

DISEÑO Y CONTROL DEL SISTEMA DE MANIPULACIÓN DE UN ALMACÉN AUTOMÁTICO

F. J. Maldonado Vega, J.R. Llata García, E. González Sarabia, J. Pérez Oria
Departamento de Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática
E. T. S. de Ingenieros Industriales y Telecomunicación, Universidad de Cantabria
Avda. Los Castros s/n, 39005, Santander, Cantabria.
javimaldonado@navegalia.com ;[llata,esther,oria]@teisa.unican.es

Resumen

Este artículo trata el estudio necesario para realizar el diseño y control de un almacén automático de productos embalados en forma de palets. Dicho estudio abarca desde la elección de la geometría del almacén, hasta el diseño del sistema de control encargado del manejo de toda la instalación.

Palabras Clave: Almacén, transelevador, transportador, red industrial, sensores y actuadores, sistema de control y PLC's.

1. INTRODUCCIÓN

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 desarrolla este almacén pueden englobarse en dos, el almacenaje propiamente dicho y el manejo de cargas.

Por lo tanto, los objetivos a cumplir por toda función de almacenaje deben ser maximizar el espacio disponible para almacenar y minimizar las operaciones de manejo de materiales.

Para conseguir este fin, se ha desarrollado un creciente apoyo tecnológico a las actividades de almacenaje a partir del empleo de equipos cada vez más sofisticados tanto de almacenaje como de manipulación de materiales y unos sistemas de control basados en computador que facilitan la gestión global del sistema.

Estas mejoras desarrolladas, permiten conseguir eficacia en las actividades de almacenaje que de otra forma no sería posibles. Sin embargo esto no debe llevar a la confusión que a medida que mejoran las técnicas se pueda ir almacenando más cantidad por el mismo coste.

2. ESTUDIO PARA EL DISEÑO DE UN ALMACÉN AUTOMÁTICO

El organigrama para llevar a cabo un proyecto de estas características se muestra en la figura 1:

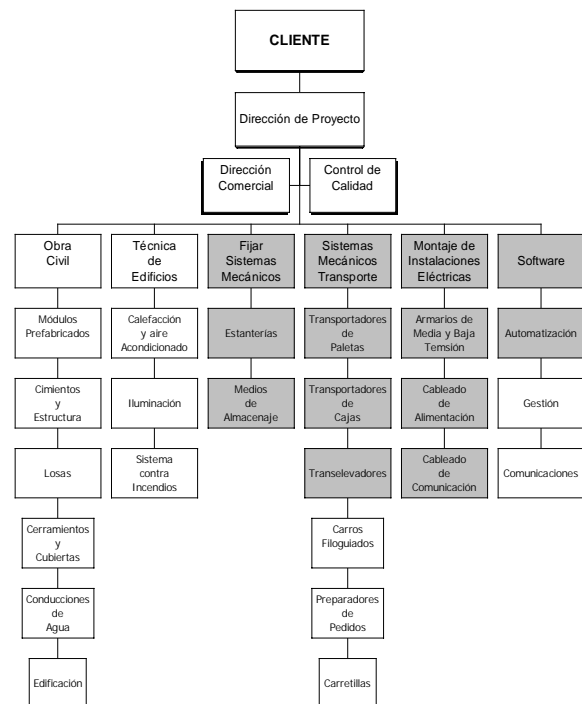


Figura 1: Diagrama general para el diseño de un almacén automático.

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 trabajo es más bien la

automatización de un almacén ya existente, con unas dimensiones determinadas y unos condicionantes previos que van a influir expresamente en su concepción. Por este motivo, 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 de la figura 1.).

3. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA Y GEOMETRÍA

Será preciso un estudio exhaustivo de cómo va a ser la llegada de los productos al almacén para así establecer una óptima distribución en planta de las zonas dedicadas al almacenaje de los mismos.

3.1. TAMAÑO DEL ALMACÉN

Se entiende por tamaño del almacén a la capacidad del mismo que vendrá dada por su altura, longitud y anchura. El cálculo debe comenzar por el conocimiento de cuáles son las necesidades actuales y ver si las expectativas a corto y medio plazo se van a mantener constantes, o bien si se prevé alguna variación.

3.2. CONFIGURACIÓN DEL ALMACÉN

Se entiende por configurar un almacén 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.

El primer valor y más importante que debemos calcular es la *unidad de carga*. Éste se obtiene, para el caso de carga sobre paleta, eligiendo el palet que se empleará en el almacenamiento y sumándole los valores de la carga que vamos a tener.

Una vez tengamos la unidad de carga, definiremos el tamaño del *módulo* de almacenamiento, eligiendo el número de palets y productos a almacenar por hueco y las distancias de seguridad que deben dejarse entre los distintos elementos. Al final, será éste tamaño de módulo el que defina la geometría del almacén.

4. SISTEMA 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, transelevadores o carretillas automáticas, y transportadores de rodillos, de cadenas, de cinta, etc.

4.1. TRANSELEVADORES

El funcionamiento de los transelevadores se basa 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.

El transelevador tiene un movimiento de traslación y otro de elevación que se realizan de un modo simultáneo hasta ubicarse enfrente 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.

4.1.1. Generalidades

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 (muy útil en el caso de estanterías autoportantes).

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.

4.1.2. Comunicación con los transelevadores

El intercambio de datos está previsto entre la instalación fija y el transelevador por medio de fotocélulas de rayos infrarrojos. La transmisión de datos se efectúa en serie según 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 lectores ópticos en el carro de elevación leen las marcas codificadas a distintas alturas en las columnas del transelevador.

4.1.3. Ciclos de trabajo de un transelevador automático

La norma UNE 58-912-86 establece las reglas que son aplicables exclusivamente en transelevadores con mando automático y cuando se toma cada vez una sola unidad de carga.

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

- Número de transelevadores.
- Número de ciclos por transelevador, que, a su vez, depende de:
 - Secuencia de movimientos.
 - Disposición de los puntos de referencia.
 - 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). Trabajando con ciclos dobles se aprovecha al máximo el funcionamiento del transelevador a la hora de preparación de pedidos. El *tiempo de un ciclo* es la duración de un movimiento completo. En la figura 2 aparece representado el cálculo de un ciclo doble, donde L es la longitud de cada pasillo de estanterías y H la altura del almacén.

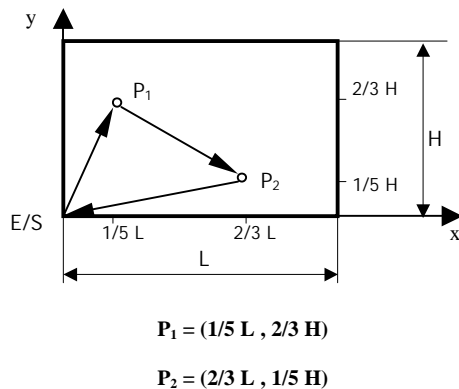


Figura 2: Cálculo de un ciclo doble.

4.2. 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 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 las áreas de “picking”, se realiza por medio de diversos elementos, como son: transportadores de cadenas (para los movimientos transversales), transportadores de rodillos, mesas giratorias a 90°, mesas elevadoras, etc. Los materiales empleados son de última tecnología (gran auge del aluminio), y están formados por piezas estandarizadas para reducir al mínimo la cantidad de recambios necesarios en la explotación.

5. SISTEMA DE GESTIÓN

Para poder escoger el sistema de gestión que un almacén necesita hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- **Funcionalidad:** Este es un punto fundamental. El sistema debe de estar adaptado a todos los requisitos de funcionamiento del almacén. El sistema 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 caducidad prematura del software es esencial escoger un sistema flexible que permita una ampliación de funciones adecuada 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 del acontecimiento.
- **Facilidad de uso:** en cuanto a
 - Uso de terminología de clientes.
 - Tamaño correcto de los campos.
 - Pantallas a medida sin campos superfluos etc.
 - Mínimo uso del teclado para operaciones cotidianas.

- Sin duplicidad de entrada de datos.
- Tiempo rápido de respuesta.
- Cambio entre idiomas (en sistemas multilingües).

Aun cuando es necesario tiempo para familiarizarse con todos los sistemas, no hay duda que algunos son de más fácil aprendizaje y rápido uso que otros.

5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE GESTIÓN

La función de este sistema será, como su propio nombre indica, la gestión automática de la manutención de las distintas mercancías desde su entrada al almacén, hasta su ubicación y posterior retirada a zona de preparación de pedidos.

Una vez que el producto ha sido identificado (código de barras), será el sistema de gestión el que, teniendo en cuenta las reglas fijadas por el programador, decida la ubicación más apropiada para el mismo.

Si se detecta algún problema con la mercancía, ésta se hará circular a una zona de tratamiento manual para corregir el posible problema. Si no tiene solución, se enviará directamente a la zona de rechazos.

En caso de no detectar ningún error, la mercancía se pasará a la zona de identificación, donde un lector de código de barras proporcionará la información necesaria para el reconocimiento del producto, y así decidir la ubicación más apropiada. Si se produjera algún problema en la identificación, se procederá a enviar al producto a la zona de tratamiento manual, y se actuará de la misma forma.

A la hora de preparar un pedido, el sistema lanzará las ordenes oportunas a los distintos sistemas de manipulación, para extraer las mercancías requeridas de determinadas ubicaciones.

Todas estas operaciones conllevan continuas variaciones en los niveles de stocks, por lo que se necesita una precisa y fiable base de datos que refleje el estado del almacén en cada momento. Esta sirve tanto al sistema de manutención como al sistema de gestión del propio almacén (stocks, periodos de almacenaje,...).

5.2. NIVELES EN LA AUTOMATIZACIÓN

Para desarrollar un sistema completo de almacenaje automático, habrá que determinar cuantas y cuales van a ser las capas de nuestro sistema. En general, la jerarquía o niveles que se van a tener son los que aparecen en la figura 3:

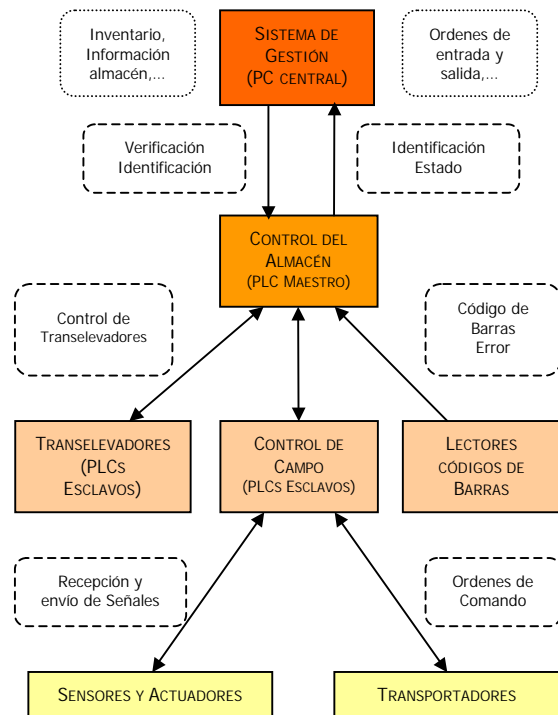


Figura 3: Niveles en la automatización

6. SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control va a presentar una configuración distribuida, en la cual se van a tener los siguientes autómatas:

- **PLC Maestro:** se comunica directamente con el sistema de gestión. Va a coordinar todos los PLCs esclavos de la instalación, y controlar los movimientos de todos los transportadores encargados de la distribución de los productos.
- **PLCs esclavos de control de los transelevadores:** están ubicados físicamente cada uno en un transelevador, por lo que habrá tantos como transelevadores existan en el almacén. El PLC maestro les va a enviar las órdenes de colocación y extracción de las mercancías, existiendo al mismo tiempo una comunicación de “acuse” de trabajo realizado. Estos PLCs serán los que se encarguen de gobernar todos los accionamientos y sensores necesarios para realizar los movimientos oportunos.
- **PLCs de control de campo:** se van a encargar del manejo de las señales que envían y reciben los sensores y actuadores distribuidos por la planta, y que van a indicar la situación de los productos en cada momento (sensores de proximidad, finales de carrera, control de galibo...).

7. CONFIGURACIÓN DE LA RED

En una red industrial coexisten equipos y dispositivos de todo tipo, los cuales suelen agruparse jerárquicamente para establecer conexiones lo más adecuadas a cada área. De esta forma se definen cuatro niveles dentro de una red industrial (figura 4):

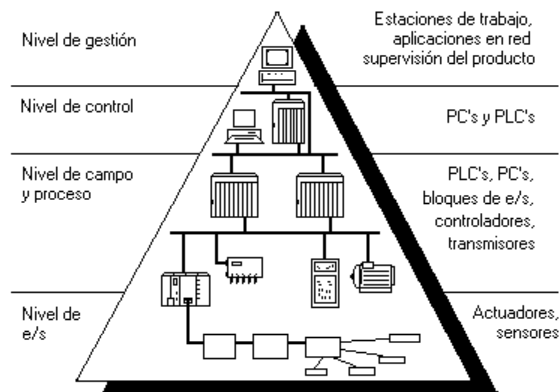


Figura 4: Niveles en una Red Industrial.

- **Nivel de gestión:** es el nivel más elevado y se encarga de integrar los niveles siguientes en una estructura de fábrica e incluso de múltiples factorías. Las máquinas aquí conectadas suelen ser estaciones de trabajo que hacen de puente entre el proceso productivo y el área de gestión, en el cual 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 enlazar y dirigir las distintas zonas de trabajo. A este nivel se sitúan los autómatas de gama alta y los computadores dedicados al diseño, control de calidad, programación, etc. Se suele emplear una red de tipo LAN.
- **Nivel de campo y proceso:** se encarga de la integración de pequeños automatismos (autómatas compactos, multiplexores de E/S, controladores PID, etc.) dentro de sub-redes 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 están 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 1 aparece una comparación de los buses más comunes en una red industrial.

	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

Tabla 1: Características de los Buses.

7.1. INTRODUCCIÓN A PROFIBUS

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 50 170. 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.

La familia Profibus consiste en tres versiones compatibles: PROFIBUS-DP, PROFIBUS-PA y PROFIBUS-FMS.

La tabla 2 muestra el campo de aplicación de cada una de las versiones de Profibus.

SUB-FAMILIA	PRINCIPAL APLICACIÓN	PRINCIPAL VENTAJA	CARACTERÍSTICAS MÁS RELEVANTES
PROFIBUS-FMS	Automatización para propósitos generales	Universal	<ul style="list-style-type: none"> • Gran variedad de aplicaciones • Comunicaciones multi-maestro
PROFIBUS-DP	Automatización de factorías	Rápido	<ul style="list-style-type: none"> • Plug and Play • Eficiente y efectivo en costo
PROFIBUS-PA	Automatización de procesos	Orientado a aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Suministro de energía a través del propio bus • Seguridad intrínseca

Tabla 2: Versiones del Profibus.

7.2. INTRODUCCIÓN A AS-INTERFACE

AS-I (Actuator 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. Reemplazando complejos cableados y paneles, AS-I reduce el tiempo de diseño, costo de instalación y complejidad de mantenimiento. Todo esto desemboca en la reducción de los costos totales.

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

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

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

8. CONCLUSIONES

La elección del sistema de almacenamiento más adecuado ha sido siempre un problema. En los años 70 se empezaron a instalar almacenes automáticos tanto para paletas como para cargas de pequeño tamaño (AKL). La conclusión a la que se llegó consideraba únicamente aspectos económicos, indicando que para almacenes pequeños y de poca

rotación, era más conveniente la versión manual, y que para almacenes grandes con alta rotación era más rentable utilizar una versión automática.

Sin embargo, cada vez influyen más otros factores en la decisión sobre el sistema de almacenamiento a adoptar. Estos nuevos factores se centran en mejoras de tipo cualitativo, que se pueden traducir en necesidades exigidas por la dirección de la empresa, como puede ser realizar una gestión "on line" del movimiento de materiales y de los stocks, o incluso, temas de calidad de servicio al cliente: entrega de pedidos sin errores, disponibilidad permanente de todos los productos, cumplimiento de los plazos de entrega, etc. La disponibilidad permanente no significa sólo que un artículo esté en stock, sino que se pueda acceder a él de forma rápida y eficaz.

La decisión sobre el mejor sistema de almacenamiento no debe limitarse exclusivamente al área de almacén de reserva, sino que debe extenderse a otras áreas como el área de preparación de pedidos, ya que puede y va a influir en la optimización de los procedimientos y costes operativos.

Referencias

- [1] *Manual de logística para la gestión de almacenes.*
Roux, Michel. Gestión 2000, 1997.
- [2] *Automatización de la fabricación : autómatas, actuadores, transductores.*
Antonio Barrientos, Luis Felipe Peñín.
Universidad Politécnica de Madrid, 1998.
- [3] *La automatización : economía y trabajo.*
Gómez Uranga, Mikel.
Servicio Editorial Universidad del País Vasco, D.L (Bilbao). 1986.
- [4] *Ingeniería de la automatización industrial.*
Piedrafita Moreno, Ramón.
Ra-ma, Madrid. 1999.