estados diferenciados. Su estado se visualiza mediante unos indicadores tipo *Led* que se iluminan cuando la señal está activa.

- Analógicas: Tienen como función convertir magnitudes analógicas (tensión o corriente) equivalentes a magnitudes físicas. Esto se realiza mediante convertidores analógico-digitales.

- Numéricas: Permiten la adquisición o generación de información a nivel numérico. La información de entrada se puede adquirir mediante dispositivos electrónicos digitales, ya que las salidas se utilizan en equipos visualizadores u otros equipos digitales.

- Especiales: Son utilizadas cuando las anteriores no son válidas, ya sea porque se necesita un gran número de elementos adicionales o porque el programa necesita muchas instrucciones. Estas circunstancias suelen darse en las entradas de termopares o salidas para motores paso a paso.[21]

El módulo de entradas se une eléctricamente con los captadores (interruptores, finales de carrera, pulsadores, etc.) y la información que recogen, es enviada a la CPU para ser procesada de acuerdo a la programación residente. Podemos distinguir entre dos tipos de captores conectables al módulo de entradas: los activos y los pasivos.

- Los captadores activos, son dispositivos electrónicos que necesitan ser alimentados por una tensión para que varíen su estado lógico. Este es el caso de los diferentes detectores (inductivos, capacitivos, fotoeléctricos). Muchos de estos aparatos pueden ser alimentados por la propia fuente de alimentación del autómata si su consumo no es muy elevado.

- Los captadores pasivos, son aquellos que cambian su estado lógico (activado o no activado) por medio de una acción mecánica. De este tipo son los interruptores, pulsadores, finales de carrera, etc.

El módulo de salidas del autómata es el encargado de activar y desactivar los actuadores, como son las bobinas de contadores, lámparas, motores, etc. La información enviada por las entradas a la CPU, una vez procesada, se envía al módulo de salidas para que éstas sean activadas y, a la vez, a los actuadores que en ellas están conectados.

Según el tipo de proceso a controlar por el autómata, podemos utilizar diferentes módulos de salidas:

- Módulos de salidas a relés: Son usados en circuitos de corriente continua y alterna. Están basados en la conmutación mecánica, por la bobina del relé, de un contacto eléctrico normalmente abierto.

- Módulos de salidas *triacs*:[22] Se utilizan en circuitos de corriente continua y corriente alterna que necesiten maniobras de conmutación muy rápidas.

21 Motores paso a paso: Son motores que se pueden mover un paso cada la vez por cada pulso que se les aplique..

22 El triac es un dispositivo semiconductor de tres terminales que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a una carga, con la particularidad de que conduce en ambos sentidos y puede ser bloqueado por inversión de la tensión o al disminuir la corriente por debajo del valor de mantenimiento.

- Módulos de salidas a transistores de colector abierto: el uso de este tipo de módulos es exclusivo de los circuitos de corriente continua. Al igual que los triac, es utilizado en circuitos que necesiten maniobras de conexión y desconexión muy rápidas.

El terminal de programación, también conocido como consola de programación, de un autómata es el que permite la comunicación entre el operario y el sistema. Las funciones básicas que debe tener el terminal son las siguientes:

- Transferencia y modificación de los programas.
- Verificación de la programación.
- Información del funcionamiento de los distintos procesos.

Como terminales de programación pueden ser utilizadas las construidas específicamente para el autómata, tipo calculadora, o bien un ordenador que soporte un software especialmente diseñado para resolver los problemas de programación y control.

Los periféricos de los autómatas no intervienen directamente en el funcionamiento del mismo pero, sin embargo, facilitan la labor al operario. Los más utilizados son las grabadoras a *cassettes*, impresoras, cartuchos de memoria, visualizadores y paneles de operación.

2.3.3 – Funcionamiento de los autómatas programables

Cuando un autómata se pone en funcionamiento, realiza una serie de comprobaciones como el funcionamiento de las memorias, las comunicaciones internas y externas, entradas y salidas y las tensiones de la fuente de alimentación. Una vez hecho esto, se inicia la exploración del programa y se inicializa, en el caso de que esté en modo *RUN*. Si, por el contrario, se encuentra en modo *STOP*, no exploraría el programa hasta que no se encontrase en modo *RUN*.

Mientras el programa se ejecuta, la *CPU* realiza diferentes diagnósticos y, en el caso de que detectara alguna anomalía, se lo comunicaría al procesador.

El tiempo de cada ciclo de ejecución viene determinado por los tiempos empleados para cada operación. Para reducir esos tiempos, algunos autómatas cuentan con dos o más microprocesadores que trabajan en paralelo.

2.3.4 – Programación de los autómatas programables

Los equipos de programación sirven de interfaz entre el usuario y el autómata para poder introducir, en la memoria, las secuencias de control. Estas instrucciones pueden ser funciones lógicas, de tiempo, de cuenta, aritméticas, de espera, de salto, de comunicación y auxiliares.

Los lenguajes de programación de los autómatas, dependen del fabricante, ya que cada uno suele tener el suyo propio. Los programas, pueden realizarse de forma lineal o estructurada. En los programas lineales, las instrucciones se ejecutan una tras otra y, cuando llega al final, se repite de nuevo desde el principio. Si el programa va a ser muy complejo, se recomienda el uso de la programación estructurada, que consiste en dividir el proceso general en subprogramas.

Cuando surgieron los autómatas programables, lo hicieron con la necesidad de sustituir a los enormes cuadros de maniobra construidos con contactores y relés. Por lo tanto, la comunicación hombre-máquina debería ser similar a la utilizada hasta el momento. El lenguaje usado, debería poder ser interpretado con facilidad por los mismos técnicos electricistas que, anteriormente, estaban en contacto con la instalación.

Estos lenguajes han evolucionado a lo largo del tiempo, de tal forma que algunos de ellos ya no tienen nada que ver con el típico plano eléctrico basado en relés.

Los lenguajes más significativos son:

- Lenguaje de contactos (LD): Es el que más similitudes tiene como el utilizado por un electricista al elaborar cuadros de automatismos, muchos autómatas incluyen módulos especiales de software para poder programar gráficamente de esta forma. En la figura 2.19 mostramos un ejemplo de un lenguaje de contactos.

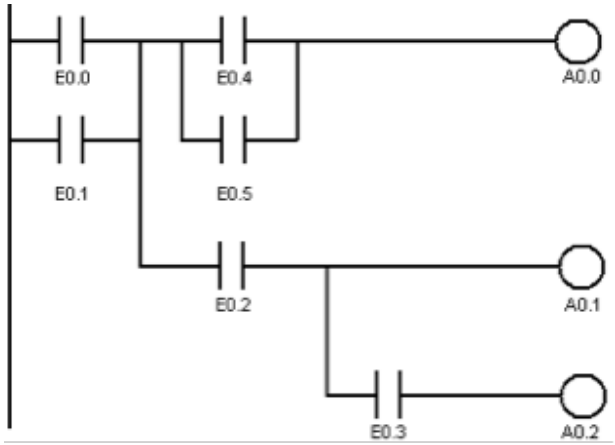


Figura 2.19: Lenguaje de contactos (Fuente: www.automatas.org)

- Lenguaje por lista de instrucciones (IL): Usado en los autómatas de gama baja, ya que es el único método de programarlos. Consiste en elaborar una lista de instrucciones o mnemónicos que se asocian a los símbolos y su combinación en un circuito eléctrico a contactos. Este tipo de programación es, en algunos casos, la única forma de programación e, incluso, la más potente. En la figura 2.20, mostramos un ejemplo de código de un lenguaje por lista de instrucciones.

```
000   LD    %I0.1   Bp. inicio ciclo
      AND   %I0.0   Dp. presencia vehículo
      AND   %M3     Bit autorización reloj calendari
      AND   %I0.5   Fc. alto rodillo
      AND   %I0.4   Fc. detrás pórtico
005   S     %M0     Memo inicio ciclo
      LD    %M2
      AND   %I0.5
      OR    %I0.2   Bp. parada ciclo
      R     %M0
010   LD    %M0
      ST    %Q0.0   Piloto ciclo
```

Figura 2.20: Lenguaje IL (Fuente: www.automatas.org)

- Lenguaje *GRAFCET* (SCF): También llamado Gráfico de Orden Etapa de Transición, fue específicamente diseñado para resolver problemas de automatismos secuenciales. Las acciones son asociadas a las etapas y las condiciones a cumplir a las transiciones. Este lenguaje, como se observa en el gráfico, es enormemente sencillo de interpretar por los operarios sin conocimientos de automatismos eléctricos. Muchos de los autómatas que existen en el mercado permiten este tipo de programación, en modo gráfico, combinado con lenguaje de contactos o lista de instrucciones para programar cada etapa. En la figura 2.21 mostramos un ejemplo del lenguaje *GRAFCET*.

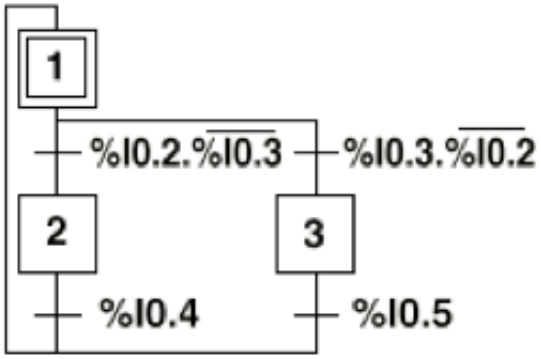


Figura 2.21: Lenguaje *GRAFCET* (Fuente: www.automatas.org)

- Lenguaje de plano de funciones (FDB): El plano de funciones lógicas, resulta muy cómodo de utilizar a los técnicos habituados a trabajar con puertas lógicas, ya que la simbología usada en los mismos es equivalente. En la figura 2.22 mostramos un ejemplo del lenguaje de plano de funciones.

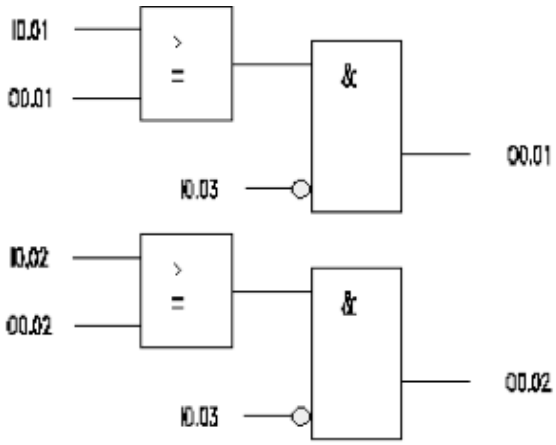
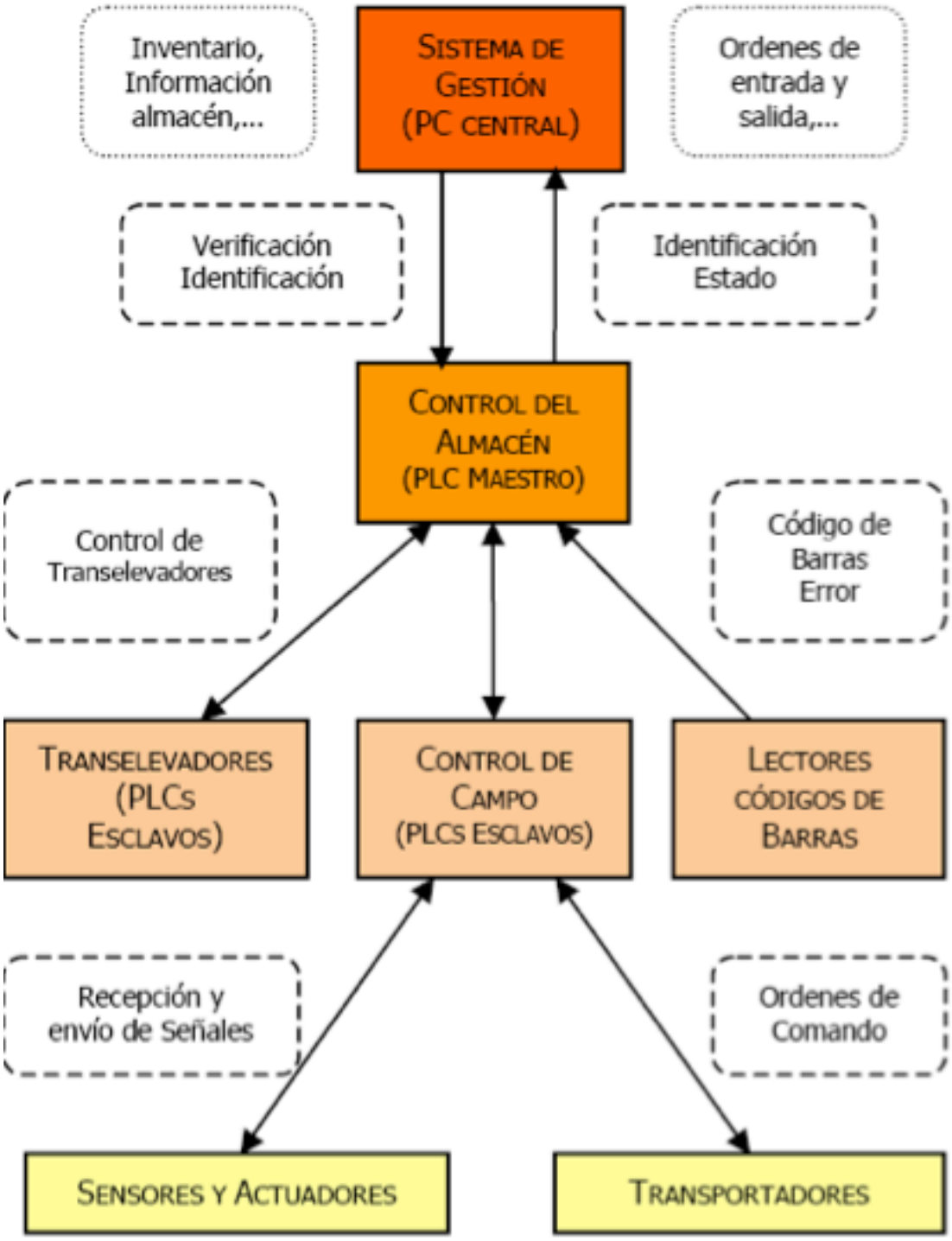


Figura 2.22: Lenguaje FDB (Fuente: www.automatas.org)

2.3.5 – Control de centros de distribución mediante autómatas programables En la actualidad, la automatización de los centros de distribución se realiza mediante el uso de Autómatas Programables o PLCs. Para desarrollar un sistema completo de almacenaje automático, es necesario determinar cuántas y cuáles van a ser las capas de nuestro sistema. En general, los niveles que van a tener son los que aparecen en la figura 2.23:



Los sistemas de control suelen tener una configuración distribuida. Como norma general, se suelen tener los siguientes autómatas:PLC maestro: Se comunica directamente con el sistema de gestión. Se encarga de coordinar todos los PLCs esclavos de la instalación y controla los movimientos de todos los transportadores encargados de la distribución de los productos.

- PLC esclavo de control de los transelevadores: Físicamente, están ubicados cada uno en un transelevador, por lo que hay tantos como transelevadores haya en el almacén. El PLC maestro, envía las órdenes de colocación y extracción de las mercancías, existiendo, al mismo tiempo, una comunicación de "acuse de trabajo realizado". Estos PLCs son los que se encargan de gobernar todos los accionamientos y sensores necesarios para realizar los movimientos oportunos.
- PLC de control de campo: Se encargan del manejo de las señales que envían y reciben los sensores y actuadores distribuidos por la planta. Además, indican la situación de los productos en cada momento (sensores de proximidad, finales de carrera, control de gálibo, etc.).

A continuación mostramos un ejemplo de autómata maestro (Simatic S7-300) en la figura 2.24 y un ejemplo de un autómata esclavo (Simatic S7-200) en la figura 2.25.

Figura 2.24: Simatic S7-300 (Fuente: www.automation.siemens.com)

Figura 2.25: Simatic S7-200 (Fuente: www.automation.siemens.com)

3 – ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN AUTOMATIZADO

En este apartado, se realizará el diseño de un centro de distribución conociendo unas especificaciones concretas de funcionamiento.

3.1 – Introducción

La última década ha supuesto un cambio sustancial en la manera de gestionar la logística de las empresas. Las innovaciones en los sistemas de informatización y comunicación, junto con las producidas en la ingeniería aplicada de los sistemas de almacenaje, han permitido convertir al centro logístico en un sistema inteligente de gestión de las mercancías. Y lo que es más importante, han conseguido integrar, muy estrechamente, al resto de la compañía con sus recursos logísticos, algo que ha facilitado que éstos formen parte de la producción, del servicio al cliente, del sistema de calidad e, incluso, como recurso para el marketing de la empresa y como herramienta indispensable en la toma de decisiones comerciales.

Un almacén ya no es un lugar en el que se guardan y del que se expiden mercancías, sino que es el centro neurálgico de la gestión de mercancías. A lo largo de cada uno de los procesos de aprovisionamiento, producción y distribución que constituyen la logística integral, se producen unas necesidades de almacenamiento de mercancías, ya sean materias primas, productos de obra en curso o productos acabados, surgidas de la imposibilidad de coordinar de una forma perfecta las necesidades de cada uno de ellos. Estas necesidades de almacenamiento son las que nos llevarán a la creación de un almacén.

Las funciones que desarrollan este tipo de centros de distribución puede englobarse en:

- Almacenaje.
- Manejo de cargas.
- Preparación de los pedidos.

Por lo tanto, los objetivos que nos proponemos deben ser el maximizar el espacio disponible y minimizar las operaciones de manipulación de materiales.

Para la obtención de este fin, se ha desarrollado un apoyo tecnológico a las actividades de almacema no sería posible. Sin embargo, esto no debe llevar a la confusión de que a medida que mejoran las técnicas, se pueda ir almacenando más cantidad de mercancías por el mismo coste.

3.2 – Especificaciones del centro de distribución

Antes de comenzar con el estudio para el diseño de un centro de distribución, es imprescindible establecer las especificaciones y requisitos necesarios para el centro dónde se quiere implantar:

- El centro de distribución estará situado en la parcela colindante al centro de producción. Los palés procedentes de producción, llegarán al centro de distribución mediante mesas de rodillos.
- Los productos almacenados tienen una demanda muy poco variable a lo largo del tiempo. Además, el centro de producción es capaz de adaptarse muy rápidamente a los cambios de demanda de sus clientes.

- El centro de producción es capaz de suministrar productos al centro de distribución durante unas 7 horas al día y tiene una capacidad máxima de producción diaria de unos 60 palés.
- Las cargas generadas tienen unas dimensiones de 0.8 x 1.2 x 0.5 metros y están formadas por productos homogéneos. Los productos generados no necesitan unas condiciones de temperatura y humedad determinadas.
- Existen tres tipos de productos, atendiendo a su grado de rotación: alta rotación, media rotación y baja rotación. En la tabla 3.1 se indican los índices de rotación anual [23] de cada tipo de producto. Se puede observar que los índices son elevados debido a la gran flexibilidad del centro de producción.

Tipo de producto	Índice de rotación
Alta rotación	35 - 45
Media rotación	25 - 35
Baja rotación	15 - 25

Tabla 3.1: Índices de rotación anual de los productos almacenados

- La capacidad de expedición del centro de distribución variará entre 50 y 70 palés al día, según la demanda.
- La expedición de productos se produce principalmente a primera hora de la mañana y en la mitad de la tarde. Sigue una distribución como se indica en la siguiente gráfica. Es importante, sobre todo para la empresa, que los tiempos de espera de los camiones no sean demasiado largos, por lo que es necesario que el centro pueda dar salida a unos 40 palés a la hora.

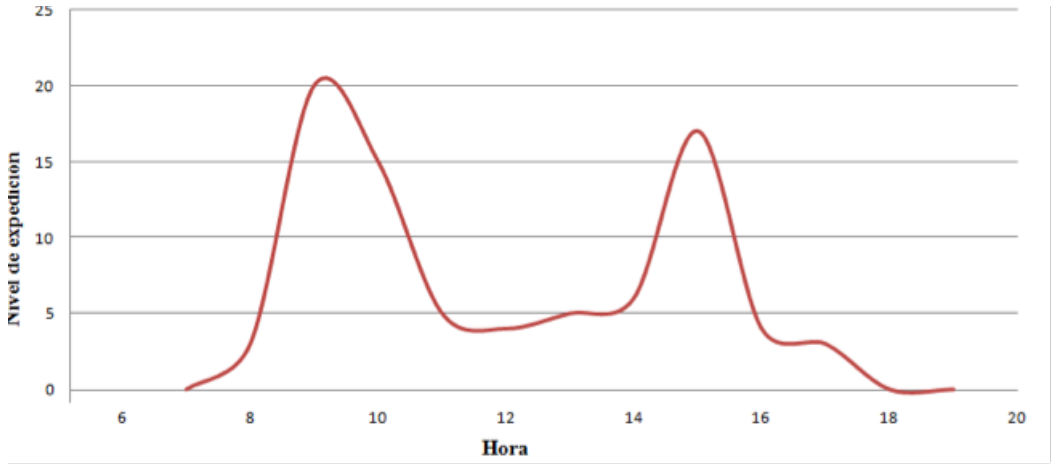


Figura 3.1: Gráfica de distribución del nivel de expedición a lo largo de un día

- Algunos de los camiones que llegan al centro de distribución para recoger los pedidos, aprovechan el viaje para entregar al centro materias primas. Debido a este fenómeno, se produce el pico de expedición de la tarde.

23 Índice de rotación anual: Mide la frecuencia de salida de las existencias almacenadas. Se calcula comparando el stock medio de las existencias que permanecen en el almacén con sus consumos. El resultado será el número de veces que se renuevan las existencias a lo largo del año.

- En esta empresa, la expedición de pedidos resultantes de un proceso de *picking* es algo habitual, es decir, se utilizan palés de productos homogéneos del almacén para formar palés heterogéneos. Estos trabajos de *picking* se realizan durante las horas en la que hay menos salidas de pedidos. De este modo, se envían los pedidos a lo largo del día siguiente. Una vez conformados los palés resultantes del proceso de *picking*, éstos suelen ser llevados al almacén automático.

- Para la empresa resulta de vital importancia que el nuevo centro de distribución proporcione un buen seguimiento y trazabilidad de los distintos productos.

Una vez detalladas las especificaciones requeridas por la empresa, se da paso al diseño del centro.

3.3 – Estudio para el diseño del centro de distribución

El primer tema que hay que plantearse a la hora de diseñar un centro de distribución es la función de ese centro en el conjunto de la cadena logística. Esta cuestión es básica, ya que de su respuesta depende el tipo de instalación que se va a definir.

Existen dos modelos extremos:

- El almacén, cuya función principal es la de servir de regulador entre la oferta y la demanda, tanto por su estacionalidad como por el tamaño del pedido.

- El centro de distribución, cuya función es la de incorporar valor al producto a través de operaciones finales como etiquetado, personalización del producto, división o agregación.

Estos modelos no se suelen reproducir en estado puro y la mayoría suelen ser una combinación o puntos intermedios entre ambos extremos. Lo realmente importante es que se tenga claro cuál es la misión principal del centro de distribución y que ésta sea coherente con la globalidad de la estrategia de la compañía.

En la tabla 3.2 podemos ver un resumen de las características y diferencias fundamentales entre los dos modelos:

	Almacén	**Centro de Distribución**
Función Principal	Gestiona el almacenaje y manipulación del inventario	Gestiona el flujo de los materiales
"Cost Driver" Principal	Espacio e instalaciones	Mano de obra
Ciclo de Pedido	Meses, semanas	Días, horas
Actividades de Valor añadido	Puntuales	Forman parte intrínseca del proceso
Expediciones	Bajo demanda del cliente	"Push Shipping"
Rotación del inventario	3, 6,12	24, 48, 96, 120

Figura 3.2: Organigrama para el diseño de un almacén automático. (Fuente: F. J. Maldonado Vega et al.)

La tipología del almacén influye decisivamente en el diseño, sobre todo en lo referente a las necesidades de manipulación del material. En un almacén, el énfasis va a estar en la optimización del espacio y en dotar a los sistemas de manipulación de cargas, situados normalmente a una gran altura y con unos volúmenes de trabajo medios. En un centro de distribución, el énfasis debe estar en un rápido flujo de materiales y en la optimización de la mano de obra, sobre todo en las labores de *picking*.

En este caso que estamos tratando, se busca un modelo próximo a un centro de distribución puro. Además de almacenar productos, se etiquetarán, se formarán pedidos mediante *picking*, etc.

Una vez definida la función principal, se procede a su dimensionamiento, es decir, definir los volúmenes actuales y previstos en cuanto a referencias, ubicaciones necesarias, tipologías de embalajes, tipologías de artículos por sus condiciones de almacenamiento (peso, volumen, temperatura requerida, lotes, trazabilidad, etc.) y, fundamentalmente, cuál es la rotación dentro de estas tipologías. Todo este dimensionamiento se define detalladamente en el siguiente apartado.

En este punto, es muy importante un análisis exhaustivo de los datos actuales y futuros, considerando valores de actividad medios y picos de actividad.

El centro en cuestión no requiere de una gran capacidad de almacenamiento, ya que el sistema de producción es capaz de adecuarse fácilmente a los cambios de demanda. Será diseñado para albergar alrededor de 200 palés, los cuales, como ya se ha comentado, tienen variados grados de rotación y podrán ser introducidos al centro por varias entradas:

- Desde una planta de producción colindante al centro de distribución.
- Desde los muelles de carga, mediante carretillas elevadoras.

Una vez que sabemos para qué sirve el almacén y el volumen que tendrá, llega la hora de aplicar una tecnología concreta. El primer paso consiste en definir los flujos de materiales. Estos flujos deben condicionar el equipamiento a utilizar y nunca al contrario.

Para diseñar el flujo[24], se pueden aplicar los siguientes siete principios básicos:

- Unidad máxima: Cuanto mayor sea la unidad de manipulación, menor número de movimientos se deberán realizar y, por tanto, menor será la mano de obra empleada.
- Recorrido mínimo: Cuanto menor sea la distancia, menor será el tiempo de movimiento y, por tanto, menor será la mano de obra empleada. En el caso de las instalaciones automáticas, menor será la inversión a realizar.
- Espacio mínimo: Cuanto menor sea el espacio requerido, menor será el coste del suelo y menores serán los recorridos.
- Tiempo mínimo: Cuanto menor sea el tiempo de las operaciones, menor es la mano de obra empleada y el *lead time* del proceso y, por tanto, mayor es la capacidad de respuesta.
- Mínimo número de manipulaciones: Cada manipulación debe de añadir el máximo valor al producto o el mínimo coste. Se deben eliminar, al máximo, todas aquellas manipulaciones que no añadan valor al producto.

24 Fuente: Robenson y Copaccino

- Agrupación: Si se consiguen agrupar las actividades en conjuntos de artículos similares, mayor será la unidad de manipulación y, por tanto, mayor será la eficiencia obtenida.
- Equilibrado de líneas: Todo proceso no equilibrado implica que existen recursos sobre-dimensionados, además de formar inventarios en curso elevados y, por tanto, costosos.

El organigrama para llevar a cabo un proyecto de este tipo es el que se muestra en la figura 3.2:

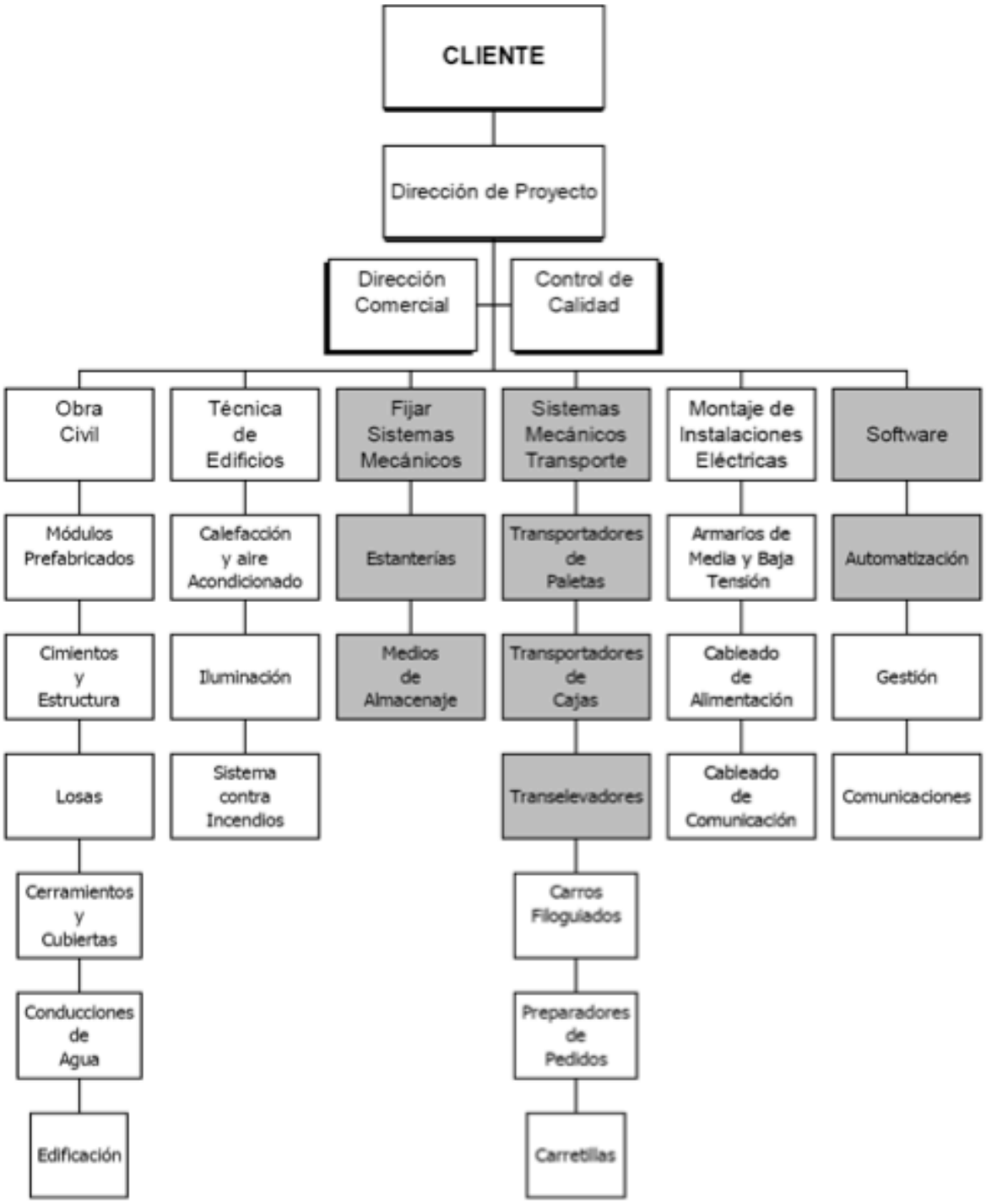


Tabla 3.2: Características y diferencias entre almacenes y centros de distribución (Fuente: www.mecalux.com)

Este desarrollo hace referencia a un proyecto de nueva implantación, en el cual se va a tener en cuenta desde la elección del emplazamiento hasta el diseño del sistema que lo va a gestionar. El enfoque de este proyecto es, más bien, la automatización de un nuevo almacén, con unas dimensiones determinadas y unos condicionantes previos, que van a influir expresamente en su concepción.Por lo tanto, los puntos del organigrama anterior que se van a tratar principalmente, son los referentes a los medios de almacenaje, sistemas mecánicos de transporte y su automatización (bloques en gris del diagrama anterior).

El último paso del diseño consiste en la integración de todos los elementos analizados anteriormente y trasladarlos a una cuenta de resultados. Todo proyecto debe acompañarse de un análisis de viabilidad, donde se considere su impacto sobre los tres *Cost Drivers* fundamentales, es decir: espacio, mano de obra y capital y nivel de servicio.

Se deben analizar en detalle los siguientes aspectos:

- Inversiones a realizar:
    - Costes del proyecto (diseño, implantación y gestión del proyecto).
    - Costes de suelo y edificación.
    - Inversión en elementos de almacenaje.
    - Inversión en elementos de manutención y manipulación.
    - Inversión en sistemas de información y tecnologías de identificación.
    - Costes de puesta en marcha y/o traslado.
- Variación en los gastos/ingresos debidos a:
    - Costes de mano de obra asociados a la explotación del nuevo centro.
    - Costes de operación:
        - Agua, gas luz, electricidad.
        - Comunicaciones.
        - Gastos de operación de los elementos de manutención y manipulación.
        - Gastos de mantenimiento de los elementos de manutención, manipulación y de los sistemas de información.
        - Seguros.
    - Costes de gestión.
    - Costes de capital de la inversión realizada.
    - Amortizaciones.
    - Aumento en la capacidad de respuesta.
    - Fiabilidad de los stocks.
    - Disminución de errores de los procesos.

Después de modelar el proceso, se procede a seleccionar el equipamiento, tanto físico como el sistema de información, que debe soportar estos procesos. Como mensaje fundamental, existen multitud de soluciones adaptadas a, prácticamente, cualquier problema, siendo muy útiles las herramientas de simulación para garantizar la capacidad del sistema en su totalidad. La variable fundamental es cuál se adapta mejor a los requerimientos del almacén a diseño y minimiza los componentes de coste, al tiempo que aumenta el nivel de servicio y, sobre todo, cómo se integran entre sí.

3.4 – Diseño del almacén

La primera tarea que vamos a realizar es definir la configuración del almacén automático. Se entiende por configurar un almacén a la determinación de las dimensiones y formas que deben encerrar el volumen que precisamos. Los ajustes de anchura se realizarán calculando el espacio ocupado por cada una de las cargas que deseamos almacenar y el espacio que se requiere, por tanto, para almacenar el número de cargas solicitado.

En el caso que se va a analizar, las cargas estarán colocadas sobre palés. Esta es la tipología de embalaje más típica, ya que es posible almacenar los bultos de manera eficiente, al poder ser apilados hasta el techo.

El palé europeo es el acondicionamiento colectivo de mayor uso. Tiene unas dimensiones de 800 x 1200 milímetros (ver imagen). Su longitud de 1’2 metros corresponde a poco menos de la mitad del ancho máximo de los camiones reglamentados por el código de carretera (2’5 metros). De este modo, se racionalizan las tasas de llenado de los vehículos. En la figura 3.3 se muestra una imagen de un palé europeo.

Figura 3.3: Palé europeo (Fuente: www.mabesat.com)

A continuación debemos calcular la unidad de carga. Esta se obtiene para el caso de carga sobre el palé, por lo que a las dimensiones de la carga, hay que sumarle las dimensiones del palé. Las cargas que se van a tratar en este caso, tienen unas dimensiones de 800 x 1200 x 500 milímetros que, sumándole las dimensiones del palé utilizado, queda una unidad de carga de 800 x 1200 x 635 milímetros.

Una vez calculada la unidad de carga, se definirá el tamaño del módulo de almacenamiento, eligiendo el número de palés, productos a almacenar por hueco y las distancias de seguridad que deben dejarse entre los distintos elementos. Al final, será este tamaño de módulo el que defina la geometría del almacén.

Teniendo en cuenta estas premisas, obtenemos las dimensiones de cada hueco en las estanterías: 1700 x 1200 x 1400 milímetros. Como se ha comentado con anterioridad, el almacén que se está diseñando será de tamaño pequeño. Se busca una capacidad de almacenamiento de unos 200 bultos. A pesar de la baja capacidad de almacenamiento de este centro, se ha optado por instalar tres transelevadores. Esto es debido a que el centro de distribución tiene que ser capaz de dar salida a gran cantidad de los pedidos en un pequeño periodo de tiempo. Introduciendo este número de transelevadores, el centro podría ser capaz de dar salida a todos los pedidos diarios en algo más de una hora.

Cabe destacar también que en los almacenes automáticos es conveniente usar un número par de estanterías, ya que los transelevadores pueden tener acceso a dos de ellas. Por lo tanto, el número de estanterías será el doble que el de transelevadores.

Finalmente, el centro contará con seis estanterías, cada una de ellas formada por seis filas y seis columnas. Consecuentemente, la capacidad de almacenamiento máxima del centro de distribución será de 216 palés.

3.5 – Diseño de los sistemas de manipulación

El sistema de manipulación está formado por todos aquellos elementos que van a transportar, ordenar, acumular y almacenar los productos. Estos elementos van a ser, principalmente, los transelevadores, el elevador, las mesas de rodillos y las mesas de cadenas.

3.5.1 – Transelevadores

La necesidad del aprovechamiento máximo de la superficie disponible en los almacenes, ha provocado el desarrollo de transelevadores, máquinas diseñadas para trabajar en pasillos muy estrechos y en alturas que pueden superar los treinta metros.

Un transelevador es el elemento mecánico principal de un almacén automático de palés o cajas. Es el encargado de transportar la carga a través del pasillo entre estanterías, con posibilidad de movimiento longitudinal y de elevación. Alberga la cuna, elemento que efectúa el movimiento final de depositar o extraer la unidad de carga de la estantería o puesto de entrada salida.

Los almacenes gestionados con transelevadores, pueden ser de doble o simple fondo. Los almacenes de doble fondo permiten almacenar en dos niveles de profundidad en cada ubicación de la estantería, maximizando la capacidad de almacenaje. En el caso que se trata, se han seleccionado transelevadores de simple fondo, ya que la rotación de los productos es muy elevada.

En aquellos casos en los que se determina que la estantería tenga dos cargas en profundidad, el transelevador se programa para acceder a la segunda carga en fondo. Para ello, la cuna dispone de una horquilla telescópica capaz de trabajar en doble profundidad. Los almacenes de doble fondo, están indicados para instalaciones dónde el número de ciclos que hay que realizar no es muy elevado, consiguiendo capacidades mayores y una inversión final más contenida.

Las ventajas del uso de transelevadores respecto a los sistemas clásicos son las siguientes:

- Automatización de las operaciones de entrada y salida de los productos.
- Eliminación de los errores derivados de la gestión manual.
- Control y actualización de los inventarios.

- Ahorro de espacio en el almacenaje.
- Coordinación, por parte de un software de gestión, de todos los movimientos del almacén.

El funcionamiento de los transelevadores es sencillo, basándose en recoger las cargas de las mesas de entrada cuando el PLC correspondiente haya recibido la orden específica para ello y almacenarla en la posición que se le haya indicado; o bien, recoger la carga de la ubicación señalada y retirarla a las mesas de salida.

Los transelevadores tienen un movimiento de traslación y otro movimiento de elevación, que se realizan simultáneamente, hasta ubicarse en frente de la posición de almacenamiento señalada o de la mesa de salida correspondiente. Para el posicionamiento, se emplean células fotoeléctricas y para el movimiento células de comunicación que permiten dialogar con el exterior.

Los transelevadores seleccionados, se caracterizan por una construcción mono-columna. Su movimiento se realiza a través de un raíl situado en el suelo, el cual conduce todas las fuerzas y reacciones que se presentan directamente al firme. El guiado en la parte superior, se efectúa por un perfil de guía, que se puede sujetar a la estructura de la nave o a los largueros que conforman las estanterías.

Este tipo de transelevadores se compone de los siguientes conjuntos principales:

- Columna, testero inferior y superior.
- Cuna de elevación.
- Mecanismo de elevación.
- Mecanismo de traslación.

En la figura 3.4 se muestra el grupo de transelevadores modelado en Grasp10 para la simulación que se tratará en el siguiente apartado.

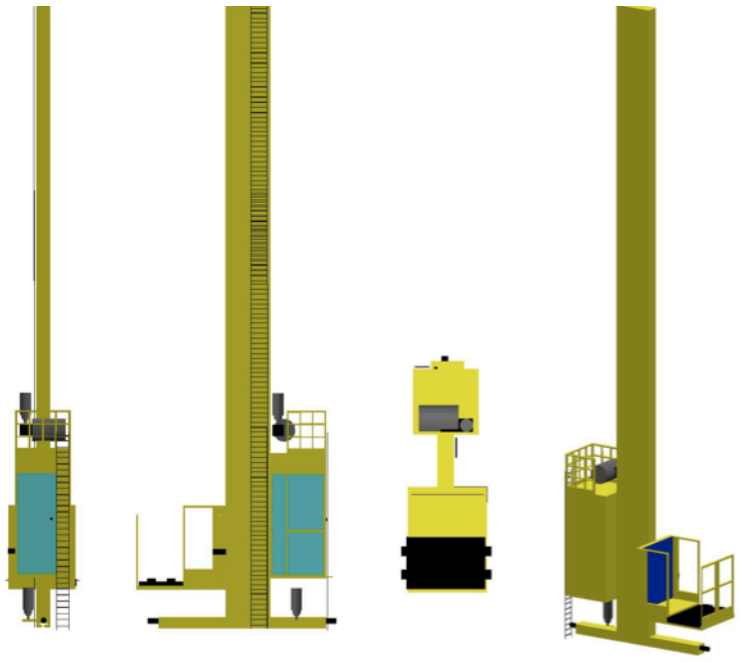


Figura 3.4: Transelevadores diseñados con Grasp10

Como se ha podido observar, el centro de distribución contará con tres transelevadores y un espacio de trabajo de 12 x 4 x 19 metros cada uno.El intercambio de datos está previsto entre la instalación fija y el transelevador por medio de rayos infrarrojos. La transmisión de datos se efectúa en serie, según el código ASCII. Los aparatos se pueden excitar en cada pasillo y en cada momento.

Los datos reales se tratan de forma digital y absoluta, tanto en vertical como en horizontal.

- Horizontalmente, se sitúan en la máquina lectores digitales y en la estantería fija la adecuada codificación por hueco.
- Verticalmente, los lectores ópticos en el carro de elevación leen las marcas codificadas a distintas alturas en las columnas del transelevador.

En ocasiones, las bases de datos de los productos almacenados en los almacenes se pierden o se modifican por error. Debido a esto, en este proyecto se propone la instalación de unos lectores *RFID* en cada uno de los transelevadores. De este modo, basta con realizar un barrido por cada una de las posiciones del almacén, para poder recuperar toda la información sobre los productos almacenados. Esta tarea es rápida y sencilla. Teniendo en cuenta que la velocidad de los transelevadores suele rondar los 6 metros por segundo, un almacén como el que se está tratando, tardaría en recoger toda la información en menos de seis segundos.

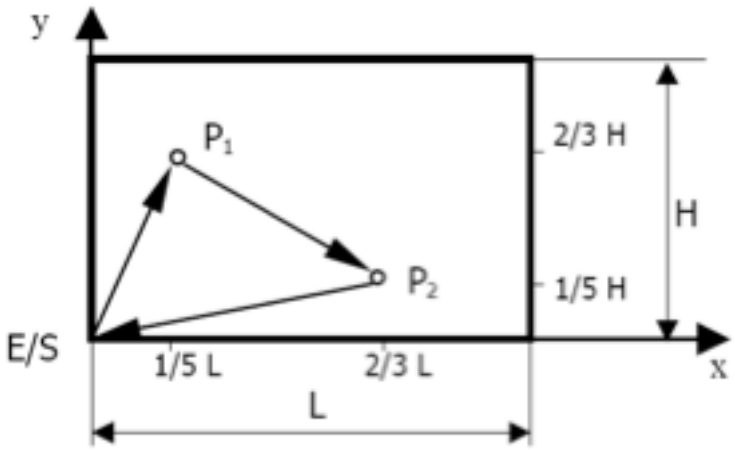
La cadencia de trabajo se mide a través del número de unidades que se almacenan o se desalmacenan por unidad de tiempo. Este valor depende de:

- Número de transelevadores disponible.
- Número de ciclos por transelevador. Este parámetro depende también de:
    - Secuencia de movimientos.
    - Disposición de los puntos de frecuencia.
    - Rendimiento del transelevador.

El funcionamiento del transelevador, puede ser realizando ciclos simples (E/S – P1 – E/S) o con ciclos dobles (E/S – P1 – P2 – E/S):

- Ciclo simple de almacenaje: Conjunto de movimientos que efectúa el transelevador para tomar una carga de la cabecera y almacenarla en la estantería.
- Ciclo doble de almacenaje: Conjunto de movimientos que efectúa el transelevador para tomar una carga de la cabecera, almacenarla y, a su vez, extraer otra de la estantería y dejarla situada en la misma cabecera.

Trabajando con ciclos dobles, se aprovecha al máximo el funcionamiento del transelevador a la hora de la preparación de pedidos. El tiempo de un ciclo, es la duración de un movimiento completo. En la figura 3.5, aparece representado el cálculo de un ciclo doble, dónde L es la longitud de cada pasillo de estanterías y H la altura del almacén:



$P_1 = (1/5\ L\ ,\ 2/3\ H)$

$P_2 = (2/3\ L\ ,\ 1/5\ H)$

Figura 3.5: Cálculo ciclo doble. (Fuente: F. J. Maldonado Vega et al.)

3.5.2 – Transportadores

Las decisiones planificadas constituyen una forma lógica y disciplinada de llevar a cabo una actuación a largo plazo sobre los equipos de manipulación de materiales.

Si estas decisiones se ejecutan correctamente, permiten un aumento en la cantidad de mercancía manipulada, en el número de productos almacenados y en el volumen de operaciones realizadas.

El proceso de decisión gira en torno a los principios claves de la manipulación de materiales:

- El movimiento continuo es más económico.
- Las economías son directamente proporcionales al tamaño de la carga.
- La estandarización reduce los costes.
- La mecanización mejora la eficiencia.
- La gravedad es una fuerza motriz barata.
- Simplicidad.

El sistema de transporte de los productos desde los puntos de entrada hasta el almacén, así como la distribución de los mismos en áreas de *picking*, se realiza por medio de diversos elementos, como son:

- Mesas de cadenas, para los movimientos transversales.
- Mesas de rodillos.
- Lanzaderas.

- Elevadores.
- Mesas giratorias a 90º.
- Etc.

Los materiales empleados para la construcción de estos elementos son de última tecnología (aluminio) y están formados por piezas estandarizadas para reducir al mínimo la cantidad de recambios necesarios en la explotación.

El sistema de distribución que se está tratando, utilizará mesas de rodillos, mesas de cadenas, mesas transferidoras y un elevador:

- Mesas de rodillos: Son unos dispositivos que utilizan rodillos para facilitar el manejo y traslado de una gran diversidad de objetos. Este tipo de mesas permiten el traslado de los palés en el sentido longitudinal de los patines. Suele ser el elemento más usual en los sistemas de transporte interno de palés, debido a su sencillez y versatilidad de medidas, por lo que puede cubrir largas distancias. Su diseño, sencillo y robusto, ofrece gran fiabilidad en todo los entornos de trabajo. En la figura 3.6 se muestra el diseño de una mesa de rodillos diseñada con Grasp10.

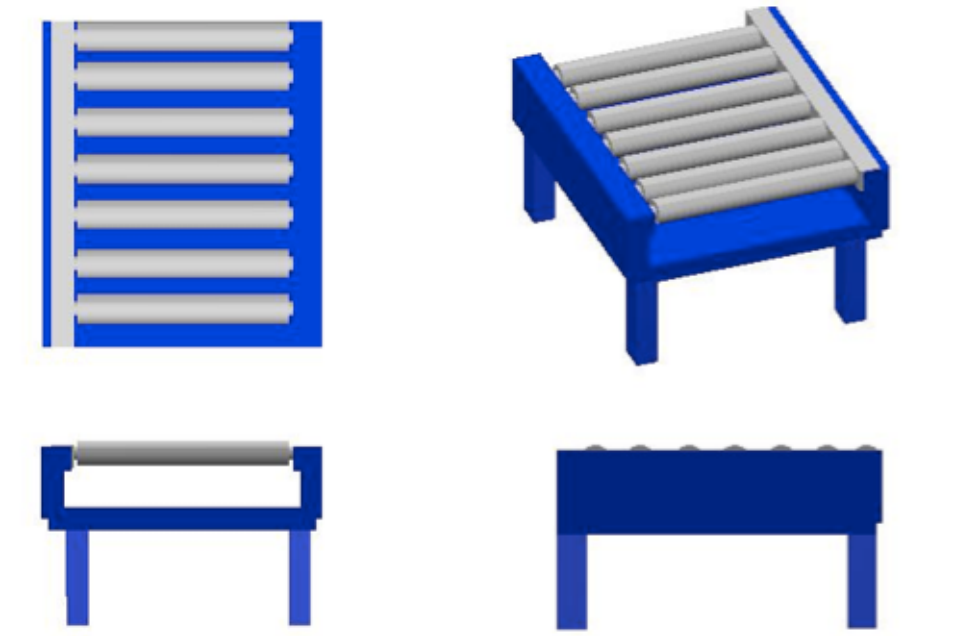


Figura 3.6: Mesa de rodillos diseñada con Grasp10

- Mesas de cadenas: Son unos dispositivos que permiten el traslado de objetos por medio de cadenas. Su uso fundamental es para el movimiento en sentido trasversal a los patines. Es el complemento perfecto de las mesas de rodillos, puesto que la unión de ambos permite describir giros de 90º ó 180º, facilitando la creación de recirculados y de circuitos de transporte, adaptados a las necesidades del almacén. En la figura 3.7 se muestra una mesa de cadenas diseñada con Grasp10.

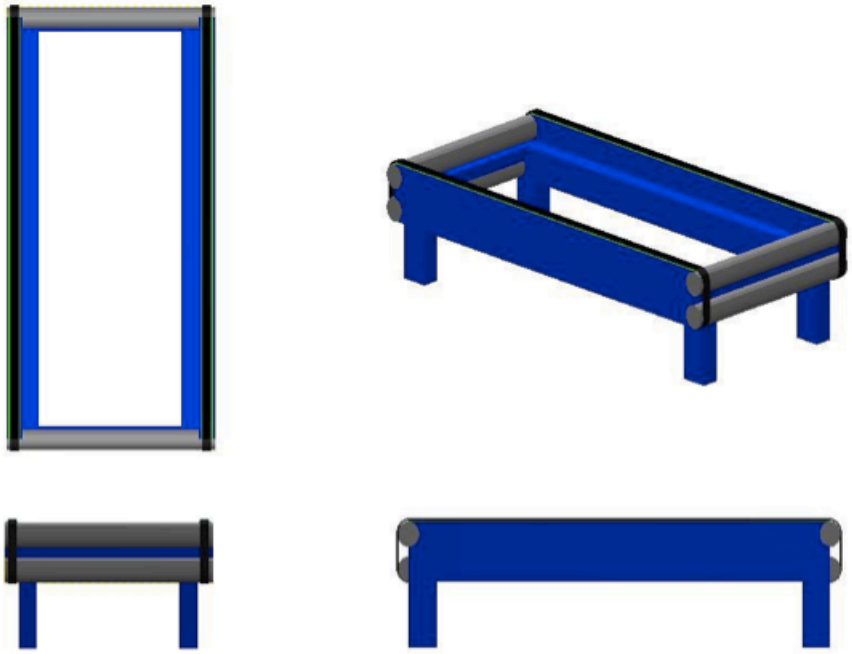


Figura 3.7: Mesa de cadenas diseñada con Grasp10

- Mesa transferidora: También denominada mesa de transferencia, transferidor o transfer. Se utiliza para trasladar la unidad de carga de un sistema de transporte de rodillos a uno de transporte de cadenas o viceversa, manteniendo siempre la orientación de la carga y modificando la dirección 90º. En la figura 3.8 se muestra una mesa transferidora diseñada con Grasp10.

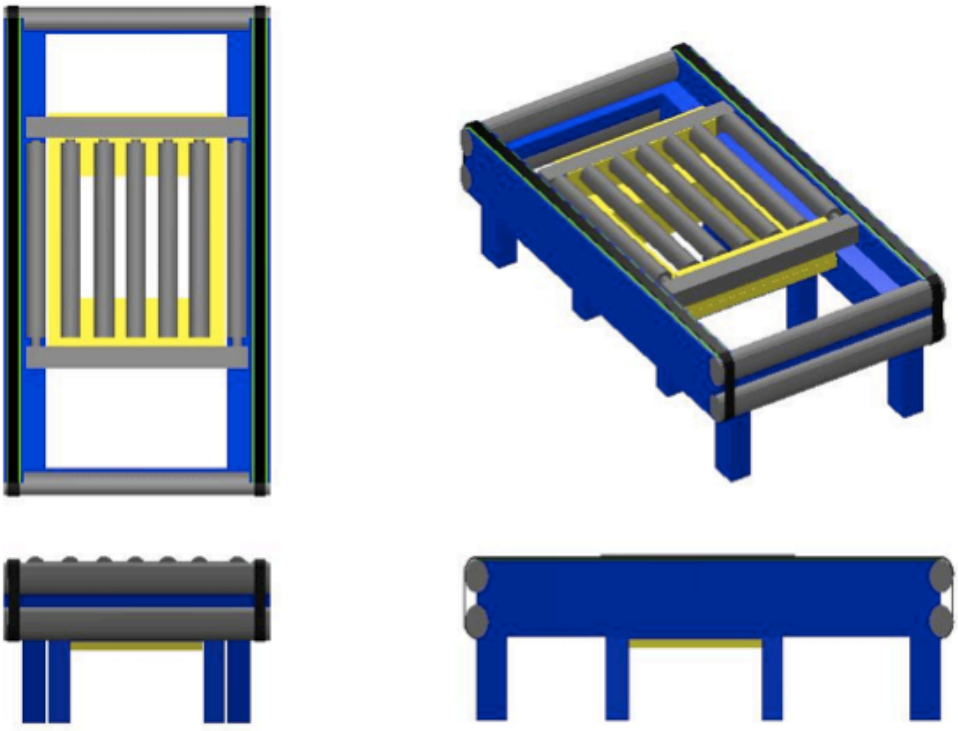


Figura 3.8: Mesa transferidora diseñada con Grasp10

- Lanzaderas: También denominados *shuttles*, son carros para el transporte continuo dirigido de palés, cajas o cubetas entre dos o más puntos de un almacén. Ofrece la posibilidad de transportar más de una unidad de carga a la vez. En las plantas automáticas, es un sustituto por coste de los transportadores de rodillos. El rendimiento depende de los requerimientos de la instalación.

- Elevadores: Se trata de un elemento de transporte vertical de unidades de carga basado en un dispositivo de elevación mediante contrapeso y un sistema de tracción. Se implanta en instalaciones con sistemas de transporte a distintos niveles de altura. Permite una recirculación vertical y cualquier tipo de transportador, cadenas o rodillos. En la figura 3.9 se muestran los elevadores diseñados con Grasp10.

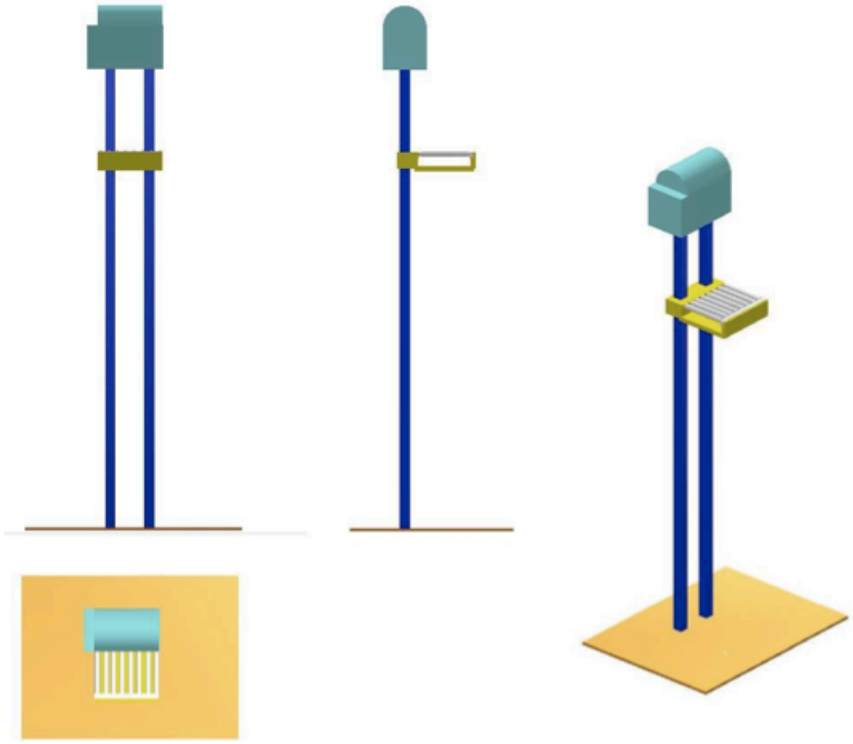


Figura 3.9: Elevadores diseñados con Grasp10

3.6 – Distribución en planta y geometría

Una vez realizado el estudio para el diseño del centro de distribución, se procede a la configuración de la planta. En la misma se distinguen tres áreas de manipulación de materiales, claramente definidas: el punto de identificación de entradas (o *PIE*), el almacén automático y la estación de *picking*.

3.6.1 – Punto de Identificación de Entradas (*PIE*)

El *PIE* es la parte que conecta la parte de producción de la empresa con el almacén automático. Es aquí donde se identifican los palés que llegan de producción o desde los muelles de entrada. Esta identificación de realizará mediante la tecnología *RFID* y, la información sobre cada palé, se irá completando a lo largo del sistema, de modo que se tenga constancia de las modificaciones que se realizan en cada uno de ellos.

Por otra parte, el *PIE* tiene más funciones. Es aquí donde se verifica el estado estructural del palé, su colocación, etc. Para comprobar el estado de los palés, el *PIE* cuenta con una puerta de gálibo en la que se puede comprobar el estado de los tacos, la colocación de las etiquetas, etc.

En la figura 3.10, se muestra un esquema del punto de identificación de entradas, en el que se pueden observar los sentidos de circulación de los palés, así como las zonas de las distintas partes de la planta.

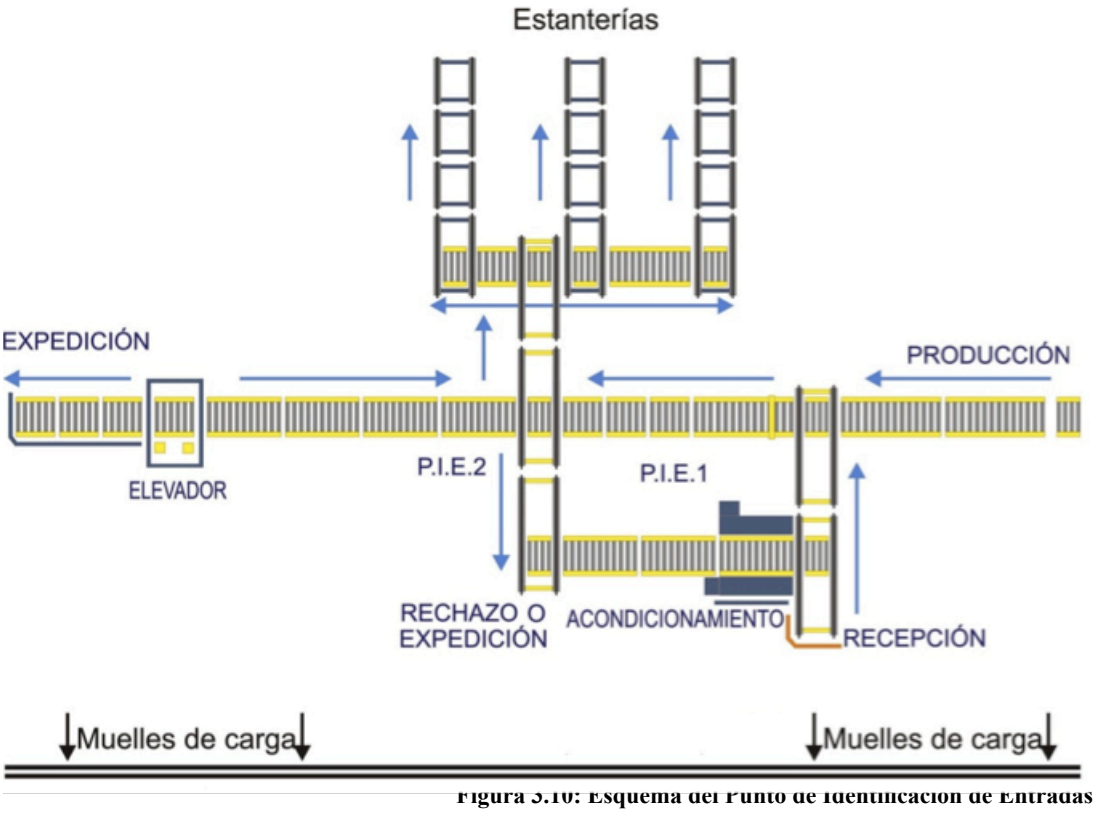


Figura 3.10: Esquema del Punto de Identificación de Entradas

El *PIE* tiene siete grandes cometidos:

- Identificación del palé. La información que normalmente se introduce en las etiquetas *RFID* es variada y depende mucho de la industria donde se aplica. Es frecuente encontrar datos como:
    - Número de productos o envases que contiene el palé.
    - Fecha de salida desde producción.
    - Código identificativo.
- La identificación recogida de la información no siempre se realiza en los puntos de identificación de entradas. En ocasiones, esta operación se realiza en la estación de conformación de palés donde, una vez completado el palé, se añade la información correspondiente a la etiqueta *RFID*.

- Análisis del estado estructural del palé: Cuando el palé pasa por la puerta de gálibo, se comprueba si la etiqueta está bien colocada, si la orientación del palé es la adecuada, si está en buenas condiciones, etc. Del resultado de este análisis depende la recirculación del palé para su reorientación y/o etiquetado o la introducción de éste en el almacén.

- Reorientación y/o reetiquetado de los palés: En el caso de que alguno de los parámetros obtenidos en el análisis anterior no sea correcto, el palé será recirculado a la zona de rechazo y acondicionamiento. Posteriormente, un operario realizará las operaciones necesarias para reacondicionar la carga y, de nuevo, será introducido por la entrada.

- Reacondicionamiento de palés dañados: El análisis del estado estructural del palé aporta datos de sus condiciones, como pueden ser:

    - Falta o rotura de tacos.
    - Daños en los listones del palé.
    - Mala colocación de la carga.

  Cuando ocurre alguno de estos daños, el palé pasa a la zona de acondicionamiento y es recirculado a la entrada. En el caso de que el palé no pueda ser reacondicionado, saldrá por la zona de rechazo y será retirado por una carretilla elevadora.

- Introducción de palés al almacén: Una vez que el palé cumple todos los requisitos, pasa a la zona de almacenamiento y, una vez allí, un lector *RFID* toma los datos contenidos en la etiqueta y el sistema de control decide la ubicación que ha de tener cada uno de los palés. Dependiendo de la ubicación asignada, el palé pasa a uno de los tres pasillos de las estanterías. Una vez allí, el palé queda a la espera de ser recogido por el transelevador.

- Salida de palés a expedición: En determinadas ocasiones, los palés provenientes de producción, son directamente enviados a los clientes. En esos casos, no es necesario que pasen por el almacén, por lo que, directamente, se sacan del centro por la zona de expedición (es la misma que la zona de rechazo).

- Entrada de palés formados en *picking*: como se puede observar en la figura de *PIE*, el punto de identificación de entradas está dotado de un elevador. Este elevador comunica la salida de la planta de *picking* con la salida a expedición o la entrada del almacén automático. En la figura 3.11 se muestra un diagrama de flujo del funcionamiento de un *PIE*.

3.6.2 – Estación de *picking*

Como se comentó en el punto 2.1.4, *picking* en los centros de distribución automatizados, la estación de *picking* nace de la necesidad de las empresas de suministrar a sus clientes pedidos heterogéneos. En la actualidad, la industria se encuentra con numerosos problemas a la hora de automatizar las tareas de *picking*, debido a su naturaleza variable e impredecible. Es por ello por lo que la mayor parte de las empresas sigue realizando este proceso a mano.

En la figura 3.12 se puede apreciar el diseño de la planta de *picking*. Esta se encuentra en el nivel uno, es decir, sobre el punto de identificación de entradas.

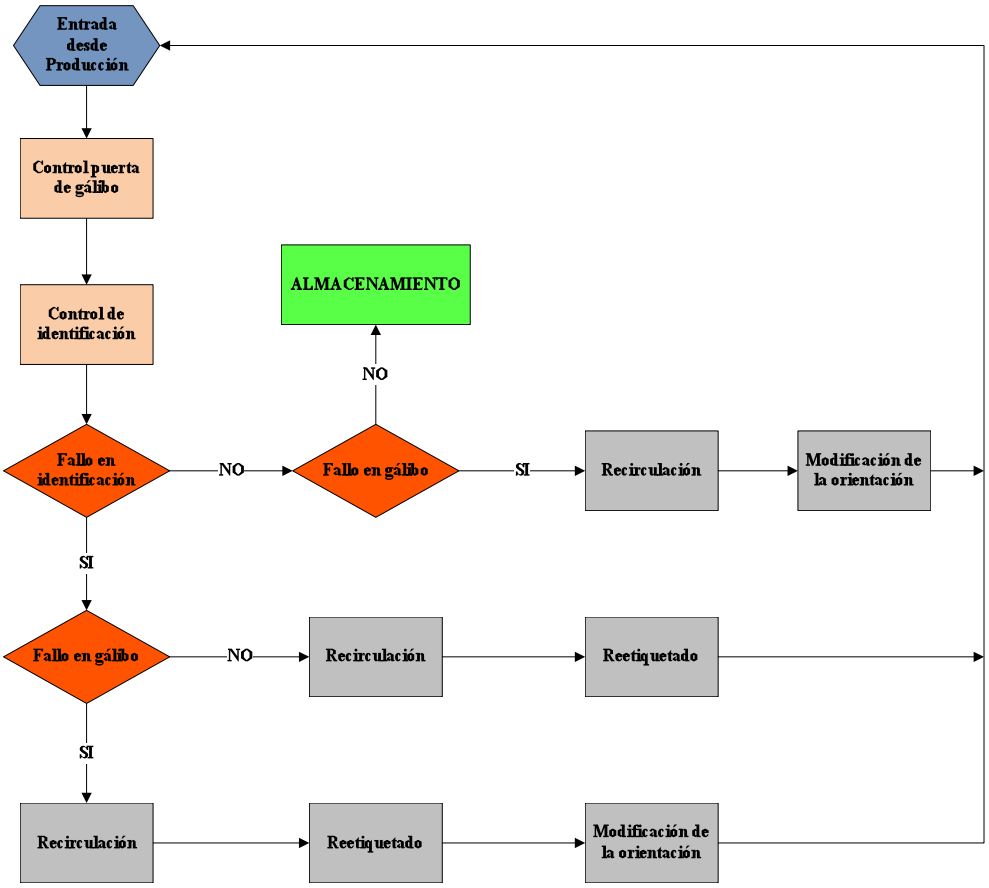


Figura 3.11: Diagrama de flujo de un Punto de Identificación de Entradas

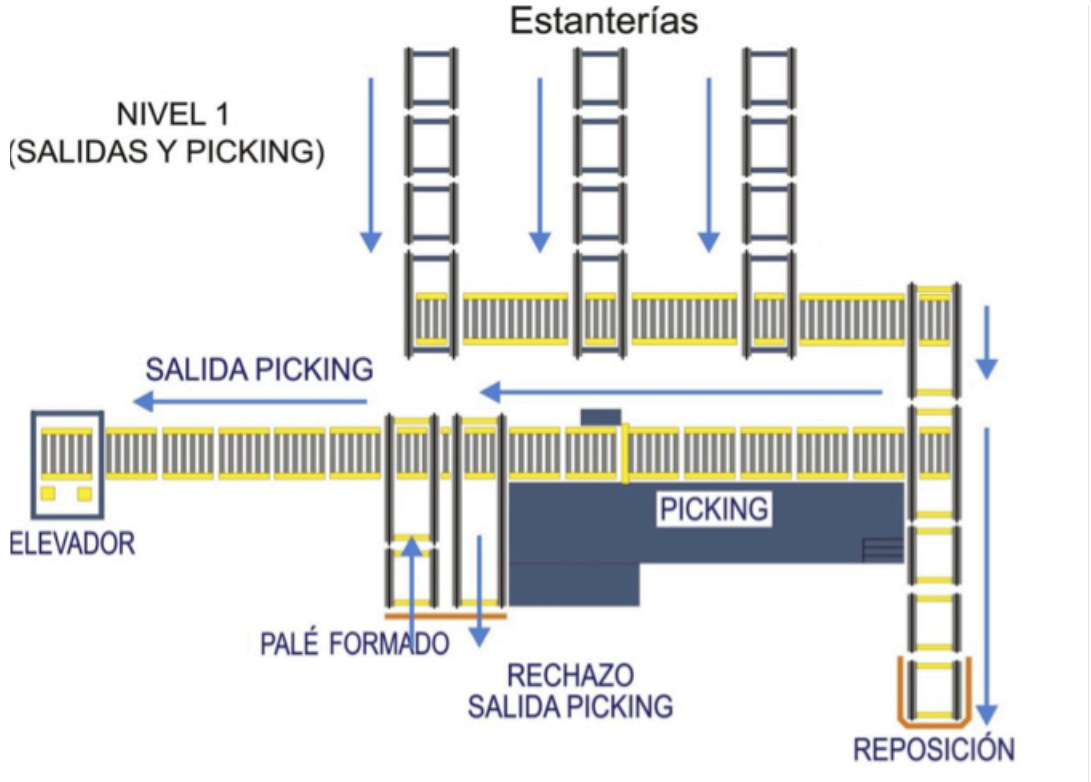


Figura 3.12: Esquema de la planta de *picking*

Como puede observarse en la figura 3.12, la planta de *picking* está a la salida del almacén automático. Cuando se realiza un pedido, el sistema de control decide cual de los palés almacenados tiene que ser preparado para su expedición. El transelevador recoge el palé correspondiente y lo introduce a la planta de *picking* por uno de sus tres pasillos. Una vez se encuentra el palé en la planta, se puede hacer la mezcla de productos.

Al igual que la planta de identificación de entradas, este nivel cuenta con una puerta de gálibo. Durante el almacenamiento de las cargas, cabe la posibilidad de que los palés se hayan deteriorado o las etiquetas no puedan ser leídas. En estos casos, el palé saldrá por la zona de rechazo. Una vez solventados los problemas, será introducido de nuevo por la zona de palé formado.

Después de realizar el *picking*, el palé está formado para su expedición o almacenamiento. Por lo tanto, se enviaría a la salida de *picking* introduciéndolo por la zona d epalés formados y mediante el elevador se lleva al nivel cero.

Cuando se realiza *picking* en un palé, necesariamente, se producirá una cola de palés tras él. Estos palés tendrán que esperar en la estación, a pesar de no ser requeridos para un proceso de *picking*. A simple vista, se podría llegar a la conclusión de que la estación de *picking* supondría para el centro un cuello de botella, pero no es así.

Como se comentó anteriormente, la expedición de productos se produce principalmente en la primera hora de la mañana y en la mitad de la tarde. Durante estos periodos, algunos de los operarios se dedican a la carga de camiones y a dar entrada a los palés de producción. Cuando baja el nivel de expedición del centro, los operarios se dedican a realizar las tareas de *picking* requeridas para el día siguiente, además de continuar con la producción.

En algunos casos, puede ocurrir que el nivel de expedición sea más constante a lo largo del día y no se den picos. Los trabajos de *picking* son algo necesario diariamente para la preparación de los pedidos, por lo que el centro estaría obligado a expedir y realizar *picking* simultáneamente. Pensando en este factor, se ha diseñado la planta de *picking* para poder conformar palés heterogéneos fuera de la línea. De este modo, los palés homogéneos pueden salir por la parte de reposición y, una vez que se forman los palés mezclados, éstos se introducen por la entrada de palés formados.

Los diagramas de flujo de cargas de la estación de *picking* varían en función del tipo de palé que se encuentra en ella. A continuación se muestran los diagramas de flujo correspondientes a los palés homogéneos y heterogéneos, en las figuras 3.13 y 3.14 respectivamente.

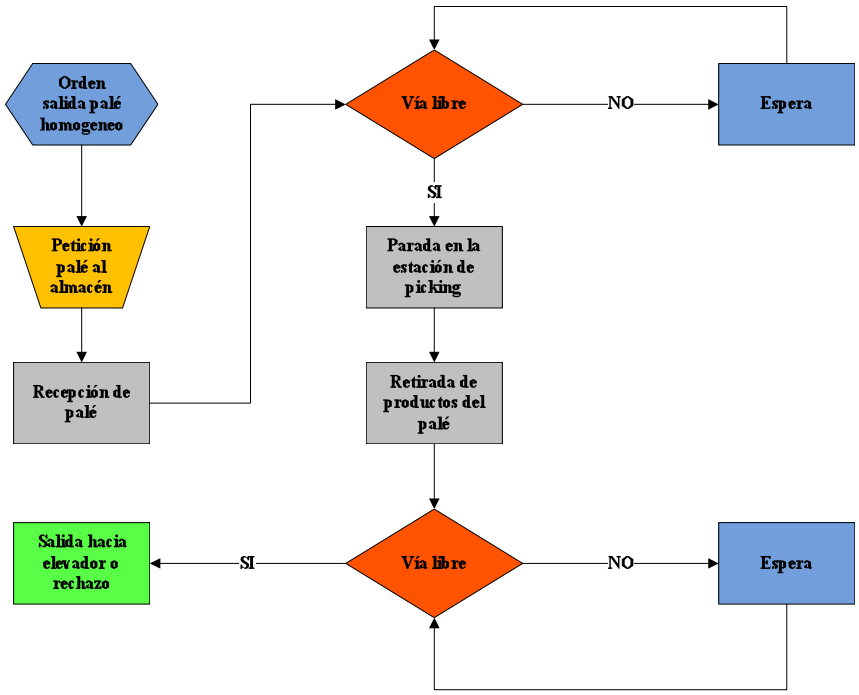


Figura 3.13: Diagrama de flujo de cargas de la estación de *picking* para palés homogéneos

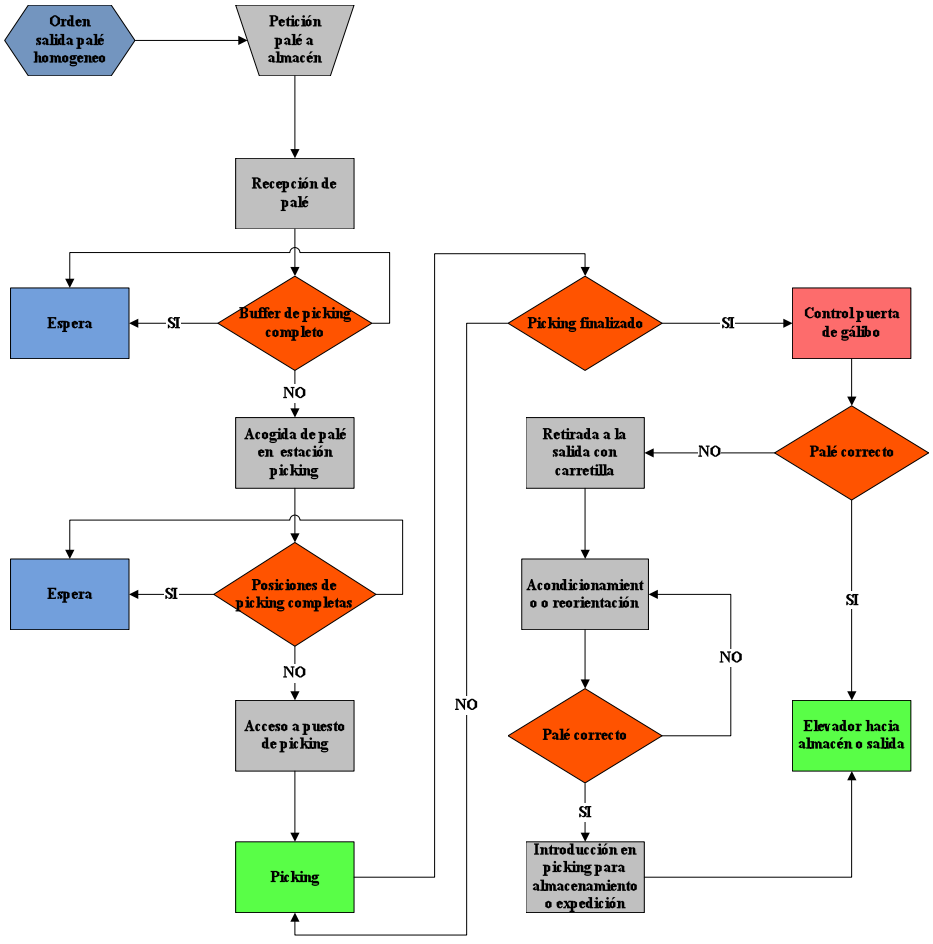


Figura 3.14: Diagrama de flujo de cargas de la estación de *picking* para palés heterogéneos

3.6.3 – Diseño del almacén automático

En este caso del diseño del almacén, se ha seleccionado un sistema automático, que es el encargado de gestionar las entradas y salidas del inventario. Como hemos visto anteriormente, este tipo de almacenes evitan la intervención del operario durante todo el proceso de carga y descarga, además de otras muchas ventajas. Para acceder a las cargas albergadas en las estanterías, se dispondrá de los transelevadores comentados anteriormente.

En la Figura 3.15 se muestra el esquema del almacén que ha sido dimensionado en el Apartado 3.4.

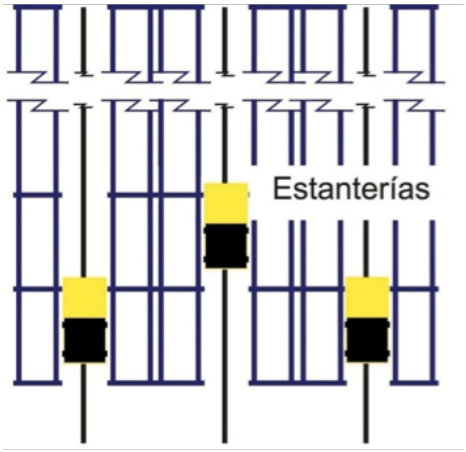


Figura 3.15: Esquema del almacén automático

En la Figura 3.16 se muestra el diagrama de flujo de cargas del almacén automático diseñado.

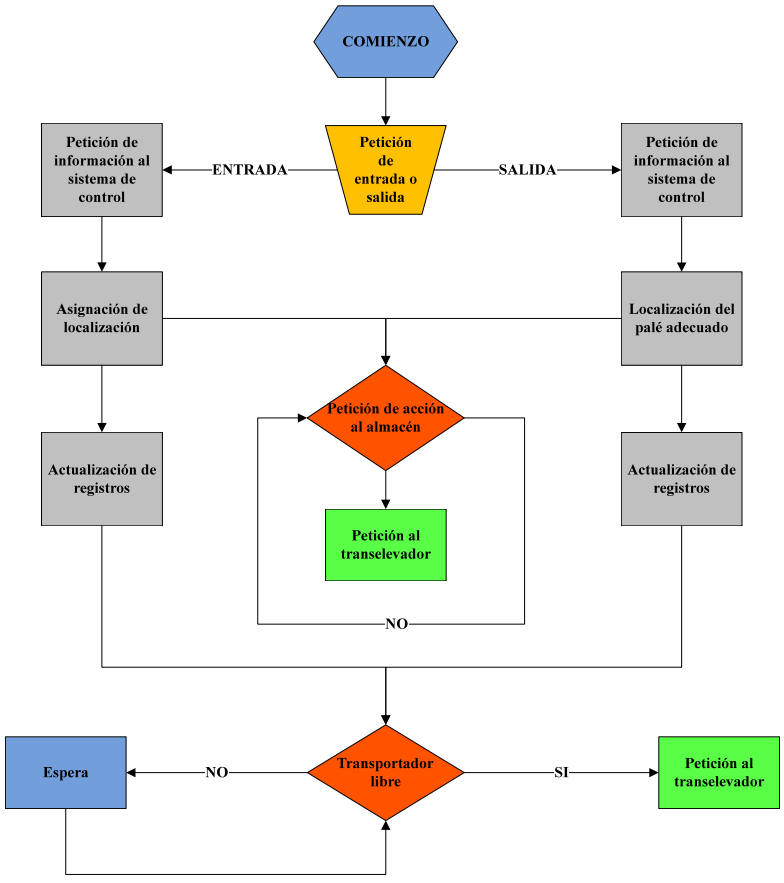


Figura 3.16: Diagrama de flujo de cargas del almacén automático

3.6.4 – Distribución del sistema completo

Una vez analizadas cada una de las partes del centro de distribución, se muestra la configuración del sistema completo en la figura 3.17.

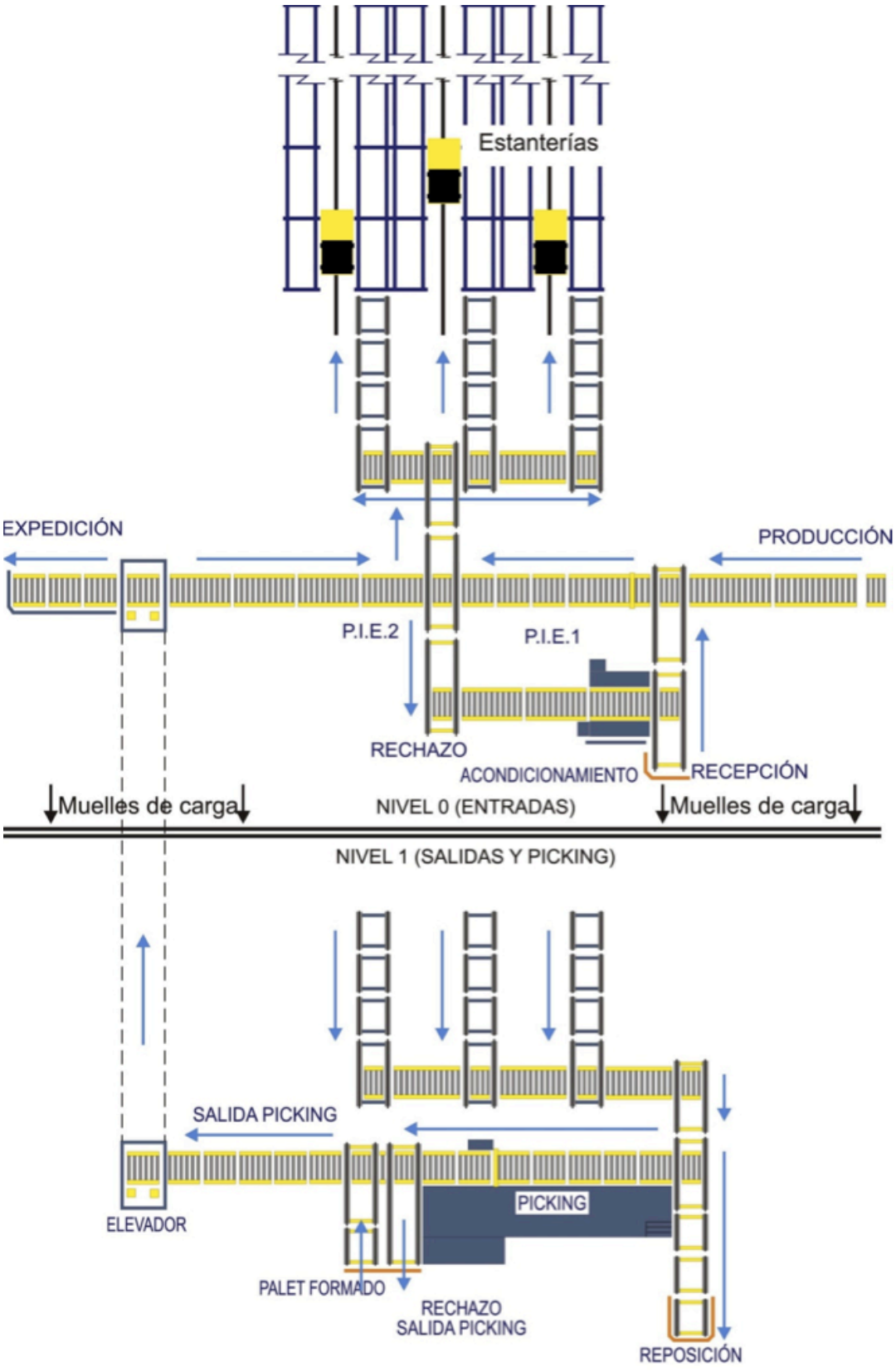


Figura 3.17: Esquema del centro de distribución completo

3.7 – Diseño del sistema de gestión

Los sistemas de gestión de almacenes (o SGA) son los programas informáticos destinados a gestionar la operativa de un almacén. Para ser considerado como tal y no como un simple gestor de stocks, el programa no sólo ha de gestionar las ubicaciones de los productos, sino también los movimientos de los operarios y de las máquinas encargadas de la manipulación de los artículos.

Un SGA posee dos mecanismos de optimización:

- El primero, dedicado a optimizar el espacio de almacenaje, mediante una adecuada gestión de las distintas ubicaciones del almacén.
- El segundo, que se destina a optimizar los movimientos o flujos de material, bien sean éstos realizados por máquinas o por personas.

Para poder escoger el sistema de gestión que más se adecue a nuestro almacén, hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- Funcionalidad: Este es un aspecto fundamental. El sistema debe estar adaptado a todos los requisitos de funcionamiento del almacén, debería ser capaz de soportar el método operativo deseado por la empresa y nunca debería ser un impedimento para adoptar otros métodos más eficientes.
- Flexibilidad: Para evitar la caducidad prematura del software, es esencial escoger un sistema flexible, que permita una ampliación de funciones adecuadas a la expansión de su empresa.
- Gestión de problemas: La diferencia entre sistemas de alta y baja calidad radica, frecuentemente, en la capacidad de prevenir problemas de cualquier ámbito o resolverlos en el preciso instante y lugar que se producen.
- Facilidad de uso en cuanto a:
    - Uso de terminología de clientes.
    - Tamaño correcto de los campos.
    - Mínimo uso del teclado para las operaciones cotidianas.
    - Evitar la duplicidad de entrada de datos.
    - Tiempo rápido de respuesta.
    - Cambio entre idiomas (en sistemas multilingües).

La función del sistema que se tratará, se basa en la gestión automática de la manutención de las distintas mercancías, desde su entrada al centro de distribución hasta su ubicación y posterior retirada a la zona de preparación de pedidos.

Una vez identificado el producto en el *PIE*, será el sistema de gestión el que, teniendo unas reglas fijadas por el programador, decida la ubicación más conveniente para el mismo.

Como ya se ha comentado con anterioridad, si se detecta algún problema con la mercancía, ésta se hará circular a la zona de acondicionamiento. Si no tiene solución, se enviará directamente a la zona de rechazos.

En el caso de no detectar ningún error, la mercancía pasará a la zona de almacenaje, donde un lector *RFID* proporcionará toda la información necesaria para el reconocimiento del producto y, de este modo, asignar la ubicación más apropiada.

Cuando se produce un pedido, el sistema lanza las órdenes necesarias a los transelevadores para extraer las mercancías requeridas de unas determinadas ubicaciones del almacén.

Todas las operaciones comentadas conllevan continuas variaciones en los niveles de stock, por lo que se necesita una base de datos fiable que refleje el estado del almacén en cada momento.

3.8 – Diseño de la red

En una red industrial coexisten equipos y dispositivos de todo tipo. Estos equipos y dispositivos, suelen agruparse jerárquicamente para establecer conexiones lo más adecuadas a cada área. De esta forma, en la figura 3.18, se definen cuatro niveles dentro de una red industrial:

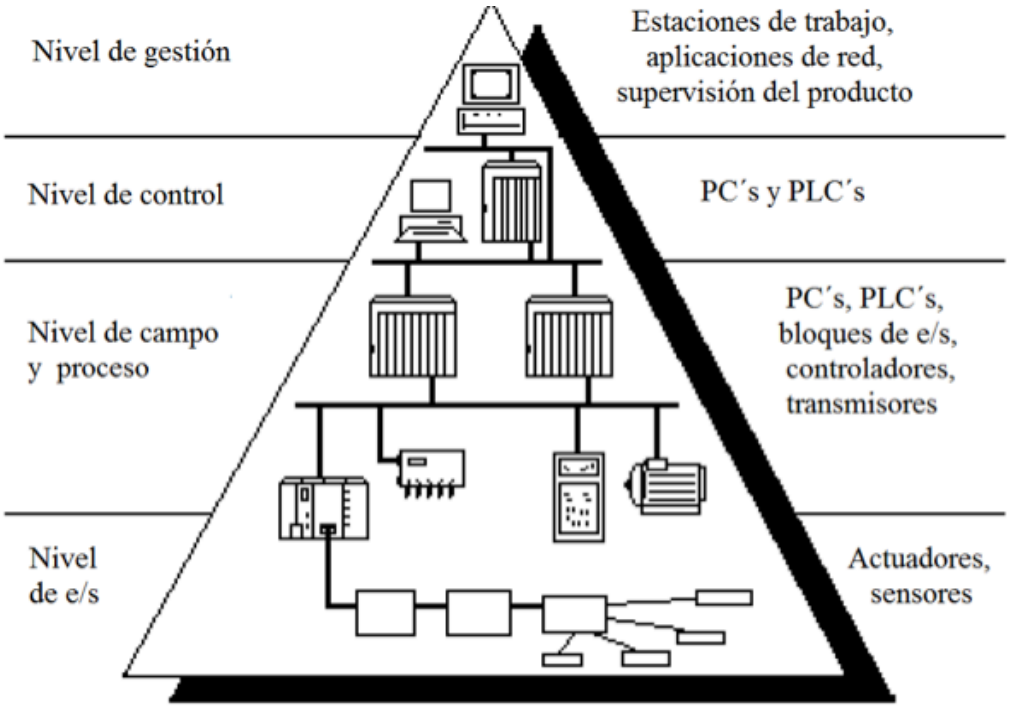


Figura 3.18: Niveles de una red industrial. (Fuente: F. J. Maldonado Vega et al.)

Los niveles son los siguientes:

- Nivel de gestión: Es el nivel más elevado. Se encarga de integrar el resto de niveles en una estructura de fábrica e, incluso, de varias factorías. Las máquinas que se conectan en este nivel suelen ser estaciones de trabajo que hacen de puente entre el proceso productivo y el área de gestión, en la que se supervisan las ventas, stocks, etc. Se emplea una red de tipo LAN (Local Area Network) o WAN (Wide Area Network).

- Nivel de control: Se encarga de integrar pequeños automatismos (autómatas compactos, multiplexores de E/S, controladores PID, etc.) dentro de distintas subredes o islas. En el nivel más alto de estas redes, se suelen encontrar uno o varios autómatas modulares, actuando como maestros de la red o maestros flotantes. En este nivel se emplean los buses de campo.

- Nivel de E/S: Es el nivel más próximo al proceso. Aquí se encuentran los sensores y actuadores encargados de manejar el proceso productivo y tomar las medidas necesarias para la correcta automatización y supervisión.

La elección del bus o buses que van a conformar la red, va a depender de los elementos que se van a conectar, la capacidad de comunicación requerida, el tamaño de la red, etc. En la tabla 3.3, se hace una comparativa de los buses más comunes en una red industrial:

Como se puede observar en la tabla anterior, hay dos tipos distintos de buses, Profibus y AS-Interface:

	AS-INTERFACE	PROFIBUS-DP	PROFIBUS-PA
Sistemas conectables	- Entradas/salidas binarias - Entradas/salidas analógicas	- Entradas/salidas binarias - Entradas/salidas analógicas - Dispositivos de campo inteligentes	Dispositivos de campo en zona Ex1 (prot. Contra explosiones: [Eex ia] grupo IIC) y área no Ex
Programación /puesta en Servicio		Completamente vía PROFIBUS-DP	Vía PROFIBUS-DP y PA con la herramienta SIMATIC PDM (Process Device Manager)
Número de esclavos: Típico Máximo	 20 31	 20-30 125	 8 disp. (área Ex) 31 disp. (no Ex)
Tiempo de respuesta	< 5 ms	Típ. 1 ms a 12 Mbits/s Típ. 5 ms a 1,5 Mbits/s	Típ. 65 ms
Tamaño de la red	Eléctrica máx. 300 m (con repetidores /extensores)	Electr. hasta 9,6 km Óptica hasta 90 km	Ex: máx. 790 m; No Ex: 560 m.
Topología	Línea, árbol	Línea, árbol, anillo redundante, estrella	Línea, estrella
Soportes de transmisión	Cable bifilar apantallado	Red eléctrica, cable bifilar apantallado, red óptica: cable FO con fibra de vidrio o de plástico	Cable bifilar apantallado
Grados de protección Disponibles	IP 20 Ip 65…67	IP 20 IP 65…67	IP 20 IP 65-67 [Eex ia]
Configuración	Asignación simple de las direcciones de esclavo	Asignación simple de las direcciones de esclavo	Asignación simple de las direcciones de esclavo
Norma	EN 50 295	EN 50 170	IEC 61158-2

- Profibus: Es un bus de campo abierto independiente del fabricante. Su área de aplicación abarca manufacturación, procesos y automatización de edificios. La independencia del fabricante y el ser un sistema abierto, está garantizado por el estándar Profibus EN 50170. Con Profibus, los dispositivos de diferentes fabricantes pueden comunicarse sin necesidad de adaptaciones mediante interfaces especiales. Profibus puede ser empleado tanto para transmisiones de datos de alta velocidad y tiempos críticos, como para tareas intensivas de comunicación compleja.

- En la familia Profibus nos encontramos tres versiones totalmente compatibles entre sí: Profibus-DP, Profibus-PA y Profibus-FMS. En la tabla 3.4, se especifica el campo de aplicación de cada una de ellas.

SUB-FAMILIA	PRINCIPAL APLICACIÓN	PRINCIPAL VENTAJA	CARACTERÍSTICAS MÁS RELEVANTES
PROFIBUS-FMS	Automatización para propósitos generales	Universal	• Gran variedad de aplicaciones • Comunicaciones multi-maestro
PROFIBUS-DP	Automatización de factorías	Rápido	• Plug and Play • Eficiente y efectivo en costo
PROFIBUS-PA	Automatización de procesos	Orientado a aplicación	• Suministro de energía a través del propio bus • Seguridad intrínseca

Tabla 3.4: Versiones de profibus (Fuente: F. J. Maldonado Vega et al.)

- AS-Interface (Actuador Sensor Interface): Es una red simple para la conexión directa de sensores binarios y actuadores al nivel más bajo de automatización (nivel de E/S) hacia redes de más alto nivel y dispositivos de control. De este modo, se reemplazan complejos y cableados paneles. AS-Interface reduce el tiempo de diseño y el coste de la instalación, así como la complejidad de mantenimiento. Permite una reducción de los costes totales.

- AS-Interface define un sistema de conexión directa por cable, que provee datos y alimentación a dispositivos sensores y actuadores no inteligentes. Opera según la metodología maestro/esclavo. El controlador central, tanto un PC, PLC o la entrada a redes más altas, contienen un módulo maestro.

- Los sensores/actuadores se conectan a esclavos AS-Interface, que están enlazados en red por medio de un cable AS-Interface polarizado. El cable es conducido por el módulo maestro y la fuente de alimentación AS-Interface. Cada AS-Interface esclavo puede dirigir ocho elementos binarios, cuatro de entrada y cuatro de salida. Realizando una configuración completa de 31 esclavos, podemos direccionar hasta 248 elementos binarios a la vez.

- El cableado de red puede efectuarse empleando conexiones en bus o en árbol de hasta 200 metros de cable AS-Interface, empleando repetidores.

3.8.1 – Explicación detallada del bus Profibus

Profibus[25] es un potente, abierto y robusto sistema de bus utilizado para la comunicación de proceso y de campo de redes de célula con pocas estaciones y para la comunicación de datos según la normativa IEC 61158/EN 50170.

Los dispositivos de automatización, tales como PLCs, PC, HMI, sensores o actuadores, pueden comunicarse a través de este sistema de bus. La normativa IEC 61158/EN 50170 sienta, además, las bases para garantizar la proyección de futuro de las inversiones que realice una empresa, ya que permite ampliar con componentes conformes a normas las instalaciones existentes.

Además, Profibus forma parte de *Totally Integrated Automation (TIA)*, la gama homogénea e integrada de productos y sistemas de Siemens destinada para la automatización eficiente de todo el proceso de producción, en todos los sectores.

Profibus puede aplicarse, entre otros, a las siguientes áreas de la empresa:

- Automatización manufacturera.

- Automatización de procesos.

- Automatización de edificios.

De acuerdo a los posibles sectores de aplicación, nos podemos encontrar las siguientes variantes de Profibus:

- Comunicación de proceso o campo

    - Profibus-DP: se usa para un intercambio de datos rápido y cíclico con aparatos de campo.

    - Profibus-PA: utilizado para aplicaciones de automatización de procesos en zonas que exigen seguridad intrínseca.

- Comunicación de datos

    - Profibus-FMS: que es utilizado para la comunicación de datos entre dispositivos de automatización y aparatos de campo.

25 Profibus, (http://www.automation.siemens.com/net/html_78/produkte/020_produkte.htm)

Los productos que nos podemos encontrar de SIMATIC[26], han sido creados para una aplicación industrial. Para la construcción de redes Profibus, dicho sistema nos ofrece los componentes de red y las interfaces del sistema necesarias para la conexión de S7 y PC, convencionales e industriales.

- Componentes de red: permiten una construcción rápida y sencilla de redes Profibus, teniendo cables y conectores para todo tipo de aplicaciones. Se utiliza el sistema de conexionado *FastConnect* para un cableado por cobre rápido y seguro.

- Conexiones del sistema: La conexión entre Simatic S7 y PG/PC se realiza a través de procesadores de comunicaciones, que descargan a la CPU de las tareas típicas de comunicación.

Las redes Profibus también se pueden construir con diferentes medios de transmisión para las más diversas aplicaciones:

- Las redes eléctricas usan como cable estándar, para la transferencia de datos, uno de cobre trenzado y apantallado, con sección circular. Para cubrir todo tipo de aplicaciones, el bus Profibus utiliza distintos tipos de cableado. Además, permite conectar *in situ* los cables de cobre Profibus de forma rápida y sencilla.

- En las redes ópticas, la transmisión de datos se realiza a través de cables con fibras de vidrio o de plástico para uso interior y exterior, a modo de cable para servicios móviles o modelo no halógeno. El uso de módulos *OML* (*Optical Link Module*) y *OBT* permite construir una red óptica con topología anular, lineal o en estrella.

- Las redes híbridas, son posibles estructuras mixtas o híbridas con tramos eléctricos y ópticos. La transición entre ambos tipos de soportes, se materializa con *OML*.

- En redes inalámbricas, el Profibus Infrared Link Module (ILM) permite acoplar, de forma inalámbrica esclavos Profibus o segmentos del bus con esclavos. Con una velocidad máxima de 1’5 Mbits/s y un alcance máximo de unos 15 metros, es posible establecer comunicación inalámbrica con elementos móviles, como carretillas de sistemas de transporte filoguiados o reemplazar sistemas sujetos a desgaste como contactos deslizantes y anillos rozantes.

La conexión de los equipos terminales, se produce a través de terminales o conectores de bus. El uso de repetidores, permite conectar varios segmentos de bus, uno detrás de otro.

Las conexiones de sistema para Simatics y PG/PC se realiza a través de módulos de comunicación (en Simatics) o tarjetas PCI (en PG/PC). Los procesadores de comunicaciones han sido diseñados para la industria y están, por ello, óptimamente preparados para aplicaciones en un ambiente industrial duro. En esta gama de productos que podemos encontrarnos, pueden encontrarse gran cantidad de componentes de configuración y requisitos de protocolo para su aplicación.

26 SIMATIC, Sistema de Automatización Industrial de Siemens, (http://www.automation.siemens.com/simatic/portal/index_78.htm)

3.8.2 – Autómatas SIMATICS

En este apartado, realizaremos una descripción de los autómatas programables de la empresa Siemens que se han utilizado para la construcción de la plataforma física que se encuentra en el laboratorio del Grupo Autolog[27] de Ciudad Real.

Como se indicó anteriormente, disponemos de dos tipos de autómatas programables, el Simatics S7-300, que funcionará como maestro, y el Simatics S7-200, que hará las funciones de esclavo. A continuación hacemos una breve descripción de dichos autómatas.

3.8.2.1 – Simatics S7-300 (Maestro)

Estos autómatas Simatics S7-300[28], suelen utilizarse en aplicaciones más complejas que los Simatics S7-200, que serán comentados en el siguiente apartado, ya que estas aplicaciones suelen necesitar un mayor número de entradas y salidas.

Estos autómatas son modulares y ampliables. La fuente de alimentación y las entradas/salidas, consisten en módulos independientes conectados a la CPU.

Los Simatics S7-300, son controladores modulares para soluciones de sistema innovadoras en la industria manufacturera. Los procesadores de comunicaciones, permiten integrar directamente los controladores Simatic S7-300 en *Industrial Ethernet*.[29] Actualmente *Ethernet* es, con una proporción de más del 80%, el número uno en todo el mundo entre las redes LAN. Este sistema permite crear con *Industrial Ethernet* potentes redes de comunicación de gran extensión).

En la figura 3.19 mostramos una imagen del autómata Simatics S7-300:

Figura 3.19: Simatics Siemens S7-300. Fuente: www.automation.siemens.com)

27 Grupo Autolog, (http://autolog.uclm.es/)

28 Simatics S7-300, (http://www.automation.siemens.com/net/html_78/produkte/040_simatic_s7_300.htm)

28 Con Industrial Ethernet, el ámbito industrial dispone de una potente red según el estándar IEEE 802.3 (Ethernet) y 802.11 (Wireless LAN ó LAN Inalámbrica).

3.8.2.2 – Simatics S7-200 (Esclavo)

A los autómatas programables Simatics S7-200[30] se les denomina microsistemas, debido a su pequeño tamaño. Este autómata tiene un diseño compacto, lo que nos indica que tanto la fuente de alimentación como las entradas y salidas, las lleva incorporadas.

El Simatics S7-200 puede usarse en pequeñas aplicaciones independientes, como por ejemplo ascensores, lavado de coches o máquinas mezcladoras. También puede utilizarse en aplicaciones industriales más complejas, como máquinas de embotellado y empaquetado.

Dotados de procesadores de comunicaciones, los PLC Simatic S7-200 pueden integrarse directamente en redes *Industrial Ethernet*. Un Simatic S7-200 utilizando el programa *Step 7-Micro/WIN*, puede ser configurado, programado y diagnosticado vía *Industrial Ethernet*.

La gama Simatics S7-200 de *Siemens* comprende diversos sistemas de automatización pequeños (Micro PLCs) que se pueden utilizar en numerosas tareas.

El Simatics S7-200 vigila las entradas y cambia el estado de las salidas conforme al programa de usuario, que puede incluir operaciones aritméticas complejas, así como comunicación con otros aparatos temporizadores inteligentes. Gracias a su diseño compacto, su configuración flexible y su amplio juego de operaciones, el S7-200 es especialmente apropiado para solucionar numerosas tareas de automatización.

El Simatics S7-200 incorpora una carcasa compacta, un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida, que conforman un potente Micro-PLC. Tras haber cargado el programa en el S7-200, éste contendrá la lógica necesaria para supervisar y controlar los aparatos de entrada y salida de la aplicación.

En la figura 3.20 mostramos una imagen del autómata Simatics S7-200.

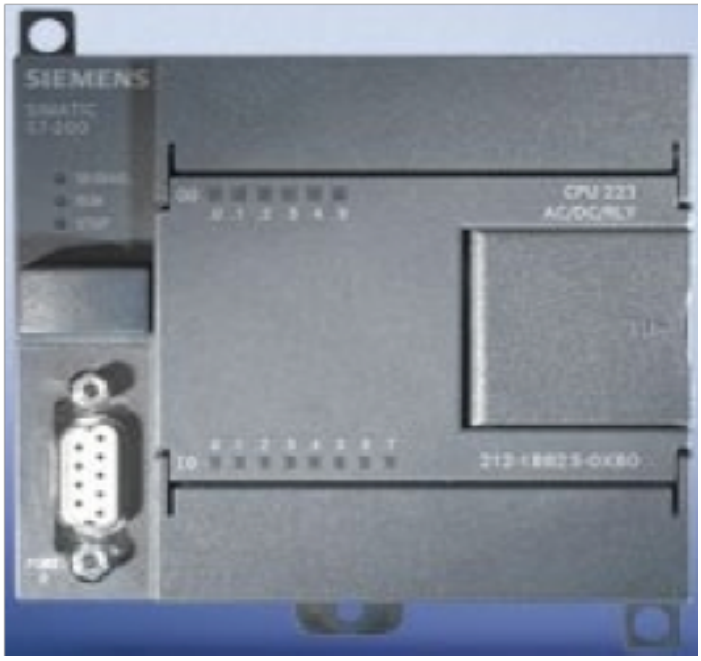


Figura 3.20: Simatics Siemens S7-200. Fuente: www.automation.siemens.com)

30 Simatics S7-200, (http://www.automation.siemens.com/net/html_78/produkte/040_simatic_s7_200.htm)

4 – SIMULACIÓN DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN AUTOMATIZADO

El diseño de los centros de distribución automatizados conlleva grandes inversiones. En estos casos, es importante estar totalmente convencidos de que el sistema diseñado cumple con todas las expectativas antes del comienzo de su construcción. Es frecuente descubrir fallos o mejoras en los centros una vez construidos. Estas modificaciones que se realizarían una vez construido el centro de distribución, acarrean grandes gastos que se podrían haber evitado con un estudio del sistema más exhaustivo.

Las simulaciones son una herramienta eficaz para la fase de diseño de los centros de distribución. El sistema puede ser probado sin necesidad de construir un sistema real. Además, se puede simular cualquier circunstancia de funcionamiento y hacer cambios estructurales de forma rápida y económica.

Una vez que el centro de distribución está diseñado, es interesante utilizar simulaciones de este tipo para probar y mejorar los sistemas de gestión de pedidos sin necesidad de utilizar el sistema físico.

Por otro lado, suele ser común que en centros como el que se está tratando, sea necesario un cambio del sistema de gestión debido a la introducción de nuevos productos almacenados, nuevas prioridades de pedidos, etc. En estos casos, es ideal la utilización de estas simulaciones para el diseño del nuevo sistema de gestión, ya que permiten su optimización sin necesidad de hacer los ensayos en el sistema físico con lo que ello conlleva, es decir, parada del centro de distribución, ensayos ante diferentes escenarios, etc.

Por lo comentado anteriormente, se ha decidido modelar y simular el centro de distribución diseñado. En los siguientes apartados, se comentará la simulación así como las conclusiones que se han obtenido a partir de ella.

4.1 – Simulación del centro de distribución automatizado mediante Grasp10

Para el modelado en 3D y simulación del centro, se ha utilizado el software Grasp10 de la compañía *ByG Simulation*. Este programa está especialmente indicado para la simulación de aplicaciones robotizadas, automatizadas y de logística.

Esta simulación ha sido programada para reflejar fielmente un centro de distribución real. Grasp10 permite la comunicación con otros programas u ordenadores conectados en red mediante sockets. Gracias a esto, se han realizado dos modos de funcionamiento:

- El primer modo funciona según las órdenes que se mandan desde el exterior mediante el interfaz programado en Java, que a su vez recibe información de los autómatas programables.
- El segundo modo es automático. Ha sido realizado a partir del primer modo de funcionamiento y lleva incluidas unas acciones predeterminadas en cada uno de los *tracks*. Este modo sirve de demostración y es útil para poder usar la simulación sin necesidad de comunicar el programa de simulación mediante una red o máquina virtual de Java.

Como se ha comentado anteriormente, la simulación básica se ha intentado que se asemeje lo más posible a una instalación real. Por este motivo, se ha programado con una mínima inteligencia posible, es decir, la simulación no puede tomar decisiones por sí sola. Estas decisiones son tomadas por los autómatas programables o por un programa en Java, que manda las instrucciones de forma manual.

Las instrucciones que la simulación necesita para su funcionamiento, se limitan a los puntos de decisión: cruces de transportadores, entradas desde producción, recepción y palés formados, ubicación en el almacén y prioridad en la elaboración de pedidos. Por lo demás, el sistema actúa de forma automática.

La simulación ha sido diseñada para realizar acciones automáticas, como detener una mesa cuando la siguiente está ocupada por un palé o mover los transelevadores únicamente definiendo la ubicación.

El programa de simulación está dividido en *tracks*. Cada uno de ellos, se encarga de controlar un elemento, como puede ser: una mesa de rodillos o cadenas, un transelevador o el elevador. Todos los *tracks* del programa están invocados, por lo tanto, están activos en todo momento. En el Anexo I, se muestran todos los *tracks* de la simulación y, para una mejor compresión, se han dividido según la zona a la que pertenecen.

El simulador posee un *spawner* o generador de objetos tipo (en nuestro caso son palés) que, dependiendo de las órdenes enviadas, se pueden localizar en tres posiciones del sistema: Producción, Recepción y Palé formado. Este generador de palés es el *track* principal de la simulación y es dónde se inicializan por primera vez cada una de las variables globales.

Los palés generados por el *spawner* pueden ser de distintos colores. Estos colores nos sirven para indicar el grado de rotación de los diferentes productos:

- Rojo: Rotación alta.
- Amarillo: Rotación media.
- Verde: Rotación baja.
- Azul: *Picking*.

Para la programación de las distintas mesas, se han utilizado señales auxiliares binarias para que el sistema tenga conocimiento de la ocupación de las mesas. Las mesas están moviéndose en todo momento y tienen instalado al final de ellas, un sensor que envía una señal tipo pulso. Cuando el palé llega al sensor, la mesa se detiene y se comprueba el estado de la mesa siguiente. Si la señal auxiliar de la mesa colocada a continuación está activa, quiere decir que la mesa está desocupada y el *track* correspondiente regresa a su estado inicial. En el caso de que la señal auxiliar no esté activa, la mesa continúa parada y desactiva su señal auxiliar para que la mesa anterior no siga suministrando palés.

Este tipo de mesas están definidas como una serie de cintas transportadoras o *conveyors*, pero en el caso de las mesas que implican un punto de decisión, se ha realizado de otro modo. En este caso, las mesas también están en movimiento continuamente, pero esperan una señal exterior al programa que haga pasar el palé a la siguiente mesa. Una vez que la señal exterior está activa, el palé se extrae de la anterior mesa y se añade a la siguiente.

Como se comentó en el apartado 3.7, los sistemas de gestión tienen una gran dependencia con la información de los elementos físicos del sistema. Por este motivo, la simulación no sólo recibe órdenes de un autómata programable o de otro ordenador, sino que también envía información gracias a la tecnología *RFID*:

- Cada vez que un palé llega a un punto de decisión, la simulación envía la identificación de dicho palé y su ubicación en el centro de distribución.
- Además de localizar las unidades de carga, se pueden añadir atributos. De este modo, se pueden conocer las incidencias de cada palé, los cambios que se han realizado en él en la zona de *picking*, la fecha de entrada al almacén, la fecha de caducidad del producto, etc.

En la figura 4.1 se muestra el modelado en tres dimensiones del *PIE* diseñado con Grasp10.

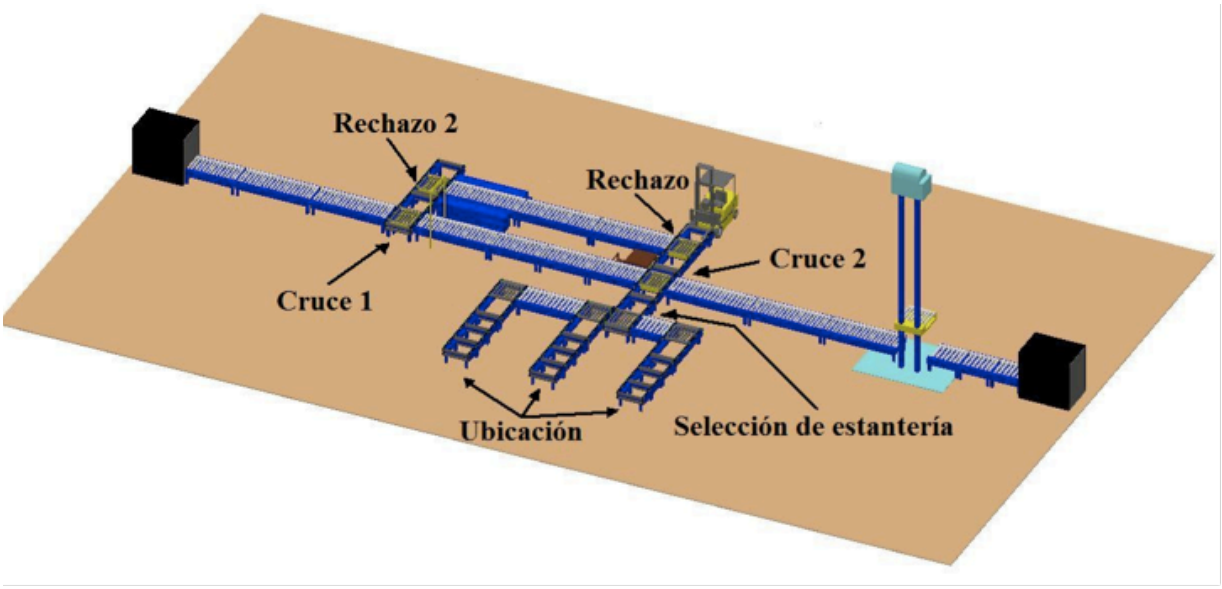


Figura 4.1: Vista del PIE diseñado con Grasp10

Los puntos de decisión de esta parte del centro de distribución son los siguientes:

- **Cruce 1**: En este cruce se pueden dar paso a los palés provenientes de producción o los que han sido acondicionados en la zona de rechazo. En la zona de acondicionamiento también se pueden introducir palés mediante carretillas elevadoras por la recepción.
- **Cruce 2**: Los palés que pasan por el Cruce 1 llegan al Cruce 2. En este cruce se puede decidir si los palés son aptos para el almacenaje o si por el contrario es necesario acondicionarlos previamente. También se pueden introducir los palés que llegan desde el elevador después de haber pasado por la estación de *picking*.
- **Rechazo**: Una vez que el palé pasa a la zona de acondicionamiento, éste se puede sacar del *PIE* o continuar por la recirculación hasta llegar al punto de decisión Rechazo 2.
- **Rechazo 2**: Este punto de decisión otorga la prioridad a los palés procedentes de Rechazo o los entrantes por la zona de recepción.
- **Ubicación**: Una vez seleccionada la estantería donde se debe almacenar el palé, éste llega a la entrada del almacén automático. Es aquí donde se selecciona la ubicación exacta dentro de la estantería.

A continuación trataremos la simulación del almacén automático. En la figura 4.2 se representa su modelado en tres dimensiones.

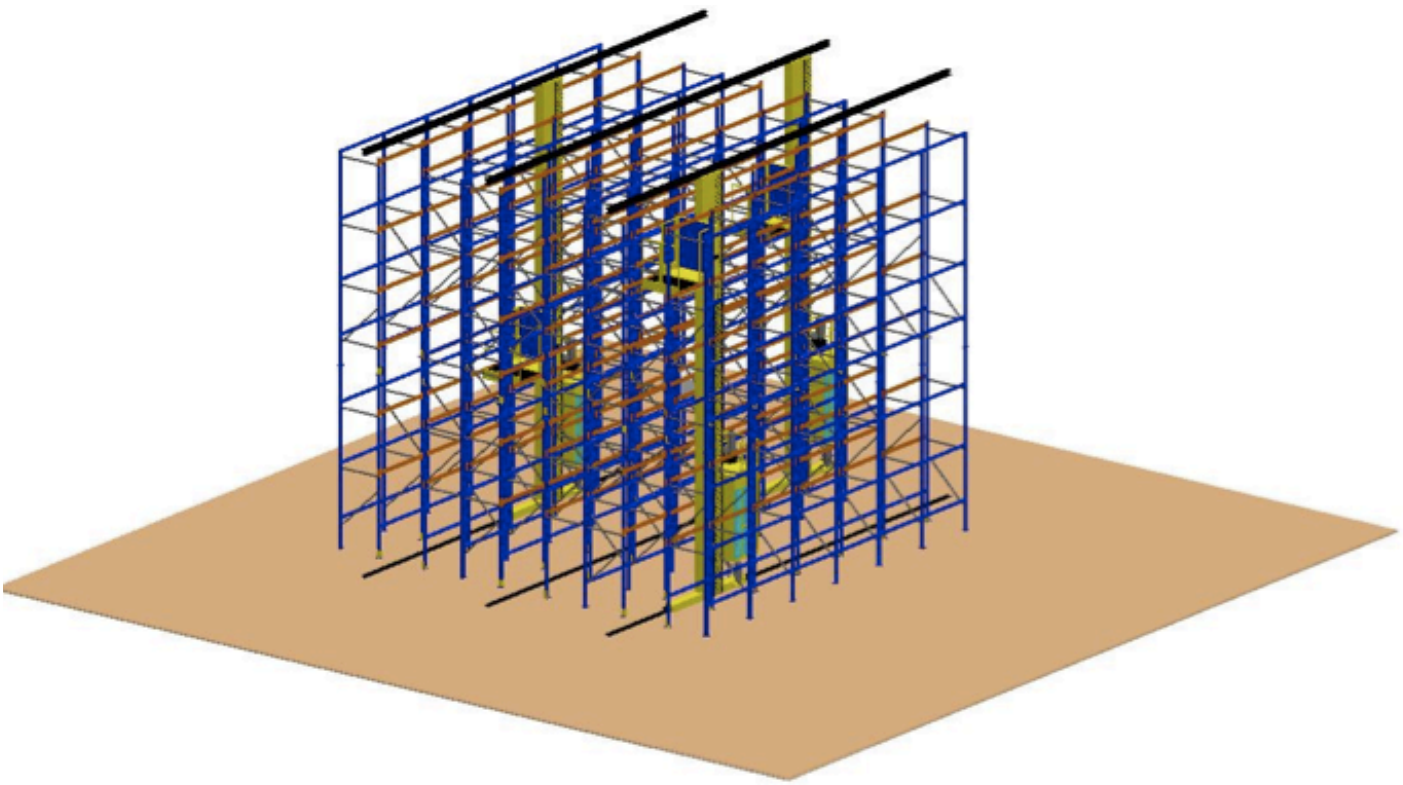


Figura 4.2: Vista almacén automático diseñado con Grasp10

El almacén automático es un elemento intermedio entre el*PIE* y la estación de *picking*, por lo que las decisiones que se pueden tomar sobre él son las de qué palé coger y dónde dejarlo. Además, cada transelevador se puede mover a cualquier posición sin ser necesario que albergue un palé o se dirija a recoger alguno de ellos. La programación de este sistema se ha realizado mediante un *track* para cada transelevador. Cuando el sistema de control envía la posición, éstos se mueven automáticamente a dicha posición para coger o dejar un palé.

Para poder depositar cada uno de los palés y, posteriormente, poder recogerlos, ha sido necesaria la creación de una variable *workpiece* tridimensional de dimensiones 6 x 7 x 3 para cada pasillo. De este modo, cada palé tiene asignada una posición dentro de esta matriz dependiendo de la ubicación en el almacén.

La primera coordenada corresponde al número de fila en la que se encuentra el palé, la segunda es el número de columna y la tercera nos indica al lado del pasillo o si se encuentra en el transelevador. Es decir, si el palé está siendo transportado por el transelevador, la tercera coordenada será 1, si está colocado en el lado derecho será 2 y, en el caso en el que esté situado en el lado izquierdo, se le asigna el número 3.

La asignación de la variable *workpiece* al objeto tipo, se produce en el momento en el que el transelevador recoge un palé desde una mesa de rodillos o cuando es depositado en la estantería. Para la salida del almacén, es necesario que el palé sea recogido por un transelevador. Al hacer esto se asegura que dos palés almacenados en una misma posición en diferentes instantes de tiempo, nunca tendrán asignada la misma posición en la matriz *workpiece*.

En la figura 4.3, se muestra la estación de *picking*. Existen cinco puntos de decisión, además de la posibilidad de introducir palés formados manualmente mediante una carretilla elevadora.

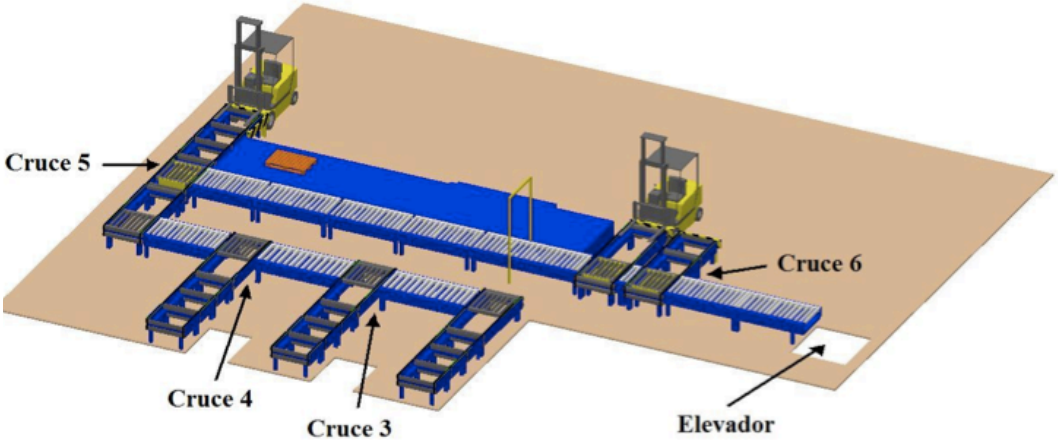


Figura 4.3: Vista estación *picking* diseñada con Grasp10

Los puntos de decisión de esta parte del centro de distribución son los siguientes:**Cruce 3**: Los palés que salen de las estanterías 1 y 2 se encuentran en este punto que lleva al Cruce 4.

- **Cruce 4**: Este es el cruce previo a la estación de *picking* en sí. Se unen los palés que provienen de las estanterías 1 y 2 con los palés que salen de la estantería 3.
- **Cruce 5**: Una vez que los palés salen de las estanterías, éstos pueden salir mediante una carretilla elevadora hacia una zona de reposición o continuar por la estación de *picking*.
- **Cruce 6**: Este cruce es el último antes de salir de la zona de *picking* por el elevador. Es aquí donde se encuentran los palés formados y los que llegan de la estación de *picking*.
- **Elevador**: Cuando los palés llegan al elevador, se pueden tomar dos decisiones: descender y llevarlo a expedición o descender y almacenarlo de nuevo.

En la figura 4.4, se muestra el centro de distribución completo en tres dimensiones realizado con Grasp10.

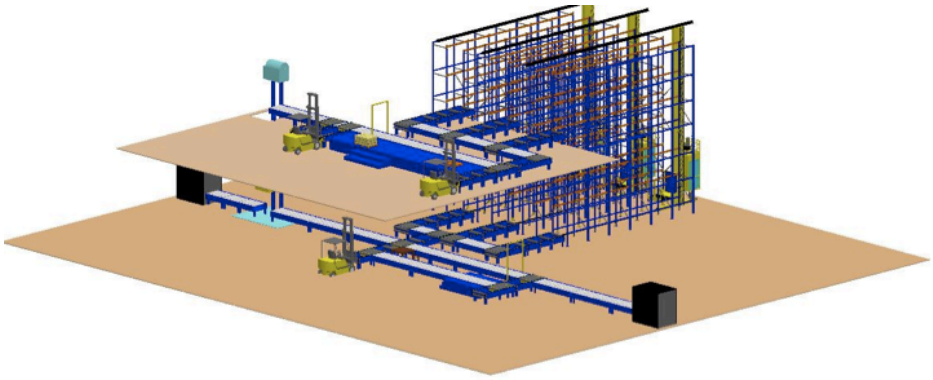


Figura 4.4: Vista almacén completo diseñado con Grasp10

Como hemos comentado anteriormente, esta simulación posee un modo de funcionamiento automático que sirve de demostración del programa. Para la realización de este modo, se ha realizado un *track* que envía señales cada cierto tiempo desde el propio simulador. De esta manera, la simulación puede trabajar por sí sola, sin necesidad de que otro programa o dispositivo le envíe señales para su funcionamiento.

4.2 – Montaje y puesta en marcha de la simulación conectada a una plataforma física

A la simulación comentada en el apartado anterior, hay que añadir la plataforma instalada en el laboratorio del Grupo Autolog instalada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Ciudad Real (figura 4.5). Esta plataforma representa la parte física del sistema y hace posible la introducción de errores en el sistema y el estudio del comportamiento del mismo. Es un buen método para probar la robustez del sistema.

La plataforma ha sido diseñada para operar conjuntamente con la simulación mediante una red de autómatas. En la plataforma se representa la zona de entrada desde producción y salida de productos y está compuesta por los siguientes elementos:

- Robot Motoman HP3.
- Dos cintas transportadoras con fotosensores y con un lector *RFID* cada una.
- Dos puertas automáticas con fotosensores y lectores *RFID* en la salida.
- Una estantería.
- Un camión.
- Dos carretillas elevadoras.

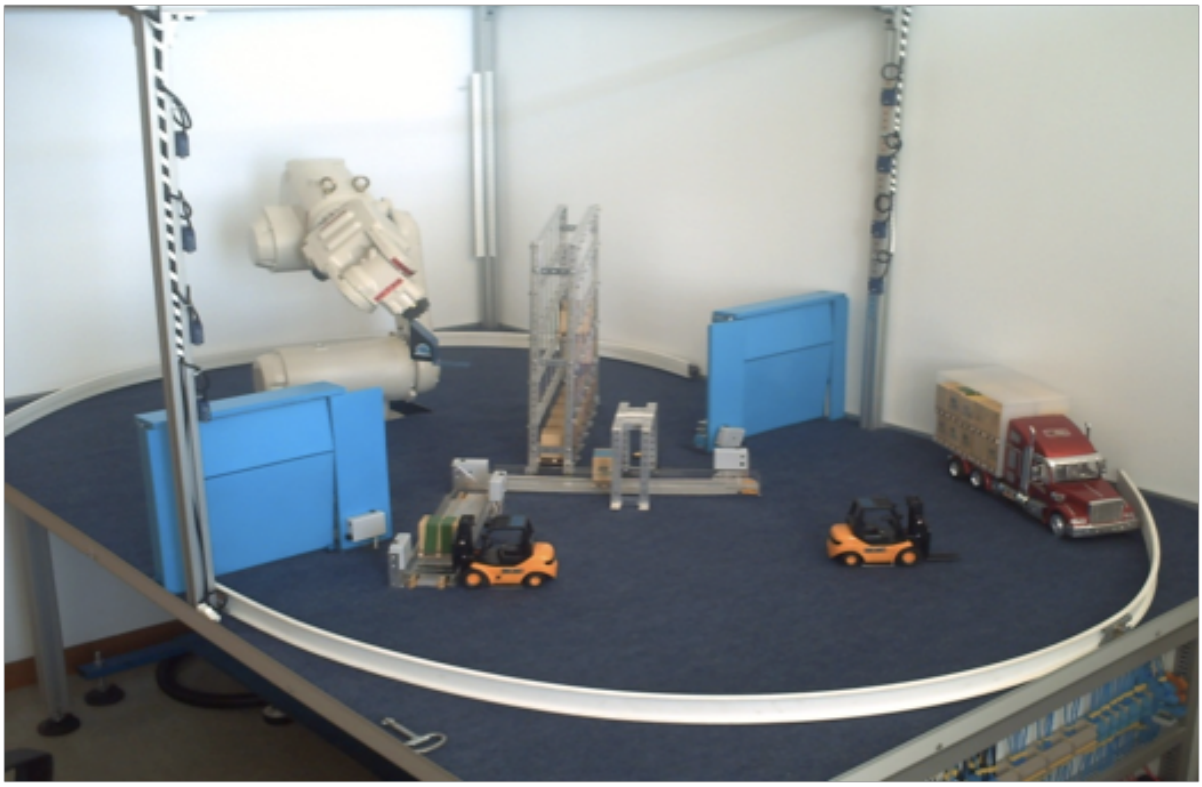


Figura 4.5: Plataforma Grupo Autolog

- El funcionamiento de la plataforma es el siguiente: el camión llega cargado de palés y una carretilla elevadora los recoge y los deja en la cinta transportadora de entrada. El palé es detectado por el sensor fotoeléctrico y comienza a moverse por la cinta. Una vez que la unidad de carga llega a la mitad de la cinta, se realiza una lectura de la etiqueta*RFID* que porta el palé y proporciona la información necesaria para que el sistema de gestión de almacén seleccione una ubicación en el almacén. Esta cinta se corresponde con la entrada de producción de la simulación, por lo que cuando se produce la lectura de la tarjeta *RFID* en la simulación, se creará un palé de las mismas características.

Al llegar el palé al final de la cinta, ésta se parará. El palé es recogido por el robot y colocará dicho palé en la ubicación elegida por el sistema de gestión. Del mismo modo, cuando se realice un pedido, se producirá la salida de un palé tanto en la plataforma física como en la simulación. La carretilla elevadora cogerá el palé que se encuentre en la mesa de salida y lo dejará en el camión, que estará preparado para salir cuando se complete el pedido. Antes de salir el camión, se hará una nueva lectura de la carga para verificar que no se producen errores en los productos salientes.

Para la realización de este sistema, se ha montado una red de autómatas Siemens conectada con Profibus-DP, red que ya se describió en apartados anteriores.

La red está compuesta por seis autómatas SIMATIC S7-200, CPU 224 que actúan como esclavos y un SIMATIC S7-300, que trabaja como maestro. El esquema del sistema completo se muestra en la figura 4.6:Dos de los autómatas S7-200 están destinados a controlar el *PIE* y la

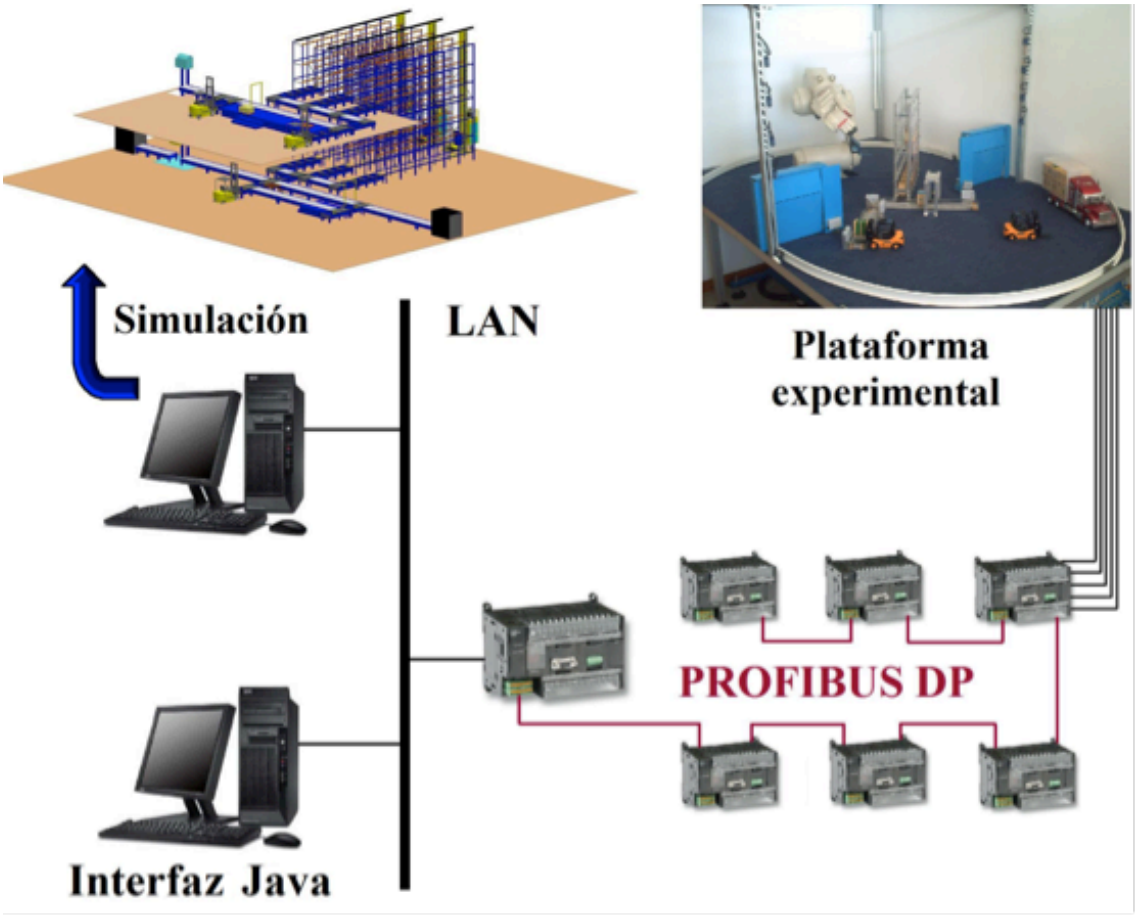


Figura 4.6: Esquema de montaje de la plataforma física

estación de *picking* de la simulación respectivamente. Los transelevadores son controlados por un autómata S7-200 cada uno y el autómata restante, se utiliza para el control de la plataforma.

Al autómata maestro S7-300 se le ha añadido un procesador de comunicaciones CP343-1 Advanced para conseguir la conexión de la red de autómatas a una red Ethernet. Además, un ordenador conectado a la red funge como interfaz de control para la simulación en Grasp10. Este interfaz, programado en Java, hace de puente entre las distintas decisiones tomadas por la red de autómatas y la simulación.

Al usar una red Ethernet, no es necesario que el interfaz de control y la simulación se encuentren en el mismo ordenador, lo que hace posible que una persona pueda supervisar las operaciones que se realizan en la planta desde cualquier parte, además de controlar la simulación.

El robot es controlado por su propio armario de control y se coordina con la mesa mediante tres cables: dos salidas digitales del autómata de la mesa y una entrada digital. Además, el controlador del robot tiene una tarjeta de red, mediante la cual se comunica directamente con el ordenador de control dónde se encuentran unos programas, realizados también en Java, del sistema de gestión y la base de datos.

A la hora de la programación de los PLCs se han utilizado Redes de Petri.[31] Este sistema es especialmente útil para modelar sistemas completos en diferentes secciones y así podemos reducir el esfuerzo e incrementar el alcance del modelado. En la figura 4.7, se muestra el modelado de las secciones de la plataforma física y así, de este modo, se comprende el funcionamiento de la misma.

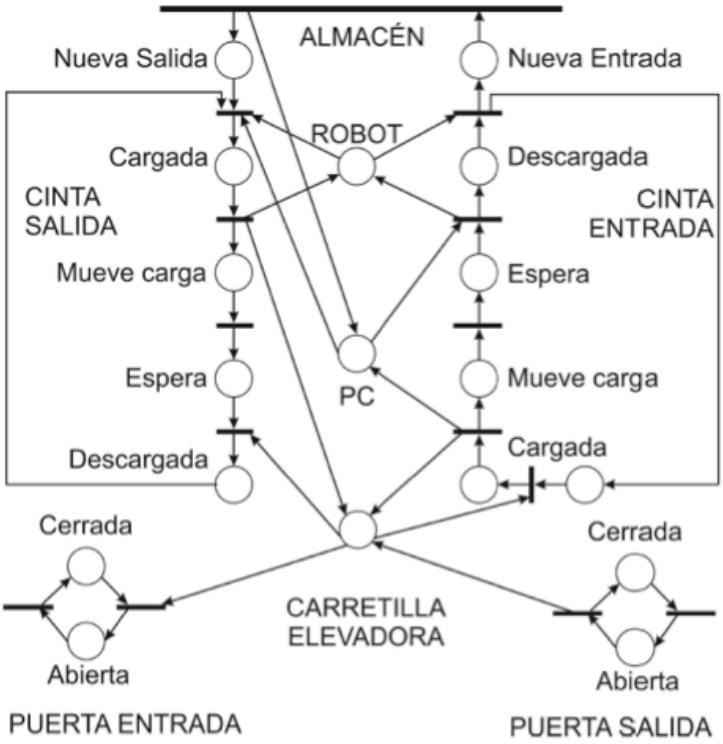


Figura 4.7: Red de Petri de la plataforma física del Grupo Autolog

31 Red de Petri: Es una representación matemática de un sistema distribuido discreto. Está formada por lugares, transiciones y arcos dirigidos, así como por fichas que ocupan posiciones. Los arcos conectan un lugar a una transición o una transición a un lugar. No puede haber arcos entre lugares ni entre transiciones. Los lugares contienen un número cualquiera de fichas. Las transiciones se disparan, es decir consumen fichas de una posición de inicio y producen fichas en una posición de llegada. Una transición está habilitada si tiene fichas en todas sus posiciones de entrada.

4.3 – Control de la simulación: Interfaz

Como se ha comentado en apartados anteriores, la simulación se puede controlar de dos formas:

- Mediante un programa en Java que se comunica con Grasp10 y se controla manualmente.
- Mediante autómatas programables a través de un interfaz también programado en Java.

El primer modo ha servido para el desarrollo y muestra de la simulación. Consiste en un interfaz programado en Java con *Eclipse*, que se comunica con Grasp10 mediante *sockets*. Este interfaz puede controlar la simulación desde el ordenador donde se está ejecutando la simulación o desde otro que esté conectado en red desde cualquier parte del mundo.

4.3.1 – Herramientas

En este apartado realizaremos una descripción de las herramientas utilizadas para el desarrollo del interfaz gráfico para controlar de forma manual Grasp10.

4.3.1.1 – Java

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado por Sun Microsystems[32] a principios de los años 90. El lenguaje en sí mismo toma mucha de su sintaxis de los lenguajes C y C++, pero posee un modelo de objetos más sencillo y elimina herramientas de bajo nivel, que suelen inducir a muchos errores, como la manipulación directa de punteros o memoria.

Las aplicaciones Java están típicamente compiladas en un *bytecode*, aunque la compilación en código máquina nativo también es posible. En el tiempo de ejecución, el *bytecode* es normalmente interpretado o compilado a código nativo para la ejecución, aunque la ejecución directa por hardware del *bytecode* por un procesador Java, también es posible.

La implementación original y de referencia del compilador, la máquina virtual y las bibliotecas de clases de Java, fueron desarrolladas por Sun Microsystems en 1995. Desde entonces, Sun ha controlado las especificaciones, el desarrollo y la evolución del lenguaje a través del *Java Community Process*[33], si bien otras empresas han desarrollado implementaciones alternativas de estas tecnologías de Sun, alguna incluso bajo licencias de software libre.

Entre noviembre de 2006 y mayo de 2007, Sun Microsystems liberó la mayor parte de sus tecnologías Java bajo licencia GNU GPL,[34] de acuerdo con las especificaciones del *Java Community Process*, de tal forma que prácticamente todo el lenguaje Java de Sun es ahora software libre, excepto la biblioteca de clases de Sun que se requiere para la ejecución de los programas.

La tecnología Java se creó como una herramienta de programación para ser usada en un proyecto de *Set-Top-Box*, en una pequeña operación denominada *The Green Proyect* en Sun Microsystems en 1991. El equipo, denominado *Green Team*, estaba compuesto por trece personas y dirigido por el informático teórico James Gosling, y trabajó durante 18 meses en *Sand Hill Road* en *Menlo Park* en su desarrollo.

---

32 Sun Microsystems, (http://es.sun.com/)

33 El Java Community Process es un proceso formalizado, el cual permite a las partes interesadas involucrarse en la definición de futuras versiones y características de la plataforma Java.

34 La Licencia GNU GPL o Licencia Pública General GNU es una licencia libre, copyleft que se suele utilizar en software libre.

En sus comienzos, el lenguaje se denominó *Oak*, aunque después pasó a denominarse *Green* tras descubrir que el nombre de *Oak* era ya una marca comercial registrada para adaptadores de tarjetas gráficas. Finalmente, se renombró a Java, denominación que todavía tiene.

Los objetivos de Gosling, eran los de implementar una máquina virtual y un lenguaje con una estructura y sintaxis similar a C++. Entre junio y julio de 1994, el equipo reorientó la plataforma hacia la Web, ya que con la llegada del navegador web *Mosaic* pensaron que Internet podría convertirse en un medio interactivo similar a la televisión por cable. Joy Naughton, miembro del grupo de Gosling, creó un prototipo de navegador, *WebRunner*, que más tarde sería conocido como *HotJava*.

La promesa inicial de Gosling era "escríbelo una vez, ejecútalo en cualquier lugar", proporcionó un lenguaje independiente de la plataforma y un entorno de ejecución, *Java Virtua Machine (JVM)*, ligero y gratuito para las plataformas más populares, de forma que el *bytecode* de las aplicaciones Java, pudiesen ejecutarse en cualquier plataforma.

El entorno de ejecución es relativamente seguro y los principales navegadores web incorporan la posibilidad de ejecutar *applets Java*[35] incrustadas en las páginas web. En la actualidad, la última versión disponible de la *JVM* es la *JDK 6 Update 17*.

Para la realización de nuestro proyecto, utilizamos la librería de Java *Swing*, librería que se utiliza para el desarrollo de interfaces gráficos de usuario avanzados. Esta librería de Java, contiene un conjunto de herramientas que nos permiten crear un interfaz atractivo para cualquier usuario y le permite emular la apariencia de los componentes nativos de cada sistema operativo, manteniendo las ventajas de la independencia de cada plataforma.

También utilizamos la librería *AWT* para el manejo de eventos de ratón y la personalización de algunas características de nuestro interfaz.

4.3.1.2 – Entorno de desarrollo: Eclipse

Eclipse es una comunidad de software libre, cuyos proyectos están enfocados a construir una plataforma abierta de desarrollo que abarque marcos de trabajo, herramientas y tiempos para la construcción, desarrollo y gestión de software a través de su ciclo de vida.

El Proyecto *Eclipse* fue creado por IBM en Noviembre de 2001 y está apoyado por un consorcio de vendedores de software. La Fundación *Eclipse* se creó en Enero de 2004 y es una organización sin ánimo de lucro que funciona como administradora del Proyecto *Eclipse*.

Durante los últimos años, la comunidad *Eclipse* se ha ganado una buena reputación por proporcionar software de calidad, de manera fiable y totalmente confiable. Esto es debido a la comisión de calidad y a las organizaciones que contribuyen a los proyectos de código abierto. La Fundación *Eclipse* también proporciona los servicios y ayuda para que los proyectos consigan alcanzar estas metas de calidad y fiabilidad.

El equipo de la fundación implementa el llamado Proceso de Desarrollo de *Eclipse*. Este proceso ayuda al arranque de un nuevo proyecto y se asegura que todos los proyectos realizados con *Eclipse* funcionen de forma abierta y transparente. Como parte de este proceso, la Fundación organiza revisiones de proyectos que aseguren la interacción constante entre los proyectos y la comunidad.

35 Un applet Java es una aplicación escrita en Java, que se ejecuta en el contexto de otro programa.

En la actualidad, el entorno de desarrollo *Eclipse* es el más usado por los programadores, ya que *Eclipse* posee *plugins* para casi cualquier lenguaje de programación existente (C, C++, Java, Python, etc.), su facilidad de manejo, ser un entorno de código abierto, gratuito, estar disponible para prácticamente todos los sistemas operativos disponibles en el mercado y la gran comunidad de desarrolladores y foros de ayuda que existen, hace que sea un entorno elegido por una gran cantidad de desarrolladores para la creación de sus programas.

Por estos motivos, se eligió este entorno de desarrollo para nuestro interfaz gráfico. Para un desarrollo más visual e intuitivo, se utilizó el *plugin* Jigglo GUI Builder de la empresa *Cloud Garden*, siendo también gratuito y código abierto.

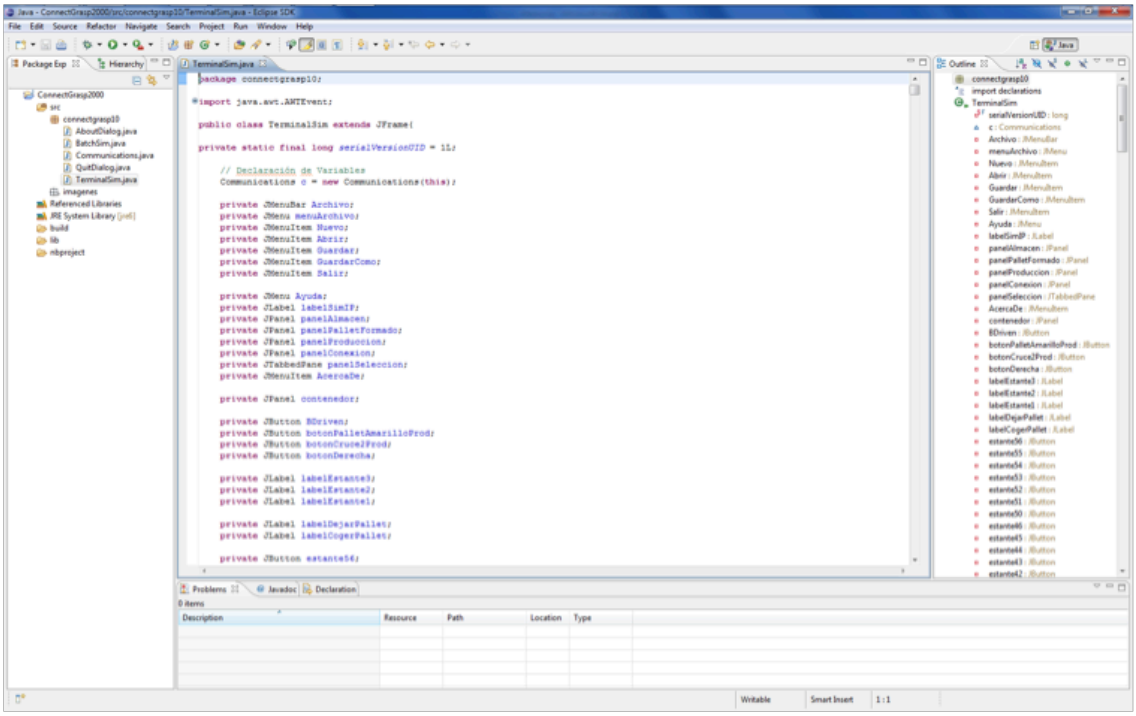


Figura 4.8: Imagen del entorno de desarrollo Eclipse.

4.3.1.3 – Plugin Jigloo GUI Builder

El entorno de desarrollo *Eclipse*, no incluye por defecto un *plugin* para poder desarrollar entornos gráficos de forma visual e intuitiva. Por eso se decidió utilizar *Jigloo GUI Builder* como ayuda para el desarrollo de este interfaz gráfico.

Jigloo GUI Builder, de la empresa *Cloud Garden*, es un *plugin* gratuito y de código abierto, libre para un uso no comercial, siendo necesario una licencia profesional cuando su uso si va a ser comercial. El uso comercial, está definido cuando un empleado de un negocio, corporación o instituto (incluidos los institutos académicos) lo utilizan para realizar el trabajo en alguno de estos supuestos.

Jigloo GUI Builder es un *plugin* para el entorno de desarrollo *Eclipse* Java IDE y para WebSphere Studio. Mediante Jigloo se pueden manejar las clases Swing y SWT GUI de Java.

Jigloo crea y maneja código para todas las partes de las clases Swing o SWT mientras se está construyendo el programa, así como el código para manejar eventos y mostrar el GUI durante la construcción del mismo.

Analiza archivos de las clases de Java para construir el formulario (*form* en el entorno *Eclipse*) cuando se está creando el GUI, pudiendo utilizar también otras clases generadas por otros constructores o IDEs del GUI o directamente programadas. También permite convertir un GUI SWT a un GUI Swing o viceversa sin el menor problema.

El *pluging* Jigloo es directo, rápido, de gran alcance, fácil de utilizar y está completamente integrado con *Eclipse*. Con él, se puede ahorrar mucho tiempo en las tareas de desarrollo y mantenimiento de los GUI. Es muy adaptable. El código generado por Jigloo también puede modificarse fácilmente y el ya existente, puede ser modificado para obtener el estilo deseado.

Jigloo apoya la herencia visual, es decir, puede diseñar clases que extienden otras clases que hayamos realizado nosotros, ya sean públicas, abstractas o privadas. La navegación entre el código y el formulario es muy sencilla utilizando Jigloo, destacando la sección relevante del código cuando pinchamos en cualquier elemento presente en el formulario o viceversa.

Se pueden agregar componentes, cambiar su disposición en el formulario, seleccionar una gama de colores o introducir opciones pulsando el botón derecho del ratón. Se pueden clasificar según su tamaño, pueden ser arrastrados por el formulario y sus pro*PIE*dades cambiarán de forma sencilla y adaptándose al formulario. Es posible seleccionar varios componentes y moverlos todos a la vez, ahorrando tiempo y esfuerzo en el diseño.

Un conocimiento previo de las clases Swing y SWT es útil para comenzar a trabajar con Jigloo, pero no es esencial, ya que existe gran cantidad de manuales y documentación *Javadoc*[36] accesible en cualquier momento y que puede ayudarnos a la hora de trabajar y desarrollar con Jigloo.

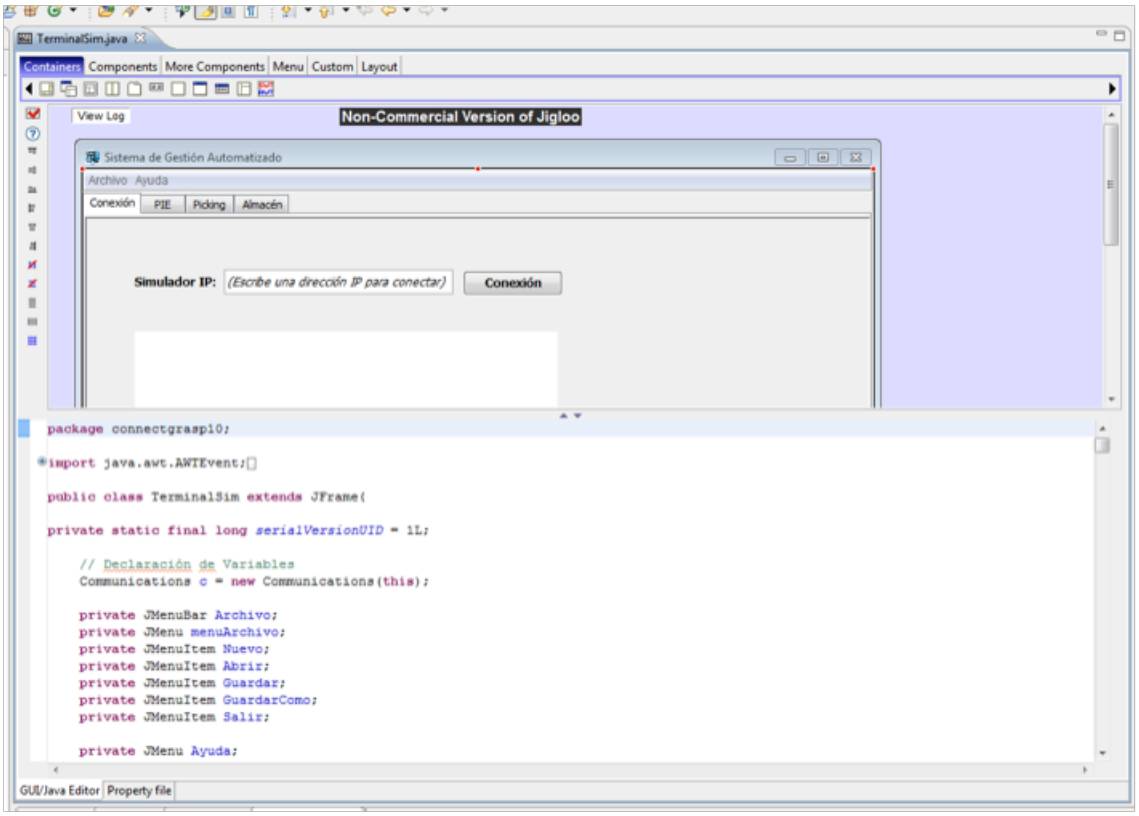


Figura 4.9: Imagen del entorno de desarrollo Eclipse con un archivo abierto con Jigloo

36 JavaDoc es una herramienta integrada al SDK de Java, que permite documentar de manera rápida y sencilla las clases y los métodos que se proveen.

4.3.1.4 – Grasp10

Grasp10, de *ByG Simulation*, es una herramienta de simulación 3D real, basada en la geometría exacta 3D, parámetros de proceso y una librería de robots industriales, que permite la creación de modelos exactos en 3D y simulaciones interactivas en tiempo real, diseñadas para la planificación y optimización de recursos.

Como herramienta de programación *off-line*, las instrucciones pueden traducirse automáticamente al lenguaje de programación que utilice el robot. Un módulo opcional para la simulación de eventos discretos, amplía las aplicaciones de Grasp10 a áreas simulación, logística y *handling* (movimiento de materiales) dentro de la propia fábrica.

Con un interfaz intuitivo estilo Windows, Grasp10 ofrece una gama única de módulos adicionales para poder adaptarse a las necesidades de cualquier usuario. Desde la programación *off-line*, hasta la robusteza de la simulación completa de una fábrica, Grasp10 es una solución profesional para la realización de estas tareas.

Algunas de las características de Grasp10 son las que se comentan a continuación:

- Interfaz intuitivo estilo Windows y sistema de menú con barras de herramientas.
- Gráficos interactivos de alto nivel en 3D.
- Modelador interactivo sólido en 3D.
- Validación y configuración de los robots construidos.
- Análisis de la duración de cada ciclo.
- Colisión dinámica y fallos de detección
- Modelador cinemático general con una librería de robots industriales.
- Ayuda para múltiples robots y sincronizaciones externas.
- Aparato de lectura en tiempo real conducido por una macro, usado para la presentación de los resultados y las demostraciones.
- Posibilidad de obtener los resultados de la simulación en formato AVI, VRML, Runtime y formatos de previsualización de Grasp10.
- Programación *off-line* con ayuda para la mayoría de los lenguajes de programación de robots.
- Utiliza robots reales y técnicas de calibración sin que sea necesario el uso de ningún equipo externo.

Grasp10 es una herramienta muy potente y versátil para el diseño y la planificación de instalaciones robóticas altamente automatizadas. Su uso es muy recomendable a la hora de simular una fábrica y probar distintas distribuciones antes de realizar una gran inversión por parte de la empresa, solucionando posibles problemas que nos podríamos encontrar. Para ello, Grasp10 presenta soluciones complejas a clientes o estudiantes, usando simulaciones visuales en 3D.

Los modelos para la simulación se pueden crear fácilmente en Grasp10, usando el modelador sólido para combinar datos de la librería de robots industriales, objetos modelados y datos importados de herramientas CAD. Las instrucciones del movimiento se hacen de forma independiente al tipo de robot y se pueden definir respecto a posiciones relativas de los objetos modelados.

Un elemento único en Grasp10 es la integración de "eventos discretos" y el módulo de simulación de procesos. Esto permite la simulación de un único proceso, que puede ampliarse e incorporarse dentro de un contexto más amplio de procesos y acontecimientos de su alrededor. Por ejemplo, un ingeniero puede investigar en un mismo modelo, la interacción y la relación de un robot dentro de un entorno más amplio de fabricación.

El resultado es una solución total para la fabricación o simulación de fábrica, dónde complejos procesos concurrentes son validados para el flujo de productos y los cuellos de botella. Los resultados pueden ser presentados con una serie de gráficos estadísticos dinámicos, generación de informes y presentaciones.

Respecto a la programación *off-line*, con Grasp10 se pueden crear programas de robots utilizando gráficos interactivos por ordenador, mientras que en el sistema de producción, el robot real continúa haciendo su trabajo en la fábrica, reduciendo el tiempo de inactividad y aumentando la eficacia de los sistemas de fabricación. Es decir, se puede simular completamente un robot

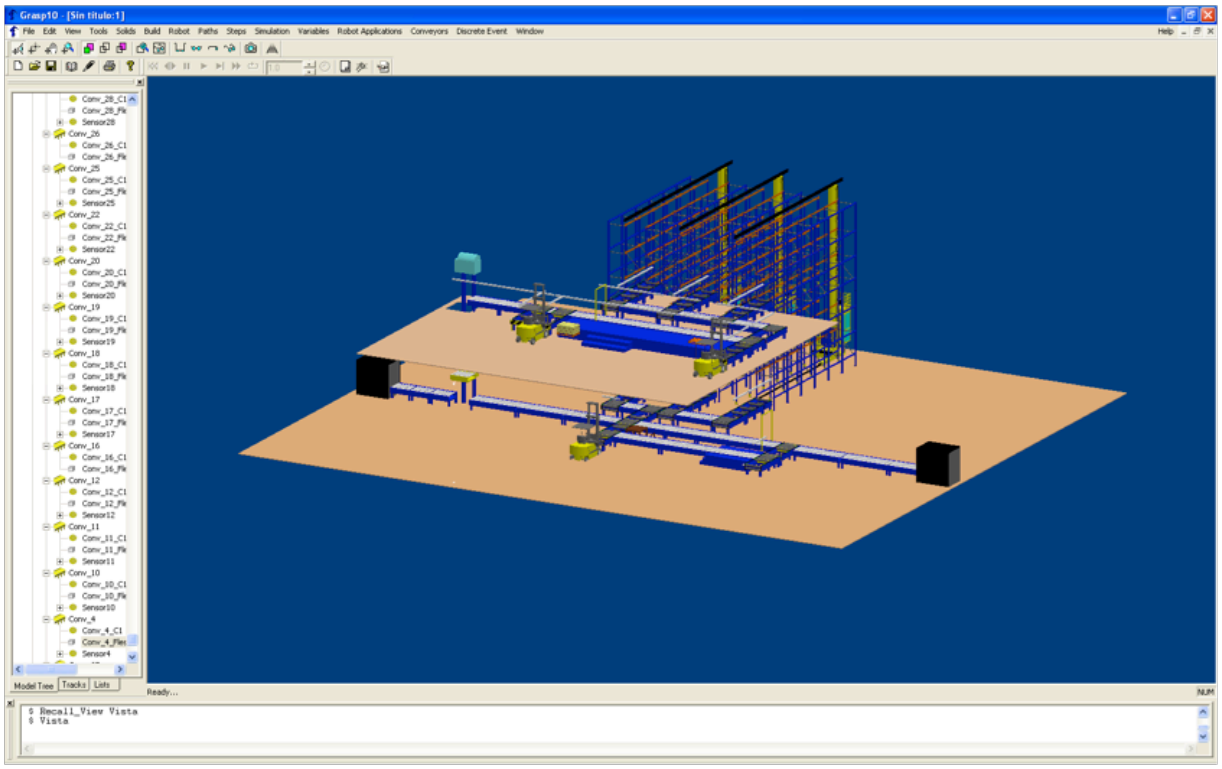


Figura 4.10: Imagen del entorno Grasp10

con Grasp10 y hacer pruebas con él, mientras el robot en planta sigue trabajando.

Grasp10 es un sistema probado en el uso industrial, que crea programa de forma interactiva en el modelo de simulación. Permite la creación de programas complejos en menos tiempo utilizando herramientas de programación avanzadas, así como los menús de las aplicaciones específicas para la soldadura de arco, puesta en un palé de los objetos y aplicaciones de pintura y sellado. También permite la descarga de programas directamente al robot, en el propio lenguaje de éste, para poder funcionar correctamente.

En resumen, *ByG Simulation*, es una empresa dedicada a la busca de soluciones software para robótica y automatización. Con una experiencia de más de 20 años, las herramientas que han creado son conocidas en la industria, investigación y educación. Grasp10 es una aplicación de simulación robótica, ofreciendo soluciones avanzadas para el diseño y análisis, proceso de planificación y programación *off-line* de los robots.

4.3.1.5 – Corel Paint Shop Pro Photo X2

Corel Paint Shop Pro X2 Photo[37], es una herramienta de edición profesional de imágenes digitales. Con ella es posible editar fotografías, crear gráficos, dibujar, pintar,etc. y todo ello en un espacio de trabajo con grandes posibilidades de personalización.

Este kit de herramientas de edición digital, es la opción perfecta para todo aspirante fotógrafo, ya que facilita el procesamiento, la edición, la mejora y la creación de fotos de calidad profesional. Corrige imperfecciones habituales al instante con un solo *click* de ratón. Además, tiene una gran gama de herramientas de edición avanzadas para lograr cualquier efecto que se desee.

Se eligió este software en lugar de otros de este tipo, como por ejemplo *Photoshop*, ya que es muy simple su uso, podemos elegir entre un gran número de formatos para guardar los archivos y sólo nos interesaba retocar algunas imágenes que se utilizaron para el proyecto.

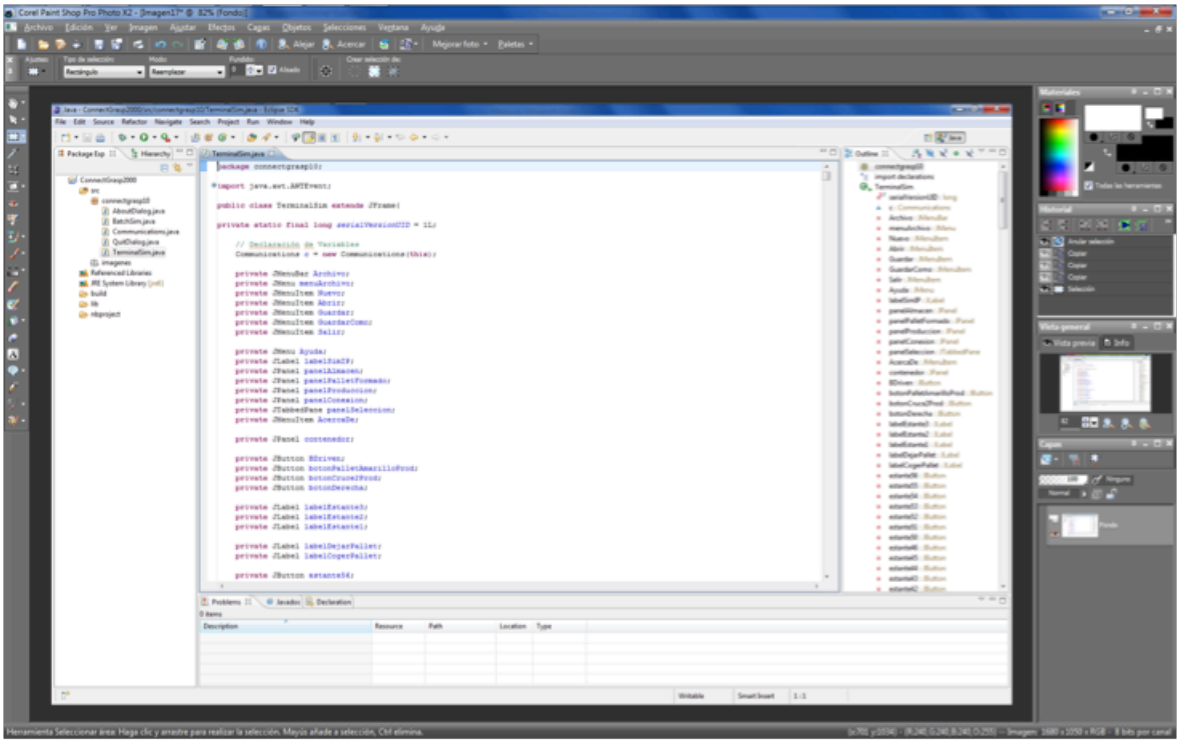


Figura 4.11: Imagen del entorno Corel Paint Shop Pro X2

37 Corel, (www.corel.com/es)

4.3.1.6 – Arena Simulation Software version 9.0

Arena 9.0[38] es un software de *Rockwell Automation*[39] es un software de automatización y simulación. Utiliza el lenguaje de simulación de *SIMAN*. En la actualidad ya está disponible la versión 13.0.

Con Arena 9.0, el usuario crea un modelo mediante la colocación de módulos (cuadros de distintas formas) que representan modelos de proceso o lógica. Las líneas de conexión se utilizan para unir estos módulos y especifica el flujo de las entidades.

Mientras que los módulos tienen acciones específicas relativas a las entidades, flujo y tiempo, la representación exacta de daca módulo y la entidad respecto a objetos de la vida real, está sujeta al sujeto que modela todo el sistema.

Datos estadísticos, tales como el tiempo de ciclo y los niveles de trabajo en curso, pueden ser grabados y extraer de ellos los informes que necesitemos para poder visualizar los resultados.

Una de las principales ventajas de Arena, es que puede integrarse perfectamente con las tecnologías de Microsoft. Incluye, por ejemplo, Visual Basic para aplicaciones en las que los modelos se pueden automatizar más si se necesitan algoritmos específicos. También es compatible con Microsoft Visio, pudiendo importar diagramas de flujo de éste, así como utilizar hojas de cálculo Excel o bases de datos Access. Permite también el alojamiento de controles ActiveX.

Arena 9.0 dispone de las siguientes versiones:

- Student Edition: Edición libre destinada a los estudiantes que quieren aprender a utilizar este software.
- Research Edition: Esta edición está destinada al uso académico.
- Basic Edition: Esta edición incluye sólo un conjunto básico de plantillas de módulo.
- Professional Edition: Edición de propósito general que incluye las herramientas utilizadas y las plantillas de módulo. También permite la creación de plantillas personalizadas.
- Enterprise suite: Incluye todas las herramientas disponibles y plantillas para organizaciones con una amplia gama de necesidades de simulación.

38 Arena 9.0, (http://www.arenasimulation.com)
39 Rockwell Automation, (http://www.rockwellautomation.com/)

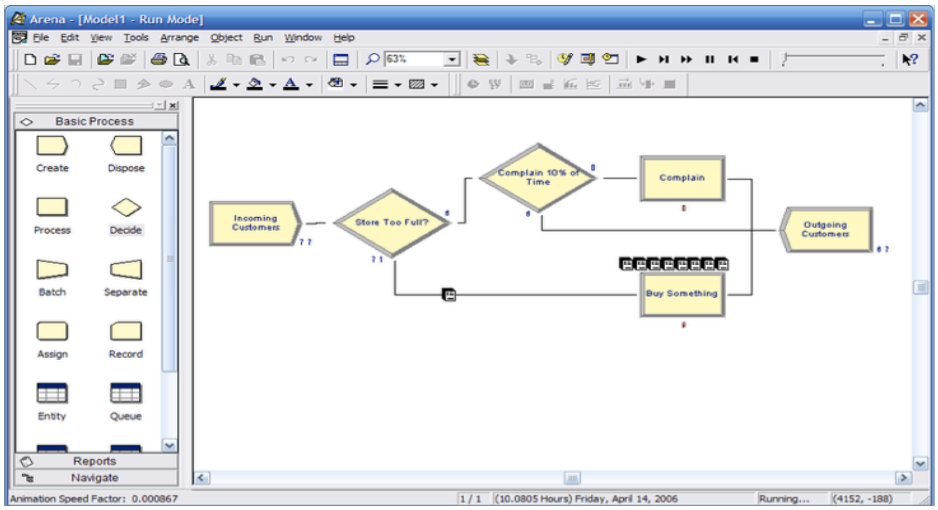


Figura 4.12: Imagen del entorno Arena 9.0 (Student Edition)

4.3.2 – Comunicación mediante Sockets

Los sockets[40] son puntos o mecanismos de comunicación entre procesos que permiten que un proceso emita o reciba información a otro proceso, incluso estando éstos en distintas máquinas. Esta característica de conectividad entre máquinas, hace que el concepto de socket sea de gran utilidad. Esta interfaz de comunicaciones es una de las distribuciones de Berkeley al sistema Unix, implementándose las utilidades de interconectividad de este sistema operativo (comandos como login, telnet, ftp,…..) usando sockets.

Un socket es un punto de comunicación entre procesos, por el cual se permite emitir o recibir información. La forma de referenciar un socket es mediante un descriptor del mismo tipo que el utilizado para referenciar ficheros. Debido a esta característica, se podrá realizar redirecciones de los archivos de entrada/salida estándar a los sockets y así combinar entre ellos aplicaciones de la red. Cabe destacar que, todo nuevo proceso creado, heredará los descriptores de sockets de su padre.

La comunicación entre procesos a través de sockets se basa en la filosofía cliente-servidor: un proceso en esta comunicación actuará de proceso servidor creando un socket cuyo nombre conocerá el proceso cliente, el cual podrá comunicarse con el proceso servidor a través de la conexión con dicho socket nombrado.

Un proceso lo que hace es crear un socket sin nombre, cuyo valor de vuelta es un descriptor sobre el que se leerá o escribirá, permitiéndose una comunicación bidireccional, característica propia de los sockets, o canales de comunicación unidireccional entre procesos de la misma máquina.

El mecanismo de comunicación vía socket, tiene los siguientes pasos:

- El proceso servidor crea un socket con un nombre y espera la conexión.
- El proceso cliente crea un socket sin nombre.
- El proceso cliente realiza una petición de conexión al socket del servidor.
- El cliente realiza la conexión a través de su socket mientras el proceso servidor mantiene el socket servidor original con su nombre.

40 Sockets, (http://es.tldp.org/Universitarios/seminario-2-sockets.html)

Es muy común en este tipo de comunicación el lanzamiento de un proceso hijo una vez realizada la conexión, para que éste se ocupe del intercambio de información con el proceso cliente mientras el proceso del servidor sigue aceptando conexiones. Para eliminar esta característica, se cerrará el descriptor del socket servidor en cuanto realice una conexión con un proceso socket cliente.

Todo socket viene definido por dos características fundamentales:

- El tipo de socket: Nos indica la naturaleza del mismo y el tipo de comunicación que puede generarse entre los sockets.
- El dominio del socket: Especifica el conjunto de sockets que pueden establecer una comunicación con el mismo.

El tipo de socket, define las propiedades de las comunicaciones en las que se ve envuelto un socket, es decir, el tipo de comunicación que se puede dar entre cliente y servidor. Éstas pueden ser las siguientes:

- Fiabilidad de transmisión.
- Mantenimiento del orden de los datos.
- No duplicidad de los datos.
- El modo conectado en la comunicación.
- Envío de mensajes urgentes.

En cuanto a los tipos disponibles de socket, nos encontramos los siguientes:

- SOCK_DGRAM: Se utilizan para comunicaciones en modo no conectado, con envío de datagramas de tamaño limitado (tipo telegrama). En dominios de internet, el protocolo del nivel de transporte sobre el que se basa es UDP.
- SOCK_STREAM: Utilizado para comunicaciones fiables en modo conectado, de dos vías y con tamaño variable de los mensajes de datos. El protocolo del nivel de transporte sobre el que se basa es TCP.
- SOCK_RAW: Estos sockets permiten el acceso a protocolos de más bajo nivel, como IP (nivel de red).
- SOCK_SEQPACKET: Similar a SOCK_STREAM, pero el tamaño de los mensajes es fijo.

4.3.3 – Comunicación interfaz Java con Grasp10

Para realizar la comunicación entre el interfaz y Grasp10, lo primero hay que indicarle una dirección IP en la pestaña *Conexión*. Si no se le indica ninguna dirección IP, el interfaz supondrá que Grasp10 está instalado en la misma máquina en la que estamos ejecutando el interfaz. Si por el contrario, Grasp10 está instalado en cualquier otro ordenador, habrá que indicarle la dirección IP en la que se encuentra, para que el interfaz lo encuentre y pueda comunicarse con él.

Cuando ya estamos conectados desde el interfaz con Grasp10, desde Java lo que hacemos es enviarle señales, que son cadenas de caracteres con el mismo nombre que Grasp10 tiene almacenadas para realizar las distintas acciones, al pulsar los botones según lo que queramos hacer.

Por ejemplo, si queremos que en el almacén entre un palé rojo, cuando pulsemos el botón correspondiente, Java le enviará a Grasp10 la señal "Pallet Rojo" y Grasp10 interpretará esa señal e introducirá un palé rojo en la entrada. Exactamente lo mismo ocurrirá si estamos en un cruce, por ejemplo "Cruce 1", que es la cadena de caracteres que enviamos para que el palé pase por ese cruce.

Para el envío de estas señales, utilizamos el método *public void action (String str)* que se encuentra en la clase *Communications.java*, que es el encargado de comunicarse realmente con Grasp10.

Al pulsar los botones antes mencionados, situados en la clase *TerminalSim.java*, lo que hacemos es lo siguiente

```
String str = "Pallet Rojo";

c.action(str);
```

La primera línea del código es la que utilizamos para indicar la cadena de caracteres y la siguiente, es la que utilizamos para comunicarnos con Grasp10 a través del método *action*. Dentro de dicho método, el código que incluiríamos sería este:

```
if(str.equals("Pallet Rojo")) {
        System.out.println("Client: " + str + "\n");
        out.println("Value_Set Rojo on");
}
```

Si la cadena de caracteres que le indicamos coincide con la cadena de caracteres que pasamos como condición, el programa le enviaría a Grasp10 *Value_Set Rojo on* para indicarle que hay un palé rojo en la entrada.

El los Anexos se incluirá la implementación completa del interfaz gráfico.

4.3.4 – Desarrollo del interfaz: Versión 1.0

Como se ilustra en las siguientes figuras, el interfaz está dividido en cuatro pestañas, *Conexión*, *PIE*, *Picking* y *Almacen*.

La primera pestaña, *Conexión*, es la que se utiliza para conectar el programa con Grasp10. Para ello, se utiliza un cuadro de texto situado en la parte superior en la que indicamos la dirección IP en la cual se va a realizar la simulación, o no le indicamos ninguna dirección si el ordenador en el que se realiza la simulación es el mismo, como ya se indicó en el apartado anterior.

Una vez conectado, se puede elegir entre modo *Manual* o modo *Automático*. El modo automático consiste en una demostración de la simulación. En esta pestaña, también disponemos de un *display* en el que se pueden visualizar todos los datos que son enviados o recibidos por el simulador.

Las siguientes pestañas del interfaz sirven para controlar la simulación cuando se utiliza el modo manual y están divididas de la misma forma que las zonas de simulación, es decir: *PIE*, *Picking* y *Almacén*.

Figura 4.13: Pantalla de conexión del interfaz Java

En la pestaña *PIE*, se utiliza tanto para dar salida a los palés que llegan de producción como a los que llegan de recepción. En la parte de operaciones, se encuentran todas las acciones del *PIE*, es decir, todos los puntos de decisión que nos podemos encontrar. Al igual que en la pantalla de *Conexión*, también disponemos de un *display* para poder visualizar todo la información referente a las señales enviadas y a la información que envían los lectores *RFID* de la simulación.

De este modo, podemos saber la posición de cada uno de los palés, así como su número de identificación y las posibles acciones que se pueden realizar con ellos. Gracias a esto, es posible controlar todo el centro sin necesidad de ver la simulación.

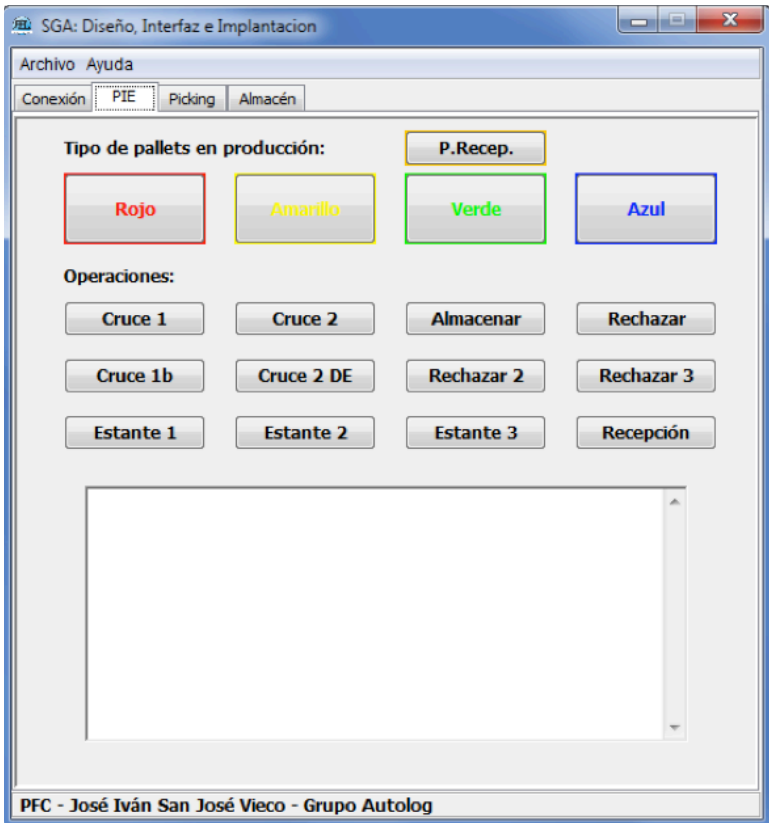


Figura 4.14: Pantalla de *PIE* del interfaz Java

La tercera pestaña, *Picking*, es similar a la anterior, excepto que en este caso los palés que se dan en la salida, son los formados tras el *picking*.

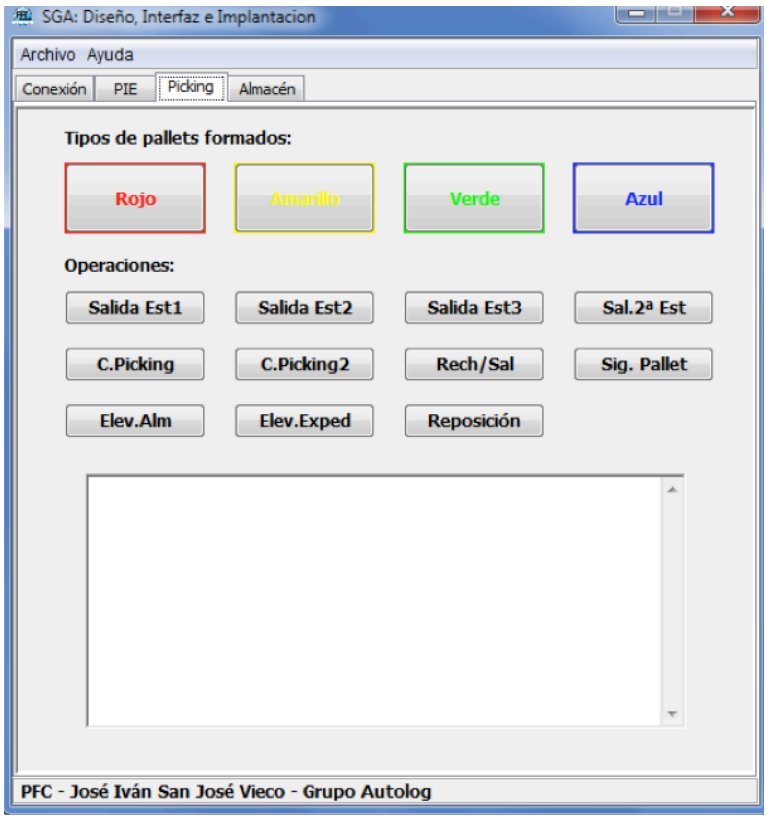


Figura 4.15: Pantalla de *picking* del interfaz

La última pestaña del interfaz, la pestaña *Almacén*, corresponde con el control del almacén automático. En ella podemos elegir entre coger o dejar un palé, seleccionar el transelevador para indicarle el estante en el que se cogerán o dejarán los palés y si lo hacemos en el lado izquierdo o derecho. Con este control conseguimos un manejo intuitivo, sencillo y muy visual del almacén.

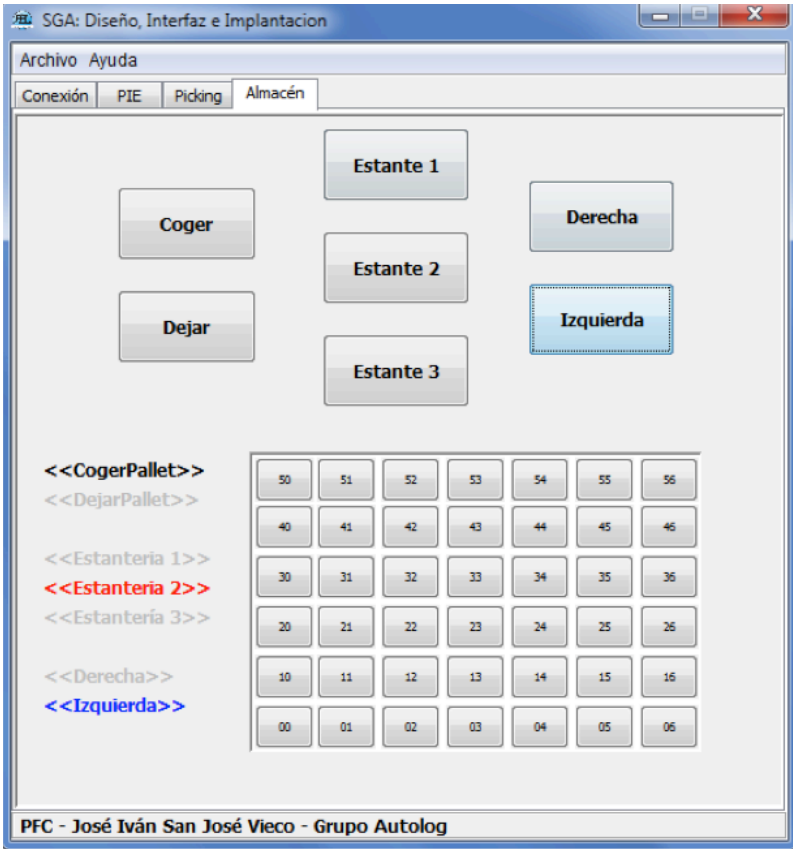


Figura 4.16: Pantalla de almacén del interfaz

En este interfaz, también se ha dejado la posibilidad de controlar el funcionamiento de la simulación a través de los autómatas programables. El modo sería el *Stand-Alone* y se realizará una programación orientada a agentes. Actualmente, los autómatas no están programados de esa forma, por lo que se deja como ampliación futura para el desarrollo del interfaz.

4.3.5 – Desarrollo del interfaz: Versión 1.5 Final

El funcionamiento de esta versión del interfaz es idéntico al descrito en la versión anterior, salvo que se ha intentado realizar una versión más visual si cabe para, además de saber dónde estamos a través de los distintos *displays* que se han incluido en las pestañas, poder saber a través de las imágenes del simulador, dónde nos encontramos realmente.

A continuación, mostramos una serie de imágenes en las que se puede observar alguno de estos cambios realizados.

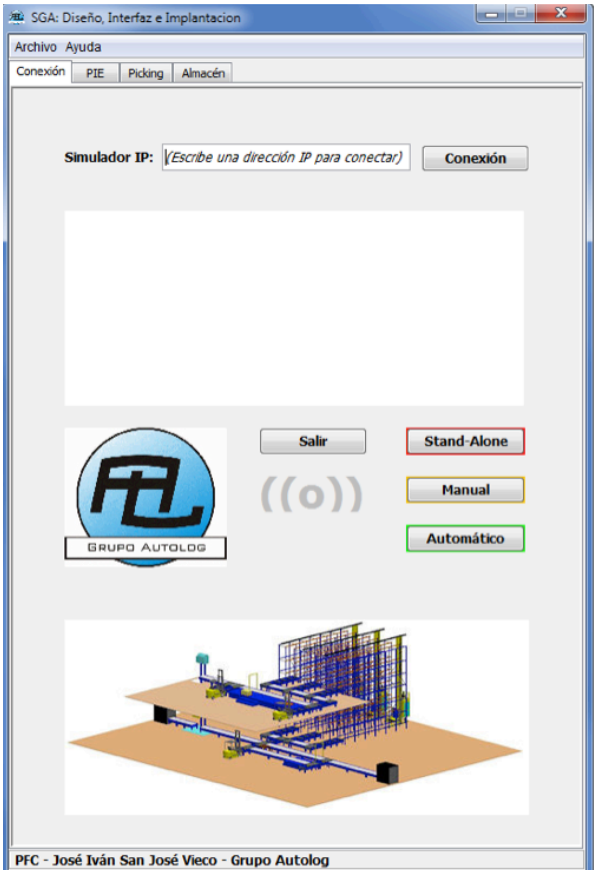


Figura 4.17: Pantalla de Conexión del interfaz Java 1.5

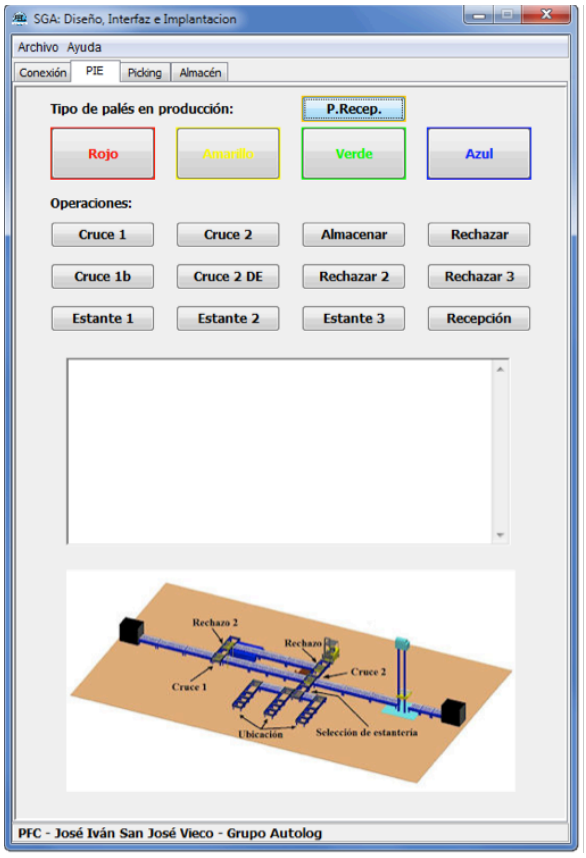


Figura 4.18: Pantalla de PIE del interfaz Java 1.5

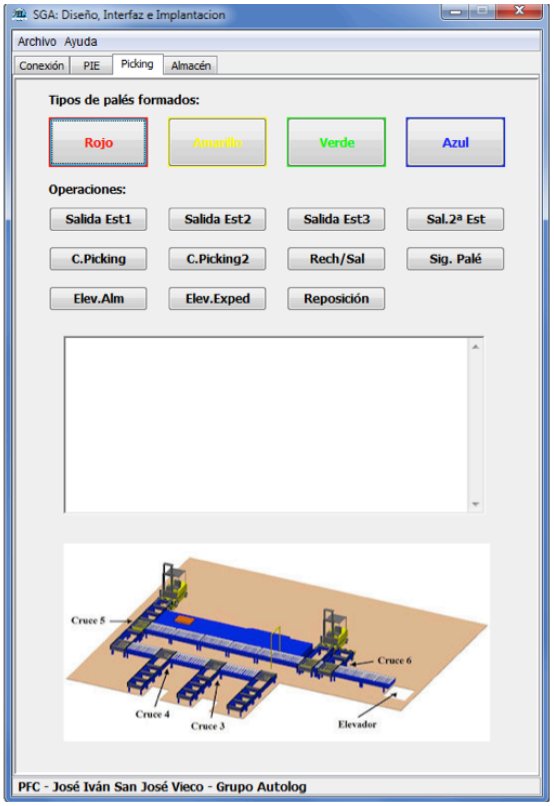


Figura 4.19: Pantalla de picking del interfaz Java 1.5

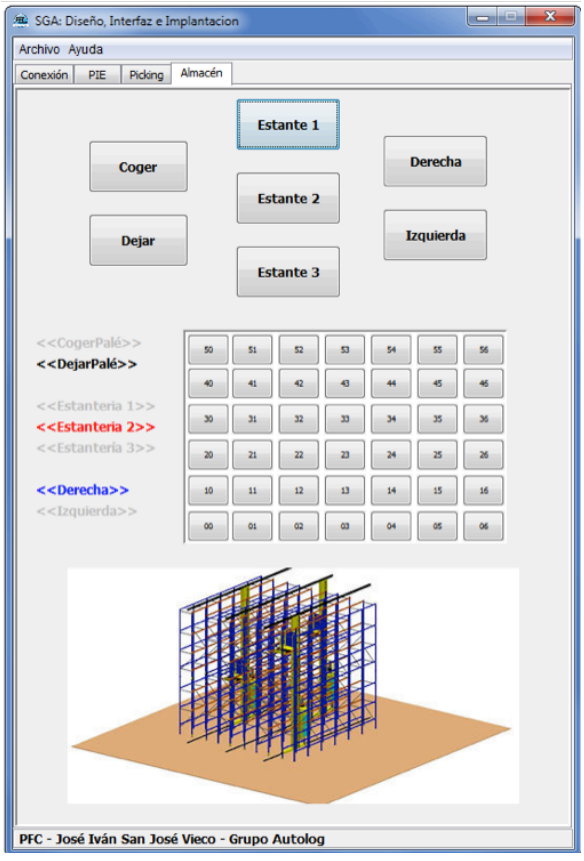


Figura 4.20: Pantalla de almacén del interfaz Java 1.5

4.4 – Datos obtenidos de la simulación

Las simulaciones que se han realizado para este proyecto, se han orientado para representar una primera aproximación de un centro de distribución lo más fidedigno posible. Gracias a ellas, ha sido posible probar tecnologías e instrumentos que, en el caso de haber sido introducidos erróneamente en un sistema real, hubiesen supuesto grandes costes y pérdidas para la empresa.

Como hemos creado un sistema con un comportamiento ajustado a un sistema real, los datos que ofrecen las simulaciones pueden considerarse veraces dentro de unas pequeñas limitaciones.

Los objetivos de las simulaciones son los siguientes:

- Reproducir un ambiente fiel a un centro de distribución real.
- Introducción de la tecnología *RFID* a un sistema de este tipo.
- Detectar problemas y realizar mejoras sobre el centro diseñado.
- Probar sistemas de gestión de almacén sin necesidad de aplicarlos a un sistema real.

A continuación, realizaremos un análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones presentadas anteriormente. Inicialmente, se realizarán dos ensayos para apreciar cuantitativamente las ventajas de utilizar la tecnología *RFID* en lugar de los códigos de barras. Para ello, es hará un estudio de tiempos que trate de cuantificar las ventajas y desventajas de las dos tecnologías.

Para la realización de este estudio, se han utilizado unos valores de tiempos para las diferentes acciones que se producen en el centro (ver la tabla 4.1). Estos valores son promedios de los centros de distribución que se encuentran hoy en día en funcionamiento. En el Anexo II se pueden encontrar los razonamientos y datos consultados para la obtención de los tiempos promedios de las operaciones.

Tiempos/recursos promedios de las operaciones	
Tiempo de reimpresión	293 segundos
Tiempo de identificación mediante código de barras	8 segundos
Tiempo de identificación mediante tecnología RFID	Despreciable
Tiempo de reacondicionamiento	120 segundos
Tiempo de reorientación	20 segundos
Tiempo de decisión en los cruces	Despreciable
Recursos humanos en el PIE con códigos de barras	1 operario
Recursos humanos en el PIE con tecnología RFID	Ningún operario

Tabla 4.1: Tiempos promedio de las operaciones características de los centros de distribución

Una vez realizadas las simulaciones para las dos tecnologías a estudio, se obtienen los datos que refleja la tabla 4.2. En el Anexo III se muestra el estudio de tiempos que se ha llevado a cabo para la obtención de estos resultados.

Resultado del análisis de tiempo (segundos)	
Estación PIE con código de barras	343.29
Estación PIE con RFID	270.2
Estación picking con código de barras	331.48
Estación picking con RFID	330.81

Tabla 4.2: Resultados del análisis de tiempos del centro de distribución simulado

Una vez analizado el estudio de tiempos del *PIE* y la estación de *picking*, llegamos a las siguientes conclusiones:

- La introducción de la tecnología *RFID* en el centro de distribución diseñado, supone un ahorro de tiempo en el *PIE* del 21.3%. Esta reducción de tiempo se debe a la desaparición de las acciones de reetiquetado y que la identificación de objetos es mucho más rápida y eficaz.

- Para la estación de *picking*, con los resultados obtenidos, el ahorro de tiempo es mucho menor y casi inapreciable, un 0.202%. El único aspecto que se mejora en la estación de *picking* es la viabilidad de la automatización del proceso, como se comentó en el Apartado 2.1.4.

Tras el estudio de los tiempos característicos del centro de distribución, procedemos al análisis estructural del centro de distribución diseñado. Como resultado de este análisis, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Los centros de distribución, habitualmente, tienen un punto de identificación de entradas (*PIE*) como el diseñado en el caso que estamos tratando. Tal y como se explicó en el Apartado 3.6.1, esta estación tiene fundamentalmente dos misiones: la identificación de palés y el reacondicionamiento de esos cuando la estructura u orientación no son correctos.

- En nuestro caso, el uso de lectores *RFID*, hace que la identificación de los productos se realice por todo el centro de distribución. Esto implica que la trazabilidad de los productos en la planta sea completa y no haya discontinuidades. Además, la mayor parte de las causas de recirculación de palés en el *PIE* se debe a errores de lectura en las etiquetas, aunque estos errores se producen en ocasiones muy puntuales. Por estos dos motivos, llegamos a la conclusión de que el *PIE* no tiene sentido con *RFID*, ya que este tipo de estaciones han sido necesarias hasta ahora debido al uso del código de barras para la identificación de productos.

A continuación se propone una modificación del *PIE*. El esquema se representa en la figura 4.21:

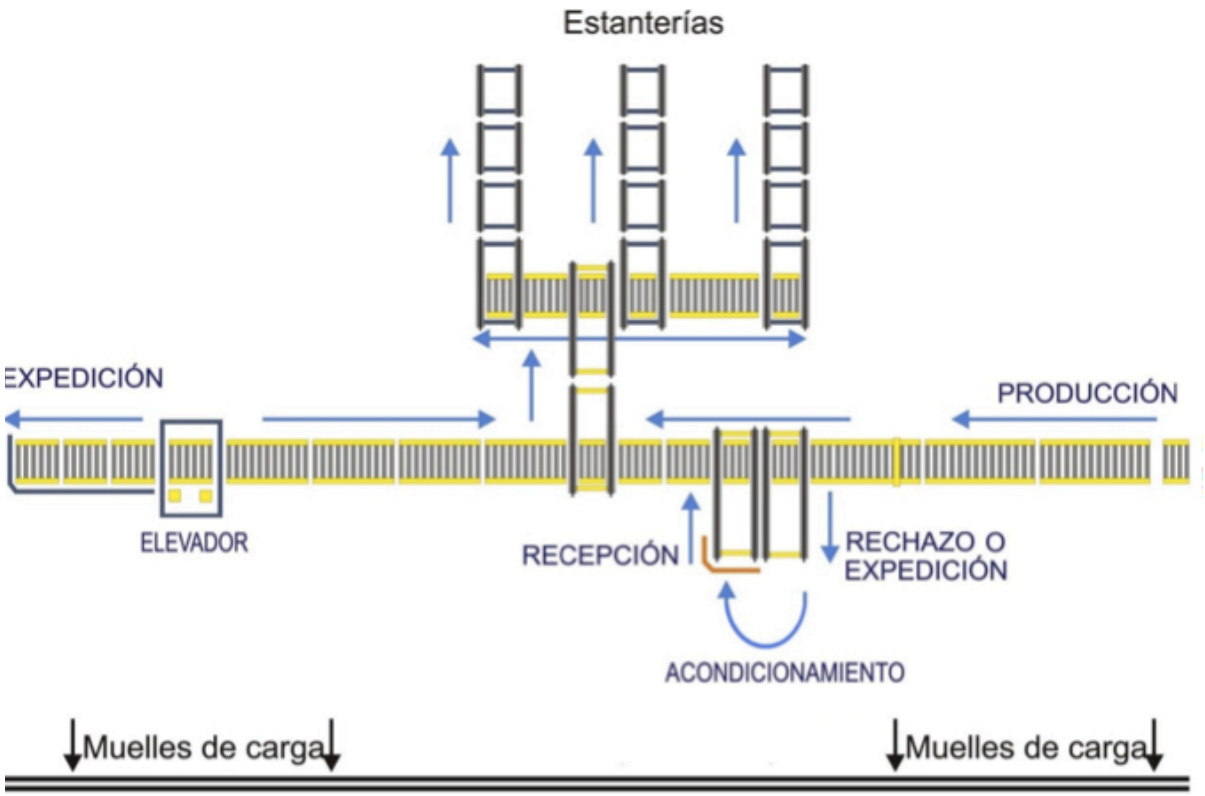


Figura 4.21: Modificación del *PIE*

Como se puede observar en la figura 4.21, ha desaparecido la recirculación de palés. En cambio, se ha modificado la zona de rechazo, expedición y recepción. En este caso, cuando la puerta de gálibo detecta que la estructura o colocación de un palé no es correcta, éste sale por la zona de rechazo. El palé es sacado por una carretilla elevadora y, una vez acondicionado, se introduce por la zona de recepción.

Con este nuevo diseño que hemos propuesto se requiere una menor inversión debido a que se reduce el número de mesas transportadoras. Además, las operaciones de identificación y reetiquetado desaparecen.

Gracias a las simulaciones, se han podido analizar también otros detalles. En ocasiones, aunque se ha comentado que en este centro es poco común, es posible que un palé recién producido necesite salir a expedición. Cuando ocurre esto, el palé tiene que pasar por el transelevador, subir a la zona de *picking* y bajar el nuevo al Nivel 0 en el elevador. El camino que recorren estos palés es demasiado largo. Además, se está usando uno de los transelevadores como un simple elevador. Este hecho produce colas de palés a la entrada del almacén automático.

Debido a la simplicidad del nuevo *PIE*, se ha pensado instalar la zona de *picking* en el mismo nivel de éste. Con esta modificación, se puede realizar *picking* en un palé sin necesidad de pasar por un transelevador, con la consiguiente reducción de tiempo al realizar esta tarea.

Como consecuencia de este cambio, es posible eliminar mesas de espera de la entrada del almacén automático. En el primer diseño se había optado por instalar un buffer de espera de tres mesas. Una vez estudiadas las simulaciones, se llegó a la conclusión de que eliminando la planta de *picking*, con dos mesas sería suficiente.

Otro cambio necesario al realizar esta modificación es la distribución de las entradas y salidas el almacén. Ahora están situadas a la misma altura, por lo que cada transelevador dispone de dos filas de mesas correspondientes a ambos sentidos de movimiento. Como ahora los palés circulan en los dos sentidos, los nuevos transportadores han de ser reversibles. Para que esto sea posible, se ha utilizado una lanzadera que une la nueva planta de identificación y *picking* con el almacén automático. Todas estas modificaciones quedan reflejadas en el esquema de la figura 4.22:

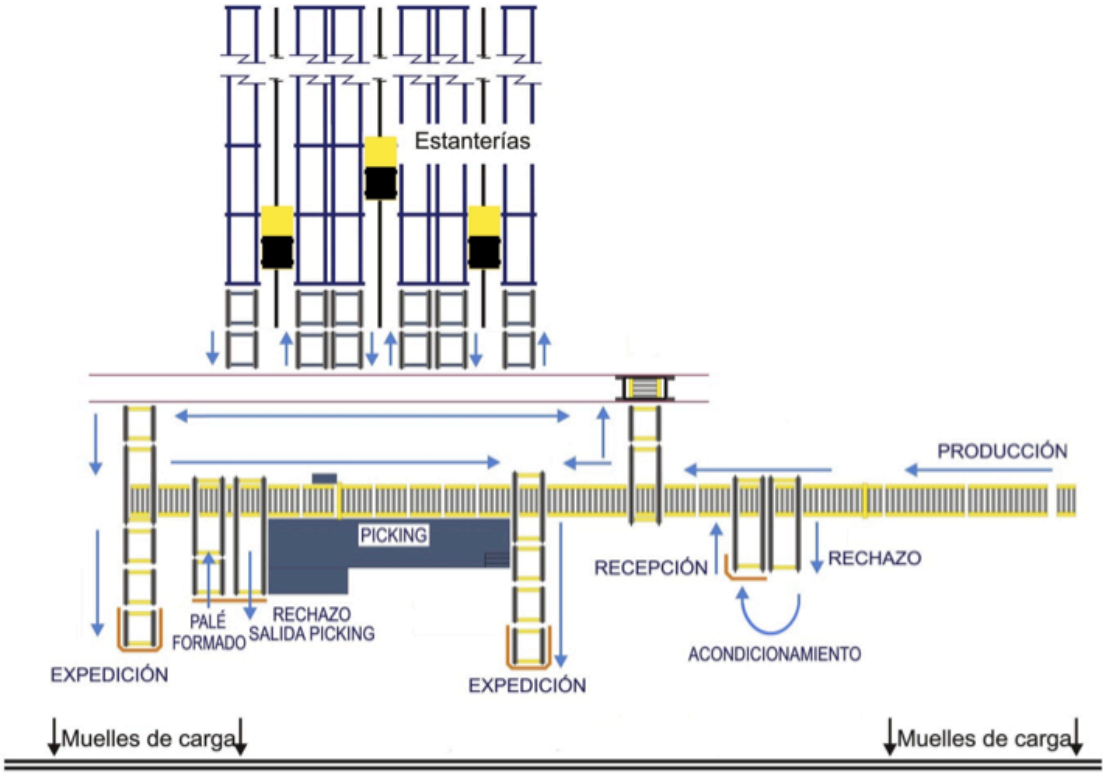


Figura 4.22: Modificación del centro de distribución completo

4.5 – Conclusiones de la simulación del centro de distribución

Gracias al análisis realizado sobre la introducción de la tecnología *RFID* en los centros de distribución, se han detectado varios aspectos mejorables en el diseño realizado:

- Eliminación de las actividades de reetiquetado y del *PIE*.
- Reducción del buffer de espera a la entrada del almacén automático.
- Simplificación del centro de distribución al unir la planta de *picking* con el *PIE*.

Una de las grandes ventajas de la nueva distribución, es la reducción de costes de la instalación. Además de reducir el número de mesas de tres a dos, también se ha eliminado el elevador que unía la estación de *picking* con el *PIE*.

Otra de las conclusiones obtenidas después de realizar las modificaciones es la posibilidad de aumentar la capacidad del almacén automático. En ocasiones, los almacenes automáticos se instalan en espacios reducidos. Al haber reducido el buffer de espera a dos posiciones, se podría añadir una nueva columna a las estanterías y, de este modo, el almacén aumentaría su capacidad en más de un 16%.

5 – ANÁLISIS DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN REAL

Una vez realizado el diseño, estudio y modificación de un primer modelo de centro de distribución automatizado, se ha querido también analizar un sistema real. Para ello, se ha seleccionado el centro de distribución que J. García Carrión posee en la localidad de Daimiel (Ciudad Real). En la figura 5.1 se muestra el exterior de las instalaciones.

Figura 5.1: Imagen del centro de distribución JGC en Daimiel, Ciudad Real

La planta objeto de nuestro estudio está ubicada en un solar de 250.000 m^2, de los cuales 20.000 m^2 están construidos. En estas instalaciones se reparten 21 grupos de envasado de última tecnología y alta velocidad. Dispone de una capacidad de envasado de vinos de alrededor de 200 millones de litros al año y de 400 millones de litros al año para zumos. Además, producen y envasan otros productos como néctares de frutas, gazpachos, etc.

La conservación de los productos hasta su envío a los puntos de ventas se realiza en un almacén automático de similar estructura al que se ha diseñado. El almacén está compuesto por quince pasillos, la entrada de carga y descarga se sitúa en el Nivel 0 y, sobre él, se encuentra una estación de *picking*. En la siguiente figura se muestra un plano de todas las instalaciones. Este almacén aplica el sistema *FIFO* de gestión de productos.

La filosofía de trabajo de JGC es de colaboración integral con el cliente, cubriendo al máximo sus necesidades, atendiendo cualquier sugerencia de nuevos productos que estén dentro de su ámbito de producción. Además, son muy flexibles en lo que a embalajes, presentaciones y logística se refiere.

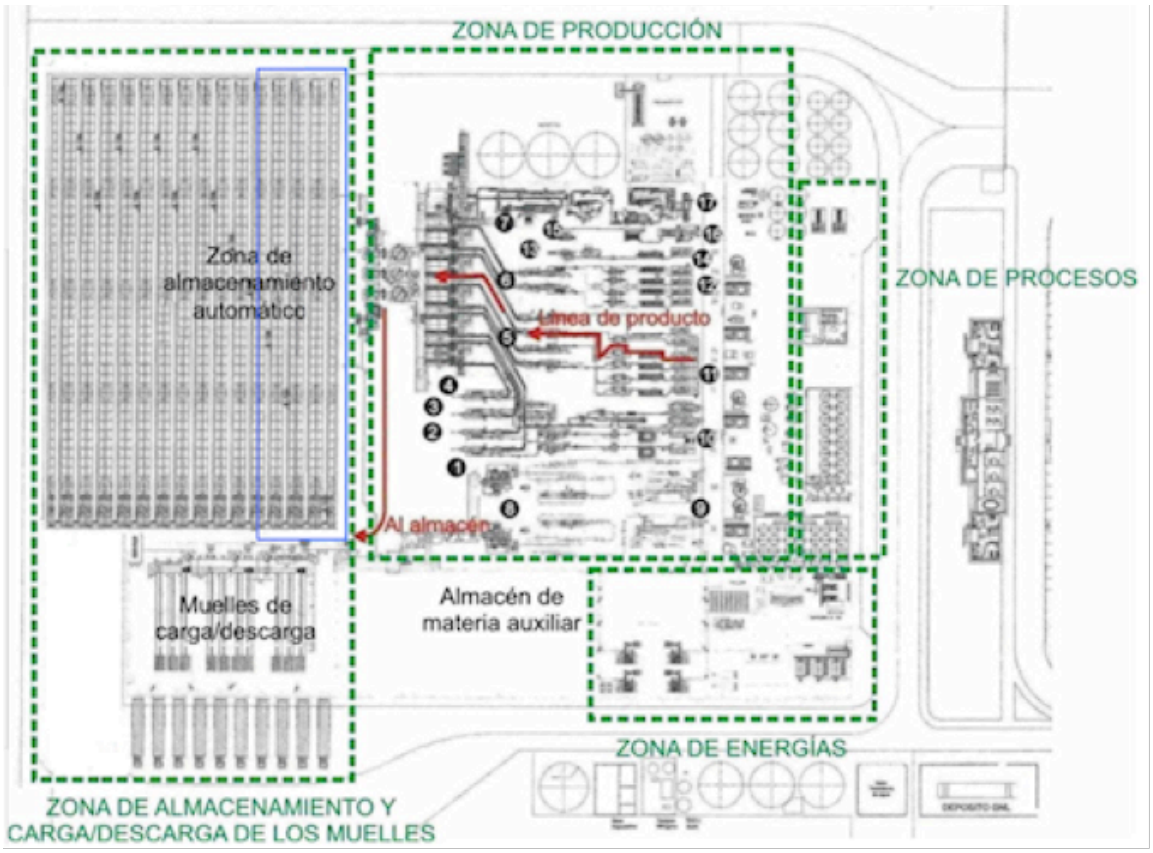


Figura 5.2: Plano general de las instalaciones de JGC en Daimiel, Ciudad Real

5.1 – Problemática actual de la planta de JGC

La planta de JGC que estamos tratando, posee unos sistemas de producción y almacenamiento muy avanzados, pero estos avances no están integrados en el proceso de *picking*. En la actualidad, el *picking* en este centro se realiza de forma manual, chocando con el nivel de automatización que presenta el resto de la empresa.

Hoy en día, el mercado exige una producción a medida, siguiendo todos los requerimientos del cliente. Al estar hablando de un entorno de producción complejo, se hace necesario que el sistema de gestión permita la actuación automática sobre los datos generados. De este modo se consigue un alto grado de flexibilidad.[41] Según esto, disponer de un sistema de *picking* más automatizado, así como mejorar el seguimiento y la trazabilidad de los productos destinados a la zona de *picking*, supondría una gran ventaja competitiva para la empresa.

A continuación se citarán los problemas observados en la zona de almacenamiento de la planta de J. García Carrión.

5.1.1 – Deterioro de productos

Atendiendo, sobre todo, a las necesidades de conservación de los productos, éstos se pueden clasificar en productos refrigerados y productos a temperatura ambiente. (Situación de los productos en la figura siguiente).

41 Valckeneaers y Van Brussel, 1994

En ocasiones, es necesario conformar pedidos que combinan varios tipos de productos refrigerados. En estos casos, puede que el tiempo de preparación de pedido sea tan elevado que se produzca una ruptura de la cadena de frío, traduciéndose todo esto en el deterioro del producto y, como consecuencia, no sería apto para su expedición y habría que desprenderse de él.

5.1.2 – Logística interna

Los pedidos que precisan *picking* antes de su expedición, salen siempre del almacén automático ya que, como se indicó anteriormente, se utiliza el criterio *FIFO*. Una vez que en la estación de *picking* se tienen todos los productos necesarios para conformar el pedido, se monta el palé y se envía a los muelles de carga y descarga. Los palés que se han utilizado para conformar el pedido se quedan en la zona de *picking*, excepto los productos refrigerados que son enviados de nuevo al almacén, por si posteriormente son necesarios para elaborar otro pedido.

El seguimiento y trazabilidad de cada palé se realiza mediante el uso de códigos de barras. Cuando se extraen productos de un palé para elaborar un pedido, es necesario retirar la cubierta protectora que poseen. El código de barras se encuentra adherido a dicha cubierta, por lo que, una vez retirada, no se puede saber de un modo rápido el número ni el tipo de productos que se encuentran en la zona de *picking*.

Realizar manualmente el proceso de *picking* y usar códigos de barras en estos casos, hacen que la logística interna no sea óptima.

5.1.3 – Trazabilidad y seguimiento de los pedidos y productos

En la actualidad, la trazabilidad y el seguimiento de productos en estas instalaciones se llevan a cabo mediante etiquetas de códigos de barras. Uno de los principales problemas de este sistema radica en su lectura.

Ocasionalmente, las etiquetas están arrugadas, mal colocadas o parcialmente despegadas. En estos casos, los lectores no pueden realizar correctamente las lecturas, afectando a la formación de los pedidos.

Cuando se detecta este problema, las etiquetas son reemplazadas manualmente, por lo que cabe la posibilidad de error. Todo esto puede traducirse en tiempos improductivos, entrega de pedidos con retraso, errores de stock, etc.

5.1.4 – Eficiencia y productividad

Si se estudia el proceso productivo de la planta, se deja en evidencia la baja productividad de la zona de *picking*. Actualmente se emplean demasiados recursos en esta planta y, además, requiere demasiado tiempo. Todo eso repercute negativamente, tanto en la productividad como en la eficiencia del proceso global.

5.1.5 – Bloqueo de transelevadores

Los transelevadores son los principales elementos de un almacén automático. Hoy en día, este tipo de máquinas están muy avanzadas y rara vez se producen fallos en ellas.

En el caso de la planta de JGC que es motivo de estudio, los fallos que se producen en los transelevadores, ocurren por motivos ajenos a ellos. Las dos causas de bloqueo más comunes en estas máquinas son las siguientes:

- Los palés adquiridos por la planta de JGC para el almacenaje de sus productos suelen ser usados. A este factor hay que añadir que los palés que entran en el centro de distribución se deterioran por el transporte, paso del tiempo, humedad (sobre todo en la parte refrigerada), etc. En resumen, es inevitable que los palés se encuentren en perfecto estado en el almacén automático. En estos casos, es habitual que el transelevador se quede bloqueado cuando se dispone a retirar uno de estos palés de una estantería.

- Para proteger el contenido de los palés y evitar su caída en los procesos de transporte, las cargas se protegen con un recubrimiento de plástico que aplica una enfarfadora. Este film extensible se adhiere a sí mismo electrostáticamente pero, en ocasiones, se despega y uno de sus extremos queda colgando. Cuando ocurre esto, es habitual que el plástico tape las células fotoeléctricas a la hora de ser retirado y el transelevador se detenga. Este sistema de células fotoeléctricas está ideado para que el transelevador se detenga cuando los palés que recogen no se encuentran en la posición deseada.

Cuando un transelevador se detiene por uno de estos problemas mencionados, un operario tiene que subirse a él y acondicionar el palé para poder continuar. En el mejor de los casos, el operario ve desde fuera la incidencia y, si lo cree oportuno, puede manejar el transelevador manualmente.

El hecho de que un transelevador quede bloqueado conlleva que todos los pedidos de las dos estanterías correspondientes a dicho transelevador, queden bloqueados.

5.2 – Presentación de propuestas

En este apartado se presentarán una serie de propuestas para solucionar los problemas encontrados en las instalaciones de JGC.

5.2.1 – Sistema integral de seguimiento

Como ya se ha comentado, la tendencia actual en cuanto a identificación de objetos es el uso de la tecnología *RFID*. En este apartado se propone un sistema de seguimiento válido tanto para palés tanto homogéneos como heterogéneos. Con la introducción de esta tecnología, se conseguirá una completa trazabilidad de los palés y de las unidades de productos, que éstos contienen, en tiempo real. Además, será posible la optimización del sistema de gestión gracias al incremento de información relativa a los productos.

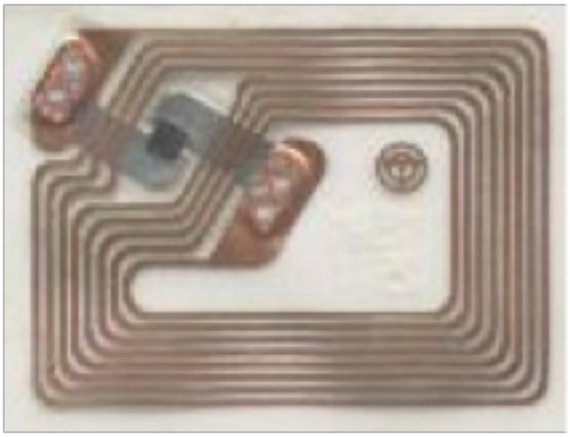


Figura 5.3: Etiqueta *RFID* pasiva de bajocoste

El sistema integral de seguimiento que se propone, está estructurado en tres niveles:

- Nivel 1: Se utilizan etiquetas *RFID* pasivas de solo lectura y de bajo coste para identificar las agrupaciones de unidades de producto, es decir, cajas de seis o doce unidades de un determinado producto. En la siguiente figura se pueden observar este tipo de etiquetas.

- Nivel 2: Para la identificación de palés, se utilizan etiquetas *RFID* activas adheridas a la madera. De este modo, es posible la identificación de palés tanto homogéneos o heterogéneos.

- Al utilizar tarjetas activas, es posible modificar la información que en ellas se contiene, por lo que resulta muy útil en los procesos de *picking*. Una vez se conforma el palé heterogéneo, se modifican los datos de las tarjetas del palé resultante y de los que se han utilizado para formarlo. Estos últimos, pueden ser devueltos al almacén, teniendo siempre controlado el nivel de stock de cada producto.

- Además, se propone el uso de etiquetas activas con sensor de temperatura, como las de la figura siguiente, para los productos refrigerados. Estas etiquetas han sido desarrolladas por el Grupo Autolog y, gracias a este sensor, añaden información de la temperatura a lo largo del tiempo. De este modo, podemos saber qué productos pueden estar en mal estado, tanto en el almacén como durante su transporte. Utilizando este sistema, se consigue evitar que lleguen al consumidor productos que no reúnen las características necesarias para su consumo.

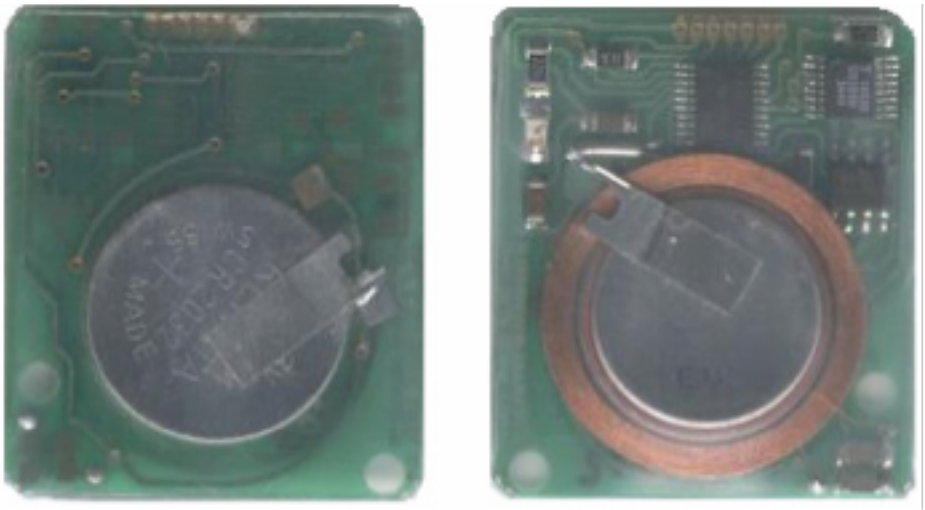


Figura 5.4: Etiqueta *RFID* activa con sensor de temperatura

- Nivel 3: Este nivel se utiliza para identificar y localizar las agrupaciones de palés en el proceso de transporte. Las formas más habituales de transporte son: uso de contenedores y en remolques de camiones. En este proyecto se propone la instalación de etiquetas *RFID* de Clase 5[42] en los contenedores y remolques. Este tipo de tarjetas realmente son lectores que aumentan la potencia de las tarjetas activas y pasivas y, además, se comunica con las activas. Con este sistema es posible conocer el tiempo real, la posición, contenido y estado de la carga mediante una conexión GPRS.

42 Etiquetas RFID de clase 5: Son etiquetas activas que se pueden comunicar con otras etiquetas de la misma clase y con lectores RFID.

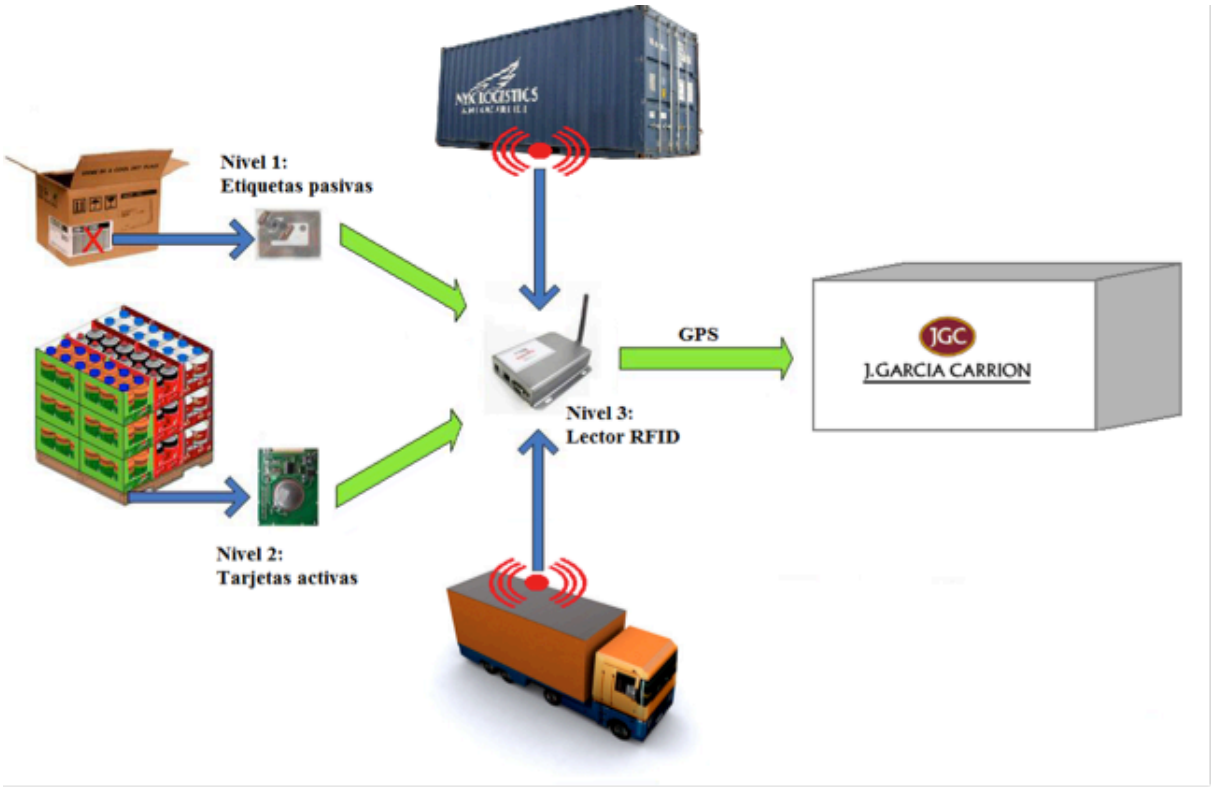


Figura 5.5: Sistema de seguimiento propuesto basado en *RFID*

La implantación de este sistema de seguimiento propuesto, se traduciría en las siguientes ventajas:

- Aumentaría en gran medida la cantidad de información de los productos.
- Permitiría la consulta de dicha información en tiempo real.
- Reduciría el tiempo de lectura de las etiquetas identificativas y de la entrega de pedidos.
- Se podría actualizar la información de los productos y conocer su estado.

La única condición para que estas ventajas fuesen realmente percibidas por todos los agentes de la cadena de suministro, es que la tecnología *RFID* tendría que estar implantada en todos los agentes como único estándar.

5.2.2 – Propuestas para la modificación de la zona de *picking*

Como se ha visto en el apartado anterior, la zona que J. García Carrión tiene destinada a *picking* en sus instalaciones de Daimiel, es susceptible de mejora. En este proyecto se proponen tres posibles configuraciones para dicha zona. Estas configuraciones han sido pensadas para incluir el sistema integral de seguimiento de cargas antes explicado.

Inicialmente, se pensó en añadir un sistema de *picking* totalmente automatizado, pero esta opción fue desechada por los siguientes motivos que a continuación se exponen:

- El proceso de *picking* en las empresas del tipo de JGC se da en una pequeña parte de los pedidos. Automatizar completamente el proceso de *picking* supondría una inversión inicial demasiado elevada al tener que incluir robots, nuevos sistemas de comunicación, nuevos sistemas de transporte automático, etc.

- Los operarios que se encuentran en la estación, pasarían a ser prescindibles para la empresa, lo que supondría despedirlos y hacer frente a las correspondientes indemnizaciones.

- Otro motivo es que la empresa JGC tiene una gran aceptación en la localidad de Daimiel, donde está instalada. El despido de trabajadores empeoraría la imagen de la empresa en dicha localidad.

- La necesidad de integrar, a corto plazo, todos los nuevos equipos adquiridos, supondría un alto grado de complejidad.

Finalmente y debido a los motivos anteriormente expuestos, se ha optado por un proceso de automatización combinado. Este método consiste en un sistema de transporte automático, que hace llegar los palés homogéneos a la zona de *picking*. En esta estación, los operarios esperarían para conformar los pedidos. De este modo, la plantilla de trabajadores se mantendría y, además, sería posible integrar todo el sistema en un corto periodo de tiempo.

Los tres diseños que se proponen, tienen las siguientes características comunes:

- Como se comentó en el Apartado 2.2.3, la tecnología *RFID* es capaz de realizar lecturas a una distancia considerable. Por ello, ha sido necesario poner mallas metálicas que hacen de jaulas de Faraday[43] para evitar lecturas indeseadas.

- Los palés homogéneos que, tras el proceso de *picking*, aún conserven productos en su interior, son llevados de nuevo al almacén. Los palés vacios son retirados tras el paso por la estación.

- Las estaciones de *picking* propuestas cuentan con una enfarfadora a la entrada del almacén. Esta enfarfadora, aplica un recubrimiento de plástico a los palés para evitar la caída de los productos al transportarlos al almacén automático. En ocasiones, ésta cubierta sólo ha sido retirada parcialmente, por lo que no es necesario usar la enfarfadora, aunque la última decisión la tiene el operario situado en la última estación, ya que es éste el que mejor puede percibir si el palé es apto para el almacenaje o no.

- Se han añadido puertas de gálibo y arcos lectores en el tramo final de las tres configuraciones. Su cometido es controlar el tamaño de los palés, evitando que excedan las dimensiones del almacén.

- A la entrada y a la salida de la estación, se han instalado arcos lectores que permiten gestionar todo el flujo de productos en la zona de *picking*.

- Tanto en los recorridos principales como en los secundarios, existen lectores *RFID* que coordinan y optimizan los movimientos de las cargas. Gracias a esto, se obtiene una gran cantidad de información del estado de los palés. Esta información resulta muy útil para el sistema de gestión, ya que sería capaz de otorgar prioridad a los palés que contienen productos refrigerados.

- En cada estación de *picking* existe también un lector *RFID* encargado de detener los palés que son necesarios para conformar el pedido.

43 Las jaulas de Faraday son recintos cerrados formados por cubiertas metálicas o enrejados de mallas apretadas que impiden, en su interior, la afluencia de campos eléctricos exteriores.

- Los operarios disponen, en su estación de *picking*, de un display-pulsador que les proporciona un listado con los productos que necesita cada pedido. Cuando un palé se detiene ante una estación de *picking*, el display indica al operario cuántos productos ha de extraer de dicho palé. En el caso de cometer algún error en el número de referencias extraídas del palé, el display se lo comunica al operario, permitiéndole rectificar. Una vez extraídas las unidades de producto necesarias, el operario acciona el pulsador para que el palé siga su camino.

A continuación se presentan las tres propuestas para la nueva zona de *picking* del centro de distribución de JGC en Daimiel.

5.2.2.1 – Propuesta 1: Configuración lineal con tres estaciones de trabajo

La primera configuración propuesta, en la siguiente figura, cuenta a la entrada de la zona de *picking* con dos caminos en paralelo. De este modo, es posible enviar palés a cada puesto de *picking* sin necesidad de que pasen por las demás. Si únicamente existiese un recorrido, podrían darse largas colas de productos en cada puesto de trabajo y, en ocasiones, los dos últimos operarios estarían parados a la espera de que llegase un palé que espera en la cola del puesto anterior.

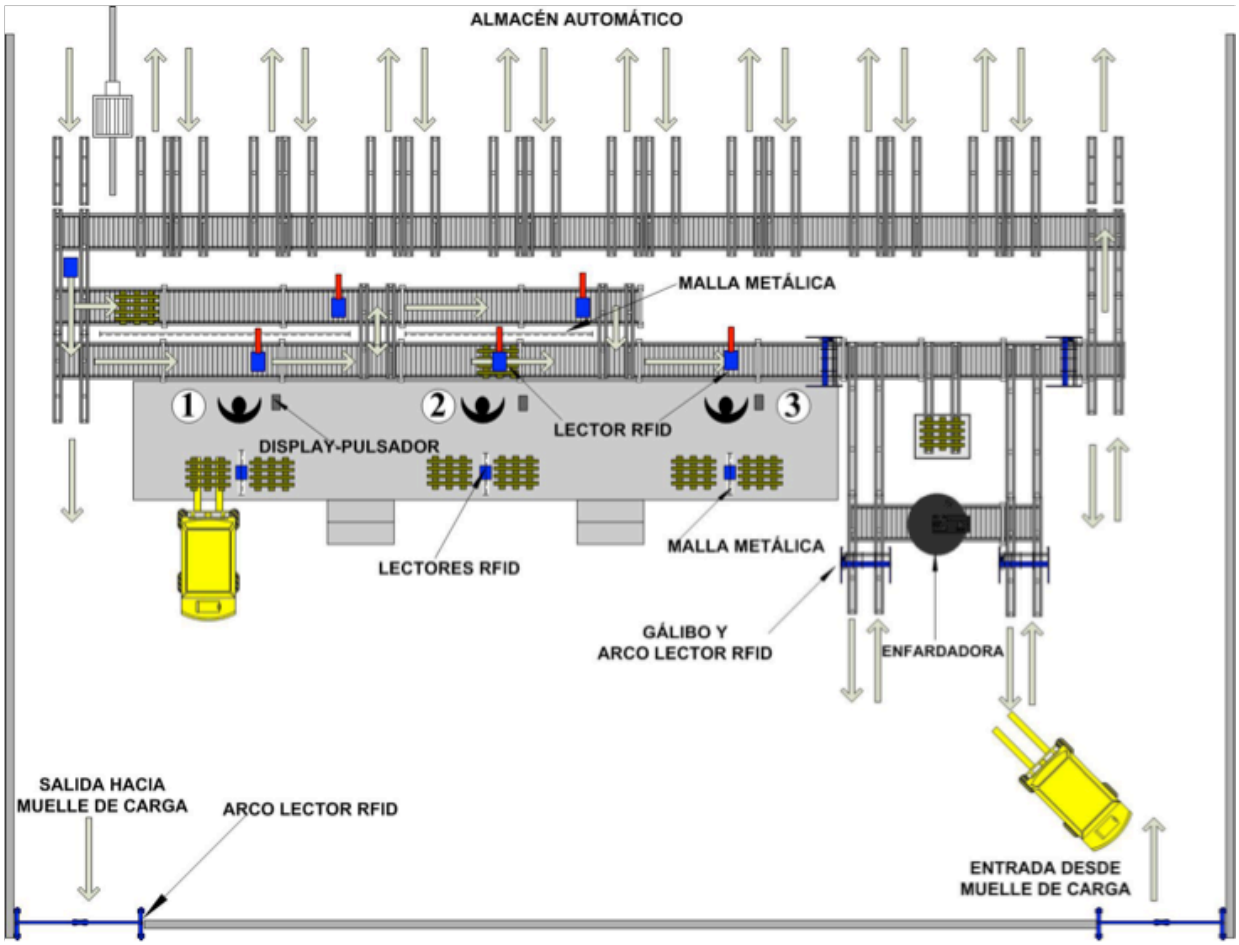


Figura 5.6: Configuración en línea con tres puestos de trabajo

Esto conllevaría la existencia de un cuello de botella en cada estación de *picking*.

Como podemos observar en la figura 5.6, existen varias alternativas en el recorrido de los palés. Esto ha sido posible realizarlo gracias a la tecnología *RFID*.

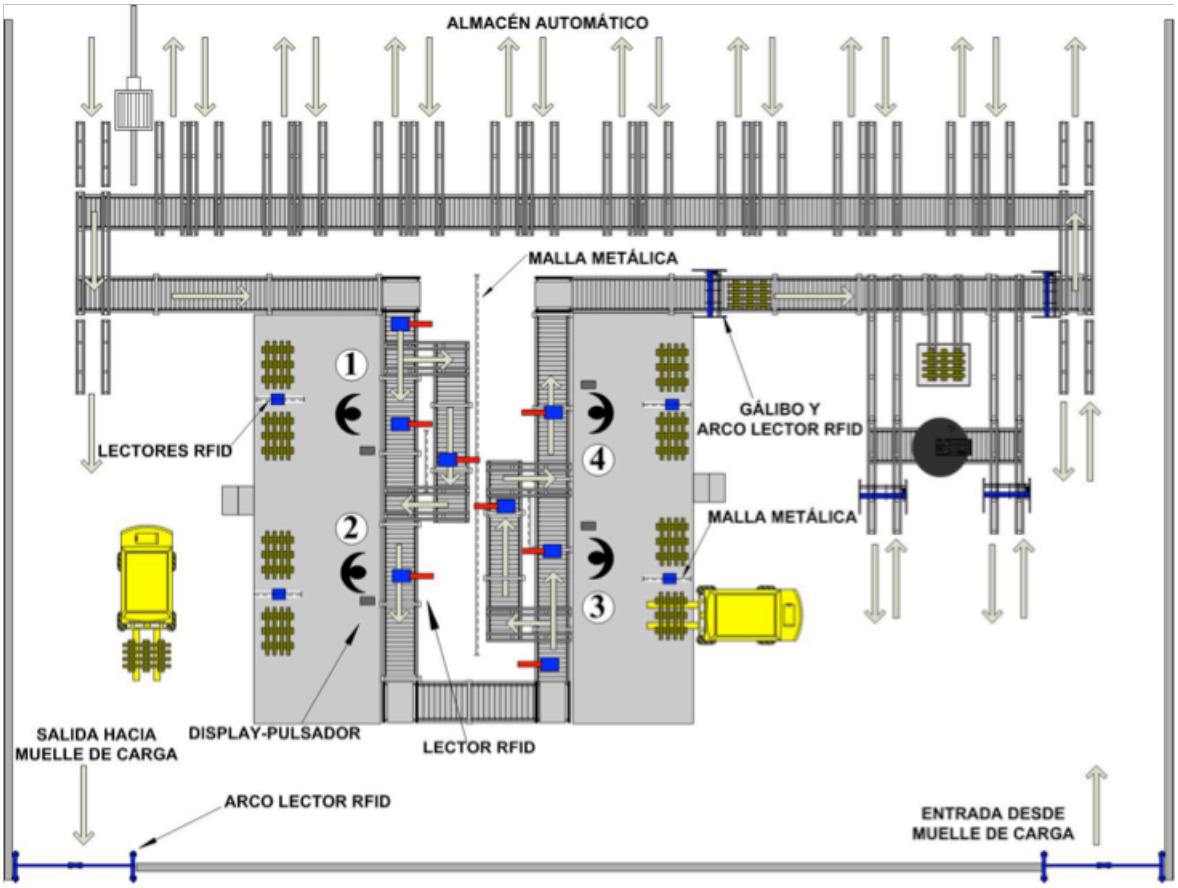


Figura 5.7: Configuración en U con cuatro puestos de trabajo

5.2.2.2 – Propuesta 2: Configuración en U con cuatro estaciones de trabajo

En esta segunda propuesta, se añade una estación de trabajo adicional usando una configuración en U. El esquema de esta propuesta se presenta en la figura 5.7.

Además del recorrido principal, se han añadido dos recorridos secundarios. El primer recorrido, permite el paso de palés a la segunda estación sin necesidad de pasar por la primera. El segundo recorrido alternativo permite enviar palés desde la segunda estación hasta la cuarta, evitando el paso por la tercera.

Realizando este diseño, es posible reducir las colas de las estaciones uno y tres, pero no en las estaciones dos y cuatro. No ha podido añadirse un camino alternativo a estas dos estaciones por motivos de espacio en la planta. Este reducido espacio es propiciado por el espacio de trabajo necesario para que circulen las carretillas elevadoras.

5.2.2.3 – Propuesta 3: Configuración lineal-U con siete estaciones de trabajo

Esta última propuesta es una combinación de las dos propuestas anteriores. Intenta adquirir las ventajas que nos proporcionan ambas propuestas.

La configuración en línea es más flexible en cuanto a caminos alternativos pero, debido al espacio utilizado, únicamente se pueden poner tres estaciones de trabajo. Por el contrario, en la segunda propuesta es posible añadir una estación de trabajo adicional pero, como se ha comentado en el apartado anterior, no se pueden añadir caminos alternativos por problemas de espacio.

La última alternativa, la cual se muestra en la figura 5.8, combina las dos primeras propuestas. Para ello, se ha rediseñado la parte donde se encuentra la enfarfadora. De este modo, se aprovecha mejor el espacio de la estación. El único problema que presenta esta alternativa se puede dar en el nuevo diseño de la enfarfadora ya que, cuando un palé no requiere el paso por ella, éste pasa por la entrada secundaria del almacén y puede provocar que se produzcan colas en la zona de la enfarfadora.

Si se utiliza este diseño de *picking*, los pedidos refrigerados pasarían por las estaciones uno, dos y siete. Gracias a esto se reducirían los tiempos de exposición a temperatura ambiente y sería más complicado que se rompiese la cadena de frío.

Aumentar el número de puestos de trabajo en este tipo de instalaciones, ayuda a reducir las colas en cada estación. A la hora del diseño de esta configuración, se pensó en añadir más estaciones entre la dos y la tres, y entre la seis y la siete. Esta idea se desestimó debido a la inaccesibilidad de las carretillas para extraer los palés.

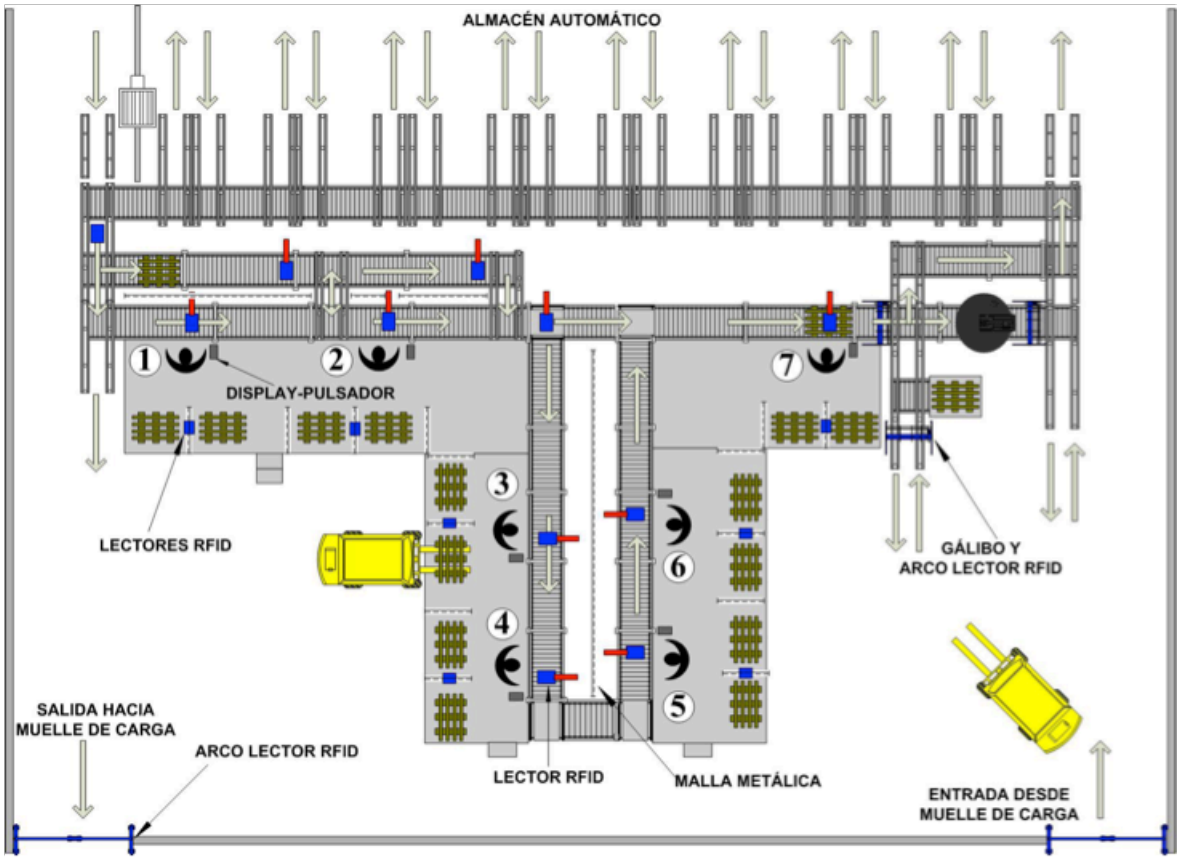


Figura 5.8: Configuración combinada lineal-U con siete puestos de trabajo

5.2.2.4 – Simulación de las propuestas mediante el software Arena 9.0

Arena 9.0, es un software de simulación de eventos discretos que ayuda a predecir el impacto de las nuevas ideas y estrategias de las empresas antes de implementarlas, sin poner en riesgo el nivel de servicio. Gracias a estas simulaciones, se obtendrá una aproximación del tiempo empleado en la elaboración de palés de *picking* para cada una de las propuestas.

Para la realización de las simulaciones, se ha fijado el mismo escenario de trabajo (número y tipo de palés, frecuencia de entrada desde el almacén, tiempos de *picking*, necesidad de enfardar los palés, etc.). En el Anexo IV se adjuntan las características del escenario fijado, los diagramas de bloques de la simulación y las tablas de resultados obtenidas por el simulador.

Analizando los resultados de la primera propuesta, obtenemos los siguientes datos:

- Obtenemos un tiempo de 1 hora, 2 minutos y 10 segundos.
- Los niveles de cola no exceden en ningún momento las tres unidades.
- No se rompería la cadena de frío de los productos en ningún caso.
- No parece cola de espera en la enfarfadora.

Los resultados de la segunda propuesta con configuración en U son:

- El tiempo de ejecución es de 1 hora, 3 minutos y 31 segundos.
- Los niveles de cola tampoco superan las tres unidades, pero son algo superiores a los de la primera propuesta.
- Tampoco rompe la cadena de frío con este diseño.
- Aparece cola de espera en la enfarfadora.

Para la última propuesta, se obtienen los siguientes resultados:

- El tiempo de proceso es de 1 hora, 4 minutos y 30 segundos.
- Los niveles de cola no son elevados, pero siempre existen palés en espera.
- Destaca el elevado número de palés en la cola de la estación de trabajo siete.
- No se rompe tampoco la cadena de frío.

La conclusión a la que se llega después de las simulaciones es que al aumentar el número de puestos de trabajo hace que se incremente el tiempo de procesamiento en la zona de *picking*. En definitiva, la propuesta más adecuada en este caso sería la primera ya que, con ella, se consigue el menor tiempo además de ser la más sencilla y la que menos puestos de trabajo necesita.

5.2.3 – Control y gestión de los transelevadores

Como se ha comentado en el apartado de problemática, existen dos tipos de causas por las que los transelevadores quedan bloqueados.

La primera hace referencia a la conservación y el mal estado de los palés. Para solucionar esto, lo único que se puede hacer es adquirirlos nuevos o de mejor calidad, para evitar su rápido deterioro. En la actualidad hay una tendencia fuerte a la utilización de pales de plástico en el sector de la alimentación por cuestiones de higiene y menor deterioro.

La segunda causa de bloqueo, era propiciada por el despegue del film protector de las cargas. En este proyecto, se propone el cambio del tipo de sensores que se utilizan. Actualmente, se dispone de cuatro sensores fotoeléctricos que dibujan un cubo imaginario sobre el transelevador. Cuando algún objeto interfiere en el haz de luz, el transelevador se detiene porque, es de suponer, que el palé no está colocado correctamente. Usando sensores capacitivos selectivos, sería posible evitar este problema.

Los sensores capacitivos son capaces de detectar variaciones de capacidad cuando penetra un objeto en el campo eléctrico existente entre ellos. Esto se debe a la variación de la permitividad relativa que existe entre las placas. El sensor sería capaz de distinguir las situaciones en la que un palé se encuentra mal colocado y las que, simplemente, existe un plástico entre medias o está bien colocado.

Analizando la permitividad relativa de los distintos materiales, podemos llegar a varias conclusiones:

Palé correcto		Palé incorrecto	
Material	**Permitividad (pF/m)**	**Material**	**Permitividad (pF/m)**
Aire	8.84	Agua	707
Plástico	30 - 40	Madera	10 - 60
Cartón	49.5		

Tabla 5.1: Permitividad relativa de los materiales en un palé cargado

Cuando el film interfiere en uno de los sensores, la capacidad varía muy poco y se asemeja a la del aire. Esto es debido a que el plástico representa una pequeña parte del volumen. En el caso de que el palé esté mal colocado, la permitividad será ligeramente inferior a la del agua.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, la diferencia de permitividades en los dos casos es considerable, por lo que se supone que la propuesta es viable.

Otro aspecto que podría mejorarse en este campo, es el sistema de gestión en los transelevadores. En el Apartado 5.1.5 se comentaron las repercusiones del bloqueo de uno de estos sistemas de manipulación. Cuando esto ocurre, los pedidos que involucran al transelevador bloqueado, quedan detenidos a la espera de su restablecimiento. Esto conlleva retrasos en la salida de los pedidos. Este problema puede solucionarse mediante una modificación del sistema de gestión del centro.

La modificación de dicho sistema de gestión consistiría en redireccionar los pedidos del almacén automático. De este modo, todos los pedidos que le corresponden al transelevador bloqueado, se repartirán entre los demás. Usando este sistema, es posible formar pedidos completos, aunque uno de los transelevadores esté fuera de servicio.

6 – CONCLUSIONES

En este apartado se presentan, a modo de resumen, las conclusiones del Proyecto Fin de Carrera, los resultados y aportaciones obtenidos durante el desarrollo del mismo. Además, se sugieren algunas posibles líneas de trabajo a seguir en proyectos futuros.

6.1 – Aportaciones

El trabajo más importante realizado para este Proyecto ha sido el diseño, desarrollo del interfaz y puesta en marcha de un centro de distribución automatizado bajo unas determinadas especificaciones.

Para la realización de este proyecto, se ha tenido que realizar un estudio de Centros de Distribución Automatizados, para saber qué problemas podemos encontrarnos y cómo mejorar y hacer más eficientes estos centros. También se ha abordado un estudio sobre los distintos sistemas de identificación de objetos que podemos encontrarnos actualmente, sobre todo códigos de barras y RFID ya que Bokode todavía es una tecnología poco desarrollada, y decantarnos por uno u otro valorando los pros y los contras que nos ofrecían. Al final se decidió por el sistema RFID, mucho más flexible que los códigos de barras.

La tecnología RFID introduce una gran flexibilidad a la hora de indentificar objetos en comparación con el código de barras. Además, la capacidad de realizar múltiples lecturas, la no necesidad de adherir la etiqueta en un lugar visible, la identificación única de cada elemento, la gran capacidad de almacenamiento, etc. son argumentos que la diferencian de los métodos empleados hasta ahora. La introducción de esta tecnología no sólo modifica el modo de identificar los distintos objetos, sino que también hace posible realizar simplificaciones en los centros de distribución.

A la hora de realizar la comunicación entre el interfaz desarrollado en Java y Grasp10, nos encontramos con el problema de cómo podríamos hacer que se entendiesen entre ellos. Se utilizó una comunicación clásica que consiste en el uso de sockets, para que pudieran intercambiarse instrucciones y datos entre ellos. La comunicación se realizó de tal forma que el interfaz Java puede estar situado en un equipo y el simulador Grasp10 en otro distinto, ya que se puede indicar una dirección Ip para que se produzca dicha conexión. Desde el interfaz Java se le envían a Grasp10 cadenas de caracteres que se generan de acuerdo a las diferentes opciones disponibles en el interfaz, que le indican las acciones a llevar a cabo en cada momento. La comunicación de Grasp10 con el interfaz Java es similar, enviándole información de, por ejemplo, el punto en el que se encuentra un palé, mediante una cadena de caracteres, que es mostrada al usuario en los distintos *displays* disponibles en las pestañas del interfaz.

En conclusión, el desarrollo de este proyecto final de carrera ha aportado un conocimiento más extenso de los centros de distribución automatizados, así como en tecnologías de identificación de objetos, adquisición de nuevos conocimientos en temas de simulación por ordenador y desarrollo de interfaces en Java para controlar dichas simulaciones de forma sencilla e intuitiva.

6.2 – Futuras líneas de trabajo

Este proyecto abre un abanico de conocimiento y posibilidades de estudio bastante importante, ya que en él se tratan varios temas novedosos que invitan a la realización de trabajos de distinta índole temática.

Algunas de las posibles líneas de trabajo son:

- Ampliar las funcionalidades del interfaz Java, por ejemplo, para que apareciese un icono en los puntos de decisión, que nos indicase que en ese punto existe un palé que tiene que ser tratado para que pueda continuar.
- Completar el interfaz Java para poder controlar también el robot de la plataforma física de un modo manual.
- Programación de los PLCs para el diseño de sistemas de gestión de almacén utilizando las simulaciones programadas.
- Estudio de técnicas de gestión de almacenes complejos, como pueden ser las técnicas basadas en agentes.
- Estudio de la repercusión económica de la implantación de un sistema integral de seguimiento de productos propuesto mediante herramientas de pronosticación y modelos econométricos, que reflejen cuantitativamente la mejora llevada a cabo.

7 – BIBLIOGRAFÍA

Libros

[1] Alexandres, S.; Rodríguez-Morcillo, C.; Muñoz, J.D.; (2006). "*RFID: La tecnología de identification por radiofrecuencia*". Universidad Pontificia Comillas, Madrid.

[2] Amuchastegui, C.; Ayuso, N.; Alvarez, G.; Vicario, L.; Pico, J.; Gerendiain, A.; (2005). "Sistema de Identificación remota y cronometraje basado en Lógica reconfigurable". UPV/EHU.

[3] Antonio Barrientos, Luis Felipe Peñín; (1998). *"Automatización de la fabricación: autómatas, actuadores, transductores"*. Universidad Politécnica de Madrid.

[4] Auto-ID Centre Whitepaper; (2002). "*La Nueva Red*".

[5] Engels, D.W.; (2005). "*On Ghosts Reads in RFID Systems*". Auto-ID Labs White Pa pers.

[6] European Technology Assessment Group, (2007). "*RFID and Identity Management in Everyday Life*". European Parliament. Scientific Technology Options Assessment, STOA.

[7] Gómez Uranga, Mikel; (1986). "*La automatización : economía y trabajo"*. Servicio Editorial Universidad del Pais Vasco, D.L (Bilbao).

[8] Grajeda Aldana, L; (1981). "*Desarrollo de Sistemas de Manejo Materiales*". Univ. San Carlos de Guatemala.

[9] Hodges, S.; Thorne, A.; Garcia, A.; Chirn, J.L.; Harrison, M.; McFarlane, D.; (2002). *"Auto-ID based control demonstration. Phase 1: Pick and Place parking with conventional control"*.

[10] Juels, A.; (2005). "Strengthening EPC Tags Against Cloning". Workshop on Wireless Security. Proceedings of the 4th ACM Workshop on Wireless Security. Pp. 64-76. Cologne, Germany.

[11] Kelton, W.D.; Sadowski, R.P.; Sadoski, D.A.; (2001). "*Simulation with Arena*". Second Edition. McGraw-Hill Higher Education.

[12] McFarlane, D.C., and Bussmann, S.; (2000). "*Developments in Holonic Production Planning and Control. Production Planning and Control"*.

[13] McFarlane, D.C., Kollingbaum, M., Matson, J., and Valckenaers, P.; (2001). Development of Algorithms for Agent-Based Control of Manufacturing Flow Shops. "*Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics",* Tuscon.

[14] Moraleda, J.; García, A.; Carnero, M.C.; (2003). "*La Tecnología de Identificación de Objetos Auto-ID: Hacia la Integración Total de Sistemas Distribuidos*". UCLM.

[15] Piedrafita Moreno, Ramón; (1999). " *Ingeniería de la automatización industrial"*. Rama, Madrid.

[16] Sabriá, F.; (2006). "*Nuevas tendencias en la gestión de compras y la logística*". IESE Business School. Barcelona. Octubre.

[17] Seong, K.; Ng, M.L.; Cole, P.H.; (2006). "*Operational Considerations in Simulation and Deployment of RFID Systems*" Auto-ID Lab Adelaide, School of Electrical & Electronic Engineering University of Adelaide, Australia.

[18] Suda, H. (1989). "*Future Factory Systems Formulated in Japan*". Techno Japan, Vol. 22, pp. 15 – 25.

[19] R. A. Brooks. Elephants don't play chess. In P. Maes, editor; (1990). "*Designing Autonomous Agents"*. The MIT Press: Cambridge, MA.

[20] Roux, Michel. Gestión 2000; (1997). "*Manual de logística para la gestión de almacenes"*.

[21] Tichy, P., Slechta, P., and Maturana, F.; (2001). Job Description Language (JDL), "*Technical Report of Rockwell Automation"*.

[22] Valckenaers, P.; Van Brussel, H; (1994). "*Theoretical Foundations for Preserving Flexibility in Manufacturing*". Advanced Summer Institute '94 in Computer Integrated Manufacturing & Industrial Automation (CIMIA). University of Patras, Greece.

[23] Wooldridge, M.; (2001) " Intelligent Agents: The Key Concepts".

[24] Zaharudin, A.A.; Wong, C.Y; Agarwal, V.; McFarlane, D.; Kang, Y.Y.; (2002). "*The intelligent product driven supply chain*".

[25] Schildt, H. "*Java 2. Manual de Referencia*". Ed. McGraw-Hill.

[26] Eckel B. "*Piensa en Java*". Ed. Pearson.

[27] Sánchéz Allende J. y Otros. "*Java 2*". Ed. McGraw-Hill.

[28] Joyanes Aguilar L. "*Programación en Java 2*". Ed. McGraw-Hill.

[29] Stallings, W. "*Comunicaciones y Redes de Computadoras*", 7ª Edición, Madrid, 2004.

Páginas Web

[1] AECOC: http://www.aecoc.es/

[2] Auto-ID Labs: http://www.autoidlabs.org/

[3] Arena 9.0: http://www.arenasimulation.com

[5] Grupo Autolog. http://autolog.uclm.es/

[6] ByG Simulation: http://www.bygsimulation.com/

[7] Bokode:

- http://web.media.mit.edu/~ankit/Bokode/,
- http://www.elmundo.es/elmundo/2009/07/27/ciencia/1248717567.html y
- http://scripts.mit.edu/~raskar/Bokode/index.php?title=Main_Page

[8] Eclipse: http://www.eclipse.org

[9] EPC Global: http://www.epcglobalinc.org/home

[10] IBM: http://www.ibm.com

[11] Jigloo GUI Builder: http://www.cloudgarden.com/jigloo/

[12] Kom International: http://www.komintl.com/

[13] Material Handling Industry of America: http://www.mhia.org/

[14] MIT: http://web.mit.edu/

[15] Profibus: http://www.automation.siemens.com/net/html_78/produkte/020_produkte.htm

[16] Rockwell Automation: http://www.rockwellautomation.com/

[17] SIMATIC: http://www.automation.siemens.com/simatic/portal/index_78.htm

[18] Simatics S7-300: http://www.automation.siemens.com/net/html_78/produkte/040_simatic_s7_300.htm

[19] Sockets: http://es.tldp.org/Universitarios/seminario-2-sockets.html

[20] Sun Microsystems: http://es.sun.com/

Nota: Todas las páginas web aquí citadas están operativas a fecha de 7 de Noviembre de 2010.

8 – ANEXOS

Anexo I: Obtención de tiempos promedios en las operaciones características de los centros de distribución.

I.1: Características de las impresoras de código de barras

TABLA DE IMPRESORAS		TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN	RESOLUCIÓN	VELOCIDAD MÁXIMA DE IMPRESIÓN	PESO	ANCHO MÁXIMO DE ETIQUETA	ANCHO MÍNIMO DE ETIQUETA	TIEMPO DE IMPRESIÓN DE UNA ETIQUETA	TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE LA IMPRESORA
	Intermec Value Printers	EasyCoder C4 4"	TD/TT	8 puntos/mm	75 mm/s	2.3 kg	118 mm	25 mm	5 seg	30 seg
	Intermec Value Printers	EasyCoder 7421 4"	TD/TT	8 puntos/mm	50 mm/s	2 kg	118 mm	28 mm	6 seg	30 seg
	Intermec Value Printers	EasyCoder E4 4"	TD/TT	8 puntos/mm	150 mm/s	4.7 kg	114 mm	25 mm	4 seg	30 seg
	Intermec Performance Printers	EasyCoder F2 2"	TD	8 puntos/mm	200 mm/s	5.5 kg	60 mm	25 mm	3.5 seg	30 seg
	Intermec Performance Printers	EasyCoder F4 4"	TD/TT	8 puntos/mm	200 mm/s	7 kg	114 mm	25 mm	3.5 seg	30 seg
	Intermec Performance Printers	EasyCoder 3400 4"	TD/TT	8 puntos/mm	150 mm/s	15.8 kg	114 mm	19.1 mm	4 seg	30 seg
	Intermec Performance Printers	EasyCoder 501 4"	TD/TT	8 ó 12 puntos/mm	200 mm/s	15 kg	120 mm	25 mm	3.5 seg	20 seg
	Intermec Performance Printers	EasyCoder 501XP 4"	TD/TT	12 puntos/mm	300 mm/s	13 kg	120 mm	25 mm	2 seg	20 seg
	Intermec Performance Printers	EasyCoder 4420 4"	TD/TT	8 puntos/mm	200 mm/s	19.5 kg	114 mm	19 mm	3.5 seg	20 seg
	Intermec Performance Printers	EasyCoder 601XP 6"	TD/TT	12 puntos/mm	225 mm/s	15 kg	168 mm	76 mm	3 seg	10 seg
	Intermec Performance Printers	EasyCoder 360 6"	TD/TT	8 puntos/mm	125 mm/s	20.3 kg	170 mm	79 mm	4.5 seg	10 seg
	Intermec Performance Printers	EasyCoder 4830 8"	TD/TT	12 puntos/mm	125 mm/s	29.5 kg	228 mm	76 mm	4.5 seg	10 seg
	Intermec Purpose Printers	EasyCoder 3240 PPrint	TD/TT	16 puntos/mm	100 mm/s	14.5 kg	71 mm	13 mm	4.5 seg	10 seg
	Intermec Purpose Printers	EasyCoder 3400E 400dpi	TD/TT	16 puntos/mm	200 mm/s	15.8 kg	114 mm	19.1 mm	3.5 seg	10 seg
	Intermec Purpose Printers	EasyCoder 4440 400dpi	TD/TT	16 puntos/mm	200 mm/s	19.3 kg	114 mm	19 mm	3.5 seg	10 seg
	Intermec Purpose Printers	EasyCoder E4LL LinerLess	TD	8 puntos/mm	150 mm/s	4.7 kg	114 mm	25 mm	4 seg	10 seg
	Intermec Purpose Printers	ColorCoder V4 Color	Injección de tinta	14 puntos/mm	150 mm/s	29 kg	102 mm	51 mm	4 seg	30 seg
		Kyocera FS-1800+	TT	-	75 mm/s	-	-	-	19	16 seg
		Kyocera FS-1900	TT	-	125 mm/s	-	-	-	9.5 seg	16 seg
		Kyocera FS-3800	TT	-	200 mm/s	-	-	-	9 seg	16 seg
		Kroy K2500	TT	-	150 mm/s	-	-	-	4 seg	15 seg
		Kroy K3000 PC	TT	-	200 mm/s	-	-	-	3.5 seg	13 seg
		Kroy K4350 PC	TT	-	300 mm/s	-	-	-	2 seg	10 seg
		Kyocera mita FS-9100 DN	Injección térmica de tinta	-	200 mm/s	-	-	-	8 seg	60 seg

Esta tabla refleja una pequeña muestra de las características de las impresoras de códigos de barras actuales. Aunque es una aproximación, se puede considerar que los valores obtenidos son realistas:

- Tiempo medio de calentamiento de una impresora de código de barras industrial:

$$t_{calentamiento\ medio\ impresora} = \frac{\sum t^{i}_{calentamiento}}{\text{Número de Impresoras}} = 19\ seg$$

- Tiempo medio de impresión de la primera etiqueta en una impresora de código de barras industrial:

$$t_{impresión\ etiqueta\ media} = \frac{\sum t^{i}_{impresión\ primera\ etiqueta}}{\text{Número de Impresoras}} = 5.3\ seg$$

I.2. Velocidad de lectura de los lectores de códigos de barras

Actualmente los lectores de códigos de barras suelen ser capaces de realizar más de cien lecturas por segundo. Este tiempo se considera despreciable frente a otros como pueden ser:

- Reducción de la velocidad de la mesa de rodillos en la que se encuentra el lector de código de barras para la correcta lectura del palé.
- Tiempos de manipulación del operario en la tarea de identificación.

I.3. Valores tomados para el estudio de la planta

- REIMPRESIÓN: 29.3 SEGUNDOS
    - Tiempo promedio de calentamiento impresora: 19 segundos
    - Tiempo promedio de impresión código de barras: 5.3 segundos
    - Tiempo promedio de reacción del operario. Se debe de contar con los errores del operario encargado de este proceso: ausencias, despistes, etc. Se introduce un tiempo promedio de 5 segundos que engloba todos estos fallos humanos a lo largo de un día.
-
- IDENTIFICACIÓN MEDIANTE CÓDIGO DE BARRAS: 8 SEGUNDOS
    - Tiempo promedio de identificación mediante código de barras: 8 segundos
- IDENTIFICACIÓN MEDIANTE LA TECNOLOGÍA RFID: DESPRECIABLE
    - Tiempo promedio de identificación RFID: 0.5 segundos. Este tiempo es despreciable al ser un de orden menor a los considerados a lo largo de este estudio.

- REACONDICIONAMIENTO: 120 SEGUNDOS
    - Tiempo promedio de reacondicionamiento: 120 segundos. No siempre se reacondicionan los palés nada más sacarlos, sino que es frecuente apilarlos hasta que se realicen las tareas necesarias. Desde un punto de vista global, este tiempo promedia el intervalo necesario para esta operación.
- REORIENTACIÓN: 20 SEGUNDOS
    - Tiempo promedio de reorientación: 15 segundos. Es alto debido a que el operario es el ejecutor de estas acciones. Por lo tanto, se debe asegurar la seguridad del operario mientras que se mueve por la tarima y por los trasportadores o mesas de rodillos. Este margen de seguridad se contabiliza como un incremento de 5 segundos de promedio en la operación.
    - En algunos casos habrá que desalojar el palé de la línea debido a que se necesiten acciones más prolongadas.
- NODOS DE DECISIÓN: DESPRECIABLE
    - Tiempos promedio de decisión del control en los nodos: Despreciable frente a los demás tiempos, al ser de órdenes inferiores a tiempos considerados en este análisis.

Los recursos humanos que se emplean en el PIE son un operario encargado de la mesa de identificación. Cuando hay problemas o fallos coincidentes, siempre se puede echar mano del personal de mantenimiento del almacén y transelevadores, operarios diseminados en diferentes y variadas tareas por la planta, etc.

Anexo II: Estudio de tiempos en el centro de distribución

II.1. Hoja de proceso de la planta con identificación mediante código de barras

Hoja de procesos del punto de identificación de entradas:

	SIMBOLO	ACCIÓN O DECISIÓN	DESCRIPCIÓN	TIEMPO
1		PRODUCCIÓN	PRODUCCIÓN Y ESTACIÓN DE PALETIZADO	X
2			TRANSPORTE MEDIANTE LANZADERA CAMINO DEL ALMACENAMIENTO, PASANDO POR EL PIE, O HACIA LAS PUERTAS DE EMBARQUE	20 SEGUNDOS
3			ESPERA EN DESTINO AGUARDANDO A QUE SE INTRODUZCA EN LOS CONVEYORS HACIA PIE	DESPRECIABLE
4			TRANSPORTE HACIA PIE	16.48 SEGUNDOS
5			BUFFER DE ESPERA DE LA ESTACIÓN PIE	10 SEGUNDOS
6			TRANSPORTE QUE NOS LLEVA HASTA ANTES DE GÁLIBO Y EL PUNTO DE IDENTIFICACIÓN DE ENTRADA	3.77 SEGUNDOS
	ESTACIÓN PIE O PUNTO DE IDENTIFICACIÓN DE ENTRADAS			
7			ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
8		GÁLIBO	INSPECCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y ORIENTACIÓN DEL PALÉ QUE LO ATRAVIESA MEDIANTE LA INSTRUMENTACIÓN ADECUADA	DESPRECIABLE
9			TRANSPORTE HACIA EL PUNTO DE IDENTIFICACIÓN DE ENTRADAS	17.38 SEGUNDOS
10			BUFFER DEL PUNTO DE IDENTIFICACIÓN DE ENTRADAS	10 SEGUNDOS
11		PIE	PUNTO DÓNDE SE IDENTIFICAN LOS PALÉS A ALMACENAR	8 SEGUNDOS
	CRUCE EN LA ESTACIÓN PIE - CAMINO DEL ALMACÉN			
12			BUFFER DE ESPERA DEL ALMACÉN	15 SEGUNDOS
13			TRANSPORTE MEDIANTE TRANSELEVADORES POR ENTRE EL ALMACÉN AUTOMÁTICO HASTA LA POSICIÓN DE ALMACENAMIENTO	15 SEGUNDOS
14		ALMACÉN	ALMACENAMIENTO DEL PALÉ	5 SEGUNDOS
	CRUCE EN LA ESTACIÓN PIE- CAMINO DE RECIRCULACIÓN PARA EL REETIQUETADO O REORIENTACIÓN			
15			BUFFER DE ESPERA DEL REETIQUETADO Y/O REORIENTACIÓN	2 SEGUNDOS
16			TRANSPORTE HASTA LOS PUESTOS DE REETIQUETADO Y REORIENTACIÓN	25.66 SEGUNDOS
17		REETIQUETADO REORIENTACIÓN	ACCIÓN DE ORIENTAR ADECUADAMENTE EL PALÉ O REETIQUETARLO CORRECTAMENTE	20 SEGUNDOS 35 SEGUNDOS
18			ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
	CRUCE EN LA ESTACIÓN PIE- CAMINO DE RECIRCULACIÓN PARA EL REACONDICIONAMIENTO			
19			ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
20			ESPERA HASTA QUE LA CARRETILLA ESTÉ LISTA PARA EL DESPLAZAMIENTO	5 SEGUNDOS
21			TRANSPORTE POR CARRETILLA HASTA LA OPERACIÓN REQUERIDA	15 SEGUNDOS
22		REACONDICIONAMIENTO	ACCIÓN DE SUSTITUIR O REPARAR UN PALÉ DAÑADO ESTRUCTURALMENTE	120 SEGUNDOS
23			ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE

Tiempo total del ciclo en el punto de identificación de entradas usando la identificación mediante códigos de barras: 343.29 segundos

Hoja de procesos de la estación picking:

	SIMBOLO	ACCIÓN O DECISIÓN	DESCRIPCIÓN	TIEMPO
1	▼	ALMACÉN	ALMACENAMIENTO DEL PALÉ	5 SEGUNDOS
2	→		TRANSPORTE HASTA LA SALIDA HACIA PICKING	15 SEGUNDOS
3	▭		ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
4	■	ENTRADA A PICKING	DECISIÓN EN FUNCIÓN A SI SE NOS PIDE UN PALLET HOMOGÉNEO O HETEROGÉNEO	DESPRECIABLE
	DECISIÓN EN LA ESTACIÓN PICKING - PALÉ HOMOGÉNEO			
5	▭		ESPERA HASTA QUE LA CARRETILLA ESTÉ LISTA PARA EL DESPLAZAMIENTO	10 SEGUNDOS
6	→		TRANSPORTE POR CARRETILLA HASTA LA ENTRADA HACIA LAS PUERTAS DE EMBARQUE	9.18 SEGUNDOS
	DECISIÓN EN LA ESTACIÓN PICKING - PALÉ HETEROGÉNEO			
7	▭		ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
8	→		TRANSPORTE HACIA LOS PUESTOS DE PICKING	4.59 SEGUNDOS
9	●	PICKING	ACCIÓN DE EMPAQUETAMIENTO SELECTIVO DE ACORDE AL PEDIDO RECIBIDO	50.79 SEGUNDOS
10	■	GÁLIBO	INSPECCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y ORIENTACIÓN DEL PALÉ QUE LO ATRAVIESA MEDIANTE LA INSTRUMENTACIÓN PERTINENTE	DESPRECIABLE
	CRUCE EN LA ESTACIÓN PICKING - GÁLIBO INCORRECTO: REORIENTACIÓN			
11	▭		ESPERA HASTA QUE LA CERRETILLA ESTÉ LISTA PARA EL DESPLAZAMIENTO	8.24 SEGUNDOS
12	→		TRANSPORTE POR CARRETILLA HASTA LA OPERACIÓN REQUERIDA	22.05 SEGUNDOS
13	●	REORIENTACIÓN	ACCIÓN DE REORIENTAR ADECUADAMENTE EL PALÉ	20 SEGUNDOS
14	▭		ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
	CRUCE EN LA ESTACIÓN PICKING - GÁLIBO CORRECTO			
15	→		TRANSPORTE HASTA EL SIGUIENTE NODO DE DECISIÓN	7.95 SEGUNDOS
	CRUCE EN LA ESTACIÓN PICKING - RETORNO A LA LÍNEA PRINCIPAL DE LA ESTACIÓN DE PICKING			
16	→		TRANSPORTE HASTA EL ELEVADOR	10.98 SEGUNDOS
17	●	ELEVADOR	ACCIÓN DE BAJAR LOS PALLETS DE PICKING HACIA LA ENTRADA DE LA ESTACIÓN PIE AL ALMACÉN	12.70 SEGUNDOS

		CRUCE EN LA ESTACIÓN PICKING - DESTINO ALMACÉN		
18			ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
19		PIE DESDE PICKING	DECISIÓN POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL EN FUNCIÓN DE QUE SE REQUIERA O NO UN PALÉ HOMOGÉNEO EN EL PEDIDO	DESPRECIABLE
20			BUFFER DE ESPERA DEL ALMACÉN	15 SEGUNDOS
21			TRANSPORTE HACIA LOS PUESTOS DE CARGA DEL TRANSELEVADOR CORRESPONDIENTE A LA POSICIÓN ASIGNADA DE ALMACENAMIENTO	15 SEGUNDOS
22		ALMACÉN	ALMACENAMIENTO DEL PALÉ	5 SEGUNDOS
		CRUCE EN LA ESTACIÓN PICKING - DESTINO PUERTAS DE EMBARQUE		
23			TRANSPORTE HACIA LAS PUERTAS DE EMBARQUE	120 SEGUNDOS
24			BUFFER DE ESPERA DE LOS MUELLES DE CARGA	X
25		CARGA DE CAMIONES	ACCIÓN DE CARGAR EL PALÉ EN EL CAMIÓN ASIGNADO POR EL SISTEMA DE CONTROL A LA ORDEN O PEDIDO CORRESPONDIENTE	X

Tiempo total del ciclo en la estación picking usando la identificación mediante códigos de barras: 331.48 segundos

II.2. Hoja de proceso de la planta con identificación mediante RFID

Hoja de procesos del punto de identificación de entradas:

	SIMBOLO	ACCIÓN O DECISIÓN	DESCRIPCIÓN	TIEMPO
1		PRODUCCIÓN	PRODUCCIÓN Y ESTACIÓN DE PALETIZADO	X
2			TRANSPORTE MEDIANTE LANZADERA CAMINO DEL ALMACENAMIENTO, PASANDO POR EL PIE, O HACIA LAS PUERTAS DE EMBARQUE	20 SEGUNDOS
3			ESPERA EN DESTINO AGUARDANDO A QUE SE INTRODUZCA EN LOS CONVEYORS HACIA PIE	DESPRECIABLE
4			TRANSPORTE HACIA PIE	16.48 SEGUNDOS
5			TRANSPORTE QUE NOS LLEVA HASTA ANTES DE GÁLIBO Y EL PUNTO DE IDENTIFICACIÓN DE ENTRADA	3.77 SEGUNDOS
		ESTACIÓN PIE O PUNTO DE IDENTIFICACIÓN DE ENTRADAS		
6			ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
7		GÁLIBO	INSPECCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y ORIENTACIÓN DEL PALÉ QUE LO ATRAVIESA MEDIANTE LA INSTRUMENTACIÓN ADECUADA	DESPRECIABLE
8			TRANSPORTE HACIA EL PUNTO DE IDENTIFICACIÓN DE ENTRADAS	17.38 SEGUNDOS
9		PIE	PUNTO DÓNDE SE IDENTIFICAN LOS PALÉS A ALMACENAR	DESPRECIABLE
		CRUCE EN LA ESTACIÓN PIE- CAMINO DEL ALMACÉN		
10			BUFFER DE ESPERA DEL ALMACÉN	5 SEGUNDOS
11			TRANSPORTE MEDIANTE TRANSELEVADORES POR ENTRE EL ALMACÉN AUTOMÁTICO HASTA LA POSICIÓN DE ALMACENAMIENTO	15 SEGUNDOS
12		ALMACÉN	ALMACENAMIENTO DEL PALÉ	5 SEGUNDOS

		CRUCE EN LA ESTACIÓN PIE - CAMINO DE RECIRCULACIÓN PARA LA REORIENTACIÓN		
13			BUFFER DE ESPERA DE LA REORIENTACIÓN	2 SEGUNDOS
14			TRANSPORTE HASTA LOS PUESTOS DE REORIENTACIÓN	25.86 SEGUNDOS
15		REORIENTACIÓN	ACCIÓN DE ORIENTAR ADECUADAMENTE EL PALÉ	20 SEGUNDOS
16			ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
		CRUCE EN LA ESTACIÓN PIE - CAMINO DE RECIRCULACIÓN PARA EL REACONDICIONAMIENTO		
17			ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
18			ESPERA HASTA QUE LA CARRETILLA ESTÉ LISTA PARA EL DESPLAZAMIENTO	5 SEGUNDOS
19			TRANSPORTE POR CARRETILLA HASTA LA OPERACIÓN REQUERIDA	15 SEGUNDOS
20		REACONDICIO-NAMIENTO	ACCIÓN DE SUSTITUIR O REPARAR UN PALÉ DAÑADO ESTRUCTURALMENTE	120 SEGUNDOS
21			ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE

Tiempo total del ciclo en el punto de identificación de entradas usando la identificación mediante RFID: 270.2 segundos.

Hoja de procesos de la estación picking:

	SIMBOLO	ACCIÓN O DECISIÓN	DESCRIPCIÓN	TIEMPO
			ESTACIÓN PICKING O DE EMPAQUETAMIENTO SELECTIVO	
22		ALMACÉN	ALMACENAMIENTO DEL PALÉ	5 SEGUNDOS
23			TRANSPORTE HASTA LA SALIDA HACIA PICKING	15 SEGUNDOS
24			ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
25		ENTRADA A PICKING	DECISIÓN EN FUNCIÓN A SI SE NOS PIDE UN PALÉ HOMOGÉNEO O HETEROGÉNEO	DESPRECIABLE
			DECISIÓN EN LA ESTACIÓN PICKING - PALÉ HOMOGÉNEO	
26			ESPERA HASTA QUE LA CARRETILLA ESTÉ LISTA PARA EL DESPLAZAMIENTO	10 SEGUNDOS
27			TRANSPORTE POR CARRETILLA HASTA LA ENTRADA HACIA LAS PUERTAS DE EMBARQUE	9.18 SEGUNDOS
			DECISIÓN EN LA ESTACIÓN PICKING - PALÉ HETEROGÉNEO	
28			ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
29			TRANSPORTE HACIA LOS PUESTOS DE PICKING	4.59 SEGUNDOS
30		PICKING	ACCIÓN DE EMPAQUETAMIENTO SELECTIVO DE ACORDE AL PEDIDO RECIBIDO	65.12 SEGUNDOS
31		GÁLIBO	INSPECCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y ORIENTACIÓN DEL PALÉ QUE LO ATRAVIESA MEDIANTE LA INSTRUMENTACIÓN PERTINENTE	DESPRECIABLE
			CRUCE EN LA ESTACIÓN PICKING - GÁLIBO CORRECTO	
32			TRANSPORTE HASTA EL SIGUIENTE NODO DE DECISIÓN	7.95 SEGUNDOS

	CRUCE EN LA ESTACIÓN PICKING - GÁLIBO INCORRECTO: REORIENTACIÓN			
33			ESPERA HASTA QUE LA CERRETILLA ESTÉ LISTA PARA EL DESPLAZAMIENTO	8.24 SEGUNDOS
34			TRANSPORTE POR CARRETILLA HASTA LA OPERACIÓN REQUERIDA	22.05 SEGUNDOS
35		REORIENTACIÓN	ACCIÓN DE REORIENTAR ADECUADAMENTE EL PALÉ	20 SEGUNDOS
36			ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
	CRUCE EN LA ESTACIÓN PICKING - RETORNO A LA LÍNEA PRINCIPAL DE LA ESTACIÓN DE PICKING			
37			TRANSPORTE HASTA EL ELEVADOR	10.98 SEGUNDOS
38		ELEVADOR	ACCIÓN DE BAJAR LOS PALLETS DE PICKING HACIA LA ENTRADA DE LA ESTACIÓN PIE AL ALMACÉN	12.70 SEGUNDOS
	CRUCE EN LA ESTACIÓN PICKING - DESTINO ALMACÉN			
39			ESPERA DEPENDIENTE DE LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL	DESPRECIABLE
40		PIE DESDE PICKING	DECISIÓN POR PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL EN FUNCIÓN DE QUE SE REQUIERA O NO UN PALLET HOMOGÉNEO EN EL PEDIDO	DESPRECIABLE
41			BUFFER DE ESPERA DEL ALMACÉN	5 SEGUNDOS
42			TRANSPORTE HACIA LOS PUESTOS DE CARGA DEL TRANSELEVADOR CORRESPONDIENTE A LA POSICIÓN ASIGNADA DE ALMACENAMIENTO	15 SEGUNDOS
43		ALMACÉN	ALMACENAMIENTO DEL PALÉ	5 SEGUNDOS
	SIMBOLO	ACCIÓN O DECISIÓN	DESCRIPCIÓN	TIEMPO
	CRUCE EN LA ESTACIÓN PICKING - DESTINO PUERTAS DE EMBARQUE			
44			TRANSPORTE HACIA LAS PUERTAS DE EMBARQUE	120 SEGUNDOS
45			BUFFER DE ESPERA DE LOS MUELLES DE CARGA	X
46		CARGA DE CAMIONES	ACCIÓN DE CARGAR EL PALÉ EN EL CAMIÓN ASIGNADO POR EL SISTEMA DE CONTROL A LA ORDEN O PEDIDO CORRESPONDIENTE	X

Tiempo total del ciclo en la estación picking usando la identificación mediante RFID: 330.81 segundos.

LEYENDA			
	Espera		Almacén
	Transporte / Desplazamiento		Acción
	Decisión	0	Número de Operación

Anexo III: Simulación de las propuestas de picking mediante Arena 9.0

III.1: Características del escenario fijado para la simulación

A continuación se fija el escenario común para las tres simulaciones llevadas a cabo mediante Arena9.0:

- Número de palés entrantes en la estación picking: 150 unidades.
- Frecuencia de entrada de palés a la estación: 21 segundos.
- Los operarios solo pueden realizar una operación a la vez.
- Tiempo medio de las tareas de picking: 45 segundos
- Tiempo de transporte entre cada estación: en función de la distancia recorrida.
- Porcentaje de palés que necesitan picking: 50%
- Porcentaje de palés que necesitan pasar por la enfardadora: 60%
- Porcentaje de palés que necesitan ser refrigerados: 22.22%
- Tiempos en la identificación de productos: despreciable.

III.2: Diagramas de bloques de la simulación en Arena9.0

Una vez definido el escenario, se confeccionan los diagramas de bloques. En este epígrafe se representan los diagramas correspondientes a las tres simulaciones realizadas:

Diagrama de bloques de la configuración en línea:

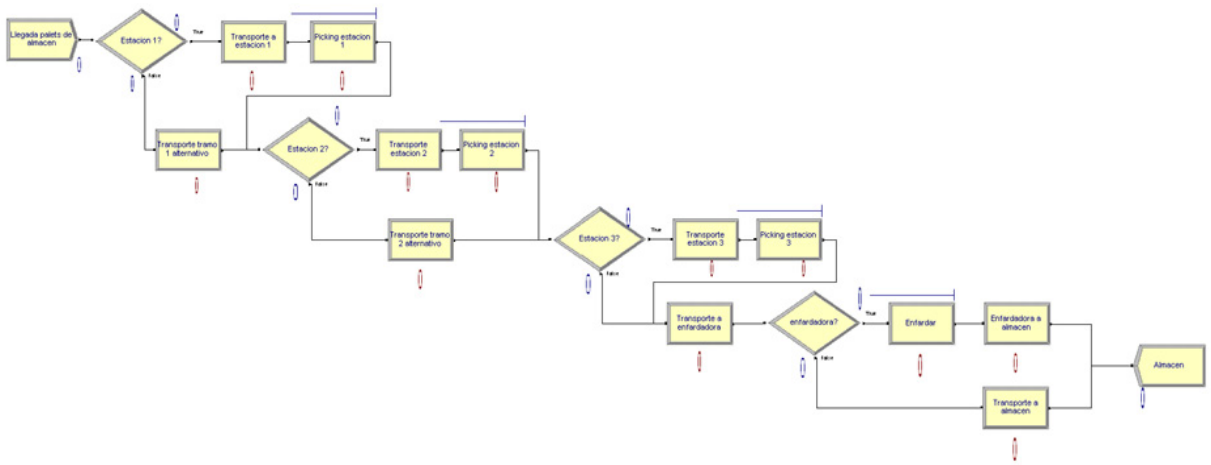


Diagrama de bloques de la configuración U:

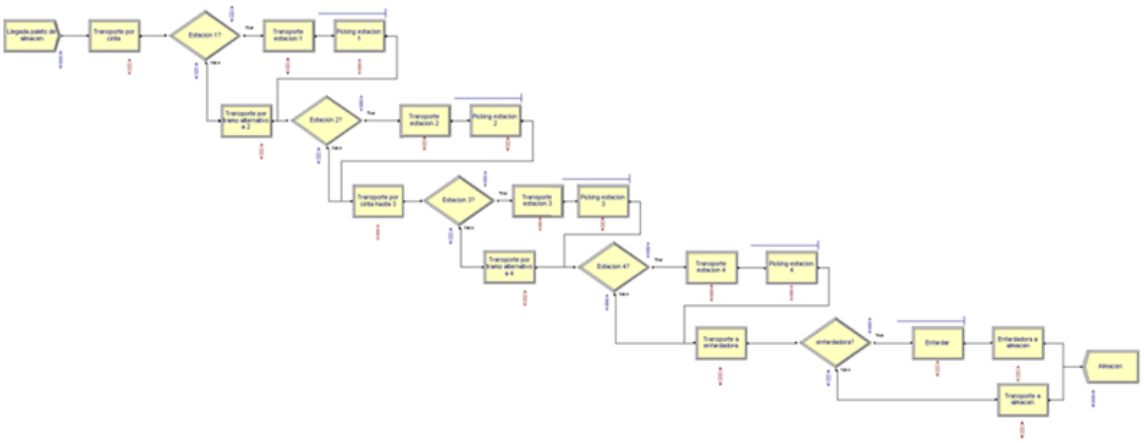
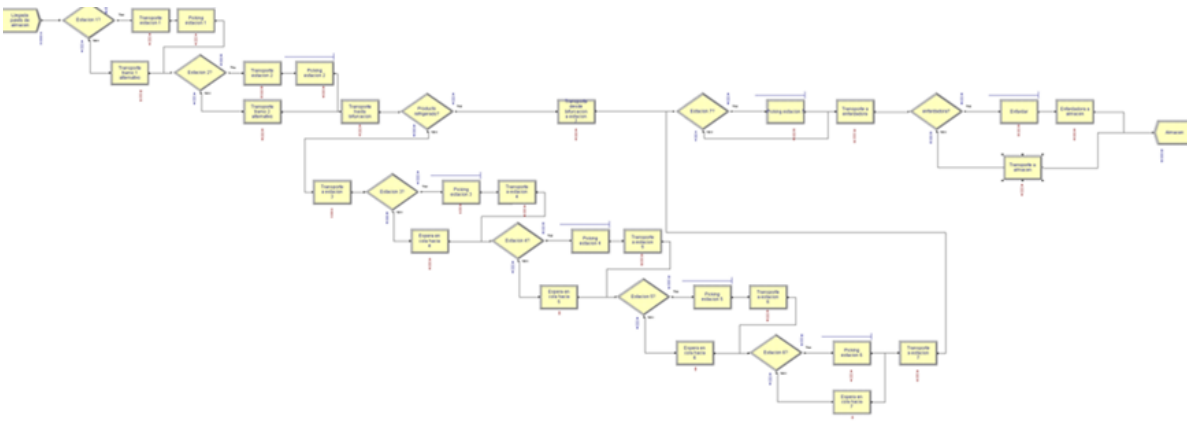


Diagrama de bloques de la configuración líneal-U:



III.3: Tablas de resultados obtenidas de la simulación

Tabla de procesos de la configuración en línea:

Process - Basic Process

	Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum
1	Picking estacion 1	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
2	Picking estacion 2	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
3	Transporte tramo 1 alternativo	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	10	1.5
4	Transporte tramo 2 alternativo	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	8	1.5
5	Picking estacion 3	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
6	Transporte a almacen	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	10	1.5
7	Enfardar	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	25	1.5
8	Enfardadora a almacen	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	12	1.5
9	Transporte a enfardadora	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	5	1.5
10	Transporte a estacion 1	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	10	1.5
11	Transporte estacion 2	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Triangular	Seconds	Value Added	8	9	10
12	Transporte estacion 3	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Triangular	Seconds	Value Added	8	9	10

Niveles de cola en la configuración en línea:

Queue Detail Summary

Time

	Waiting Time
Enfardar.Queue	0.00
Picking estacion 1.Queue	0.03
Picking estacion 2.Queue	0.04
Picking estacion 3.Queue	0.01

Other

	Number Waiting
Enfardar.Queue	0.22
Picking estacion 1.Queue	2.29
Picking estacion 2.Queue	2.72
Picking estacion 3.Queue	0.66

Tabla de procesos de la configuración en U:

Process - Basic Process

	Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum
1	Picking estacion 1	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
2	Picking estacion 2	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
3	Transporte por tramo alternativo a 2	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	10	1.5
4	Transporte por cinta hasta 3	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Uniform	Seconds	Value Added	14	14	74
5	Picking estacion 3	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
6	Transporte a almacen	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	10	1.5
7	Enfardar	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	25	1.5
8	Enfardadora a almacen	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	12	1.5
9	Transporte por cinta	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	12	1.5
10	Transporte por tramo alternativo a 4	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	10	1.5
11	Picking estacion 4	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
12	Transporte a enfardadora	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Uniform	Seconds	Value Added	18	18	68
13	Transporte estacion 1	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	4	1.5
14	Transporte estacion 2	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	5	1.5
15	Transporte estacion 3	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	4	1.5
16	Transporte estacion 4	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Triangular	Seconds	Value Added	5	6	7

Niveles de cola en la configuración en U:

Queue Detail Summary

Time

	Waiting Time
Enfardar.Queue	0.01
Picking estacion 1.Queue	0.03
Picking estacion 2.Queue	0.01
Picking estacion 3.Queue	0.04
Picking estacion 4.Queue	0.01

Other

	Number Waiting
Enfardar.Queue	1.11
Picking estacion 1.Queue	2.43
Picking estacion 2.Queue	0.53
Picking estacion 3.Queue	3.26
Picking estacion 4.Queue	0.48

Tabla de procesos de la configuración líneal-U:

Process - Basic Process

	Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum
1	Picking estacion 1	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
2	Picking estacion 2	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
3	Transporte tramo 1 alternativo	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	10	1.5
4	Transporte tramo 2 alternativo	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	8	1.5
5	Picking estacion 3	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
6	Transporte a almacen	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	8	1.5
7	Enfardar	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	25	1.5
8	Enfardadora a almacen	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	4	1.5
9	Transporte a estacion 4	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	4	1.5
10	Picking estacion 4	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
11	Transporte a enfardadora	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	3	1.5
12	Transporte desde bifurcacion a estacion 7	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Triangular	Seconds	Value Added	9	10	10.1
13	Transporte a estacion 3	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	8	1.5
14	Transporte a estacion 5	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	8	1.5
15	Picking estacion 5	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
16	Transporte a estacion 6	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	4	1.5
17	Picking estacion 7	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
18	Picking estacion 6	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Triangular	Seconds	Value Added	15	45	60
19	Transporte a estacion 7	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	14	1.5
20	Transporte estacion 1	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Constant	Seconds	Value Added	.5	8	1.5
21	Transporte estacion 2	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Triangular	Seconds	Value Added	6	7	8
22	Transporte hasta bifurcacion	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Uniform	Seconds	Value Added	2	1	4
23	Espera en cola hacia 4	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Uniform	Seconds	Value Added	50	1	120
24	Espera en cola hacia 5	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Uniform	Seconds	Value Added	50	1	120
25	Espera en cola hacia 6	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Uniform	Seconds	Value Added	50	1	120
26	Espera en cola hacia 7	Standard	Delay	Medium(2)	0 rows	Uniform	Seconds	Value Added	50	1	120

Niveles de cola en la configuración líneal-U:

Time

	Waiting Time
Enfardar.Queue	0.00
Picking estacion 1.Queue	0.04
Picking estacion 2.Queue	0.02
Picking estacion 3.Queue	0.01
Picking estacion 4.Queue	0.01
Picking estacion 5.Queue	0.01
Picking estacion 6.Queue	0.00
Picking estacion 7.Queue	0.10

Other

	Number Waiting
Enfardar.Queue	0.20
Picking estacion 1.Queue	2.45
Picking estacion 2.Queue	1.42
Picking estacion 3.Queue	0.85
Picking estacion 4.Queue	0.55
Picking estacion 5.Queue	0.63
Picking estacion 6.Queue	0.25
Picking estacion 7.Queue	7.59