

**SISTEMAS INDUSTRIALES DISTRIBUIDOS:
Una filosofía de automatización**

APUNTES TEORÍA

3º ITT-SE. Universidad de Valencia. Dpto. Ingeniería Electrónica.

Alfredo Rosado Muñoz
<http://www.uv.es/~rosado>
rosado@uv.es

PRÓLOGO

En la actualidad se ha aproximado al mundo de los autómatas programables una serie de técnicos muy formados en el mundo de la electrónica, la informática y los microprocesadores, pero con poca experiencia en el diseño de sistemas de control y un cierto desconocimiento de las condiciones de entorno en las que debe operar un sistema de control industrial. Para este tipo de técnicos el diseño basado en un ordenador de procesos resulta fácil hasta que llegan a la interfaz con el proceso o la integración en el sistema de los captadores y accionamientos de potencia, para los cuales ciertamente los ordenadores no están preparados. Por ello, se proponen estos apuntes como una herramienta para poder acercar al mundo industrial a aquellos técnicos formados en un área más electrónica y menos cercana a los procesos de producción. Asimismo, también pretende ser una referencia para todos aquellos que ya poseen conocimientos prácticos de automatización industrial basada en autómatas programables, pero que desean introducirse en el área de comunicaciones industriales.

Cada vez más, los ordenadores y los autómatas se entremezclan en sus funciones, pero no tiene sentido plantearse la disyuntiva "Autómata u Ordenador de Proceso", sino que tanto el autómata como el ordenador son piezas de un conjunto superior que los engloba donde se mezclan y se combinan los ordenadores, los controles numéricos, los robots y los propios autómatas, desempeñando cada uno ciertas funciones para las que están especialmente dotados y donde es necesaria la presencia de personal con conocimientos en un amplio número de campos como son la programación bajo PC, programación de autómatas programables, instalación y configuración de redes de comunicación, instalación y selección de actuadores y sensores (pasivos e inteligentes), planificación e identificación de elementos a implantar, etc. Por ello, se pretende hacer un recorrido por todos aquellos elementos de automatización industrial y proporcionar una visión global en la automatización integral, revisando los diferentes elementos existentes en este tipo de entornos.

Tema 1. Introducción a los sistemas industriales distribuidos.

Las redes de comunicación son hoy en día un elemento habitual en gran parte de nuestras actividades, especialmente en tareas de oficina y hogar. En cambio, la introducción de sistemas de intercomunicación digitales en los entornos industriales no es tan amplia, aunque es una tendencia cada vez más generalizada, con una implantación de sistemas creciente dentro de cualquier ámbito industrial. Esta nueva metodología de sistemas de automatización de procesos redonda en una mayor eficiencia y optimización de los recursos, pudiendo implantar sistemas distribuidos que van desde meros procesos de fabricación y manufactura a una integración de diferentes áreas dentro de la empresa (fabricación, gestión de producción, almacenaje, control de calidad, ventas, distribución, etc.), permitiendo una mayor eficiencia en los procesos de fabricación.

Por tanto, es preciso analizar las diferentes posibilidades a la hora de implantar nuevos elementos en una fábrica, pues si se desea tender a una gestión integral, es necesario que todos y cada uno de los aspectos de la fábrica sean concebidos para su intercomunicación con el resto. De este modo, desde los elementos de automatización (autómatas programables, sensores, actuadores, paneles de visualización, etc.) hasta los elementos de gestión y supervisión de fábrica pasando por dispositivos de control de procesos, deben ser capaces de intercomunicarse a través de redes industriales destinadas a tal efecto.

Desde luego, esta filosofía de implantación debe poder realizarse por etapas, sin pretender cambiar radicalmente sistemas industriales previamente implantados pero teniéndola en cuenta a la hora de instalar o modernizar viejas instalaciones, ya que no siempre es posible una intercomunicación global. Así, el concepto de Sistemas Industriales Distribuidos abarca un campo muy amplio, pues se puede aplicar en diferentes niveles dentro de una fábrica, desde la simple automatización de un proceso aislado a la gestión integral de una fábrica. Este hecho provoca que exista un gran número de posibilidades a la hora de la implantación de este tipo de instalaciones, pudiendo recurrir a diferentes elementos y tecnologías dependiendo de las necesidades y el tipo de automatización o intercomunicación que se desee llevar a cabo, haciéndose necesario un conocimiento de los diversos elementos y posibilidades para poder tomar decisiones a la hora de implantar las tecnologías y sistemas que mejor se adapten a los requisitos concretos, ya que cada tecnología o sistema de comunicación está orientado a unas aplicaciones determinadas. Por otro lado, a menudo existen tecnologías y sistemas con características similares orientados a un mismo rango de aplicaciones, con escasas diferencias excepto en la empresa que fabrica los elementos de comunicación. Este hecho provoca que no existan estándares completamente adoptados por el conjunto de la industria, ya que cada fabricante intenta diferenciarse del resto mediante el desarrollo de tecnologías y protocolos propietarios que sólo ellos pueden fabricar y distribuir, con lo que a menudo existen varias tecnologías orientadas a un mismo tipo de aplicaciones. Por tanto, resulta importante poder ser capaces de disponer de suficiente información acerca de los diferentes fabricantes y sus tecnologías para instalar los sistemas óptimos en cada uno de los diferentes niveles de la automatización de procesos industriales.

Desde siempre, el hombre ha intentado hacer su vida más fácil y cómoda. Para ello, a lo largo de la historia ha construido infinidad de aparatos capaces de facilitar las tareas habituales o permitir realizar trabajos nunca antes conseguidos debido a las limitaciones existentes. Este fenómeno es lo que podemos llamar la “evolución tecnológica” y que en estos últimos siglos ha sido espectacular si comparamos con etapas anteriores. Una posible definición de automatización industrial es:

“El conjunto de técnicas basadas en sistemas capaces de recibir información del medio, sobre el cual actúan y se realizan acciones de

análisis, organización y control, con el fin de optimizar los recursos productivos: mecánicos, materiales y humanos”

Hasta el siglo XX, el desarrollo tecnológico había venido de la mano de la revolución industrial en la que los sistemas mecánicos eran piezas clave para la industria y el desarrollo de los procesos industriales. Pero es en el siglo XX cuando los sistemas de automatización surgen con más fuerza, potenciados por los sistemas eléctricos basados en relés electromagnéticos en la primera mitad del siglo y de los sistemas electrónicos de estado sólido en su segunda mitad. Así, además de sus objetivos iniciales, el concepto de automatización se extiende a la mejora de producción y calidad, disminución de riesgos laborales, disminución de costes, etc.

Los trabajos realizados en el siglo XVIII en el campo de la electricidad y electromagnetismo desde Charles Coulomb y Benjamín Franklin permitieron que William Sturgeon inventara en 1824 la primera bobina, al comprobar que se inducía un campo magnético en el núcleo de ferrita al que se le había enrollado un cable por el que se hacía pasar una corriente. Pero es a Joseph Henry a quien se le atribuye el primer relé electromagnético conocido, cuyo dispositivo jugó un papel muy importante en el desarrollo del telégrafo, y posteriormente en el desarrollo de numerosos dispositivos eléctricos en general y en la automatización industrial en particular (Figura 1).

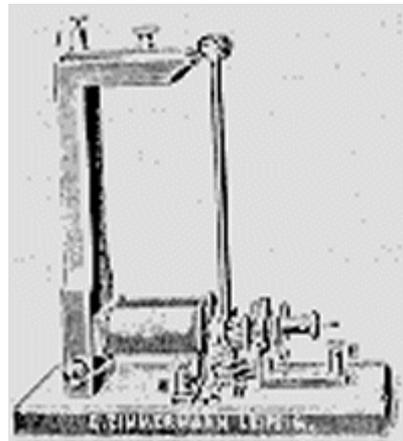


Figura 1. Relé electromagnético en un catálogo alemán de 1903.

La aparición de los autómatas programables marcó un cambio en la industria de ensamblaje y líneas de producción. El concepto de línea de producción automatizada apareció entonces en la historia de la humanidad como un hecho real. Este pequeño aparato permitió que los procesos industriales fuesen desde entonces más eficientes, precisos, y lo que es mas importante, reprogramables, eliminando el gran costo que se producía al reemplazar el complejo sistema de control basado en relés y contactores, tanto por tamaño como vida útil.

En un contexto industrial moderno, se puede definir la automatización como:

“Una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos-eléctricos basados en computadoras para la operación y control de la producción”

Pero la mejora en los procesos de automatización viene hoy en día de la mano de las redes de comunicación. La intercomunicación de sistemas y procesos industriales no es un concepto nuevo, pues es ampliamente conocido el uso de sistemas como IEEE-488 y RS485/422 que durante más de 20 años han sido capaces de ofrecer los requerimientos necesarios en las instalaciones de baja y media complejidad en cuanto a las capacidades de intercomunicación se refiere. Este tipo de enlaces entre sistemas se ha empleado esencialmente para equipos de instrumentación y sistemas de

automatización donde es necesaria una baja tasa de transferencia de datos entre equipos, pero que en gran número de casos hoy en día ya no puede responder a las necesidades de intercomunicación entre dispositivos que se demandan. Por ello, redes de comunicación como Ethernet han conseguido ser indispensables en un entorno de trabajo donde cada día es más necesaria la integración global.

Por otro lado, en la actualidad se ha aproximado al mundo de los autómatas programables una serie de técnicos muy formados en el mundo de la electrónica, la informática y los microprocesadores, pero con poca experiencia en el diseño de sistemas de control y un cierto desconocimiento de las condiciones de entorno en las que debe operar un sistema de control industrial. Para este tipo de técnicos el diseño basado en un ordenador de procesos resulta fácil hasta que llegan a la interfaz con el proceso o la integración en el sistema de los captadores y accionamientos de potencia, para los cuales ciertamente los ordenadores normales no están preparados. De cualquier modo, cada vez más, los ordenadores y los autómatas se entremezclan en sus funciones, pero no tiene sentido plantearse la disyuntiva "Autómata u Ordenador de Proceso", sino que tanto el autómata como el ordenador son piezas de un conjunto superior que los engloba donde se mezclan y se combinan los ordenadores, los controles numéricos, los robots y los propios autómatas, desempeñando cada uno ciertas funciones para las que están especialmente dotados y donde es necesaria la presencia de personal con conocimientos en un amplio número de campos como son la programación bajo PC, programación de autómatas programables, instalación y configuración de redes de comunicación, instalación y selección de actuadores y sensores (pasivos e inteligentes), planificación e identificación de elementos a implantar, etc.

Describiendo diversos términos habitualmente empleados, podemos definir:

- ? **Producir:** Fabricar, elaborar cosas útiles.
- ? **Producción:** Suma de los productos del suelo o de la industria.
- ? **Manufacturar:** Fabricar con medios mecánicos. De un modo más general, el Consorcio Internacional para la Manufactura Avanzada lo define como una serie de actividades interrelacionadas que involucra el diseño y concepción del producto, selección de materiales, planificación, producción, aseguramiento de la calidad, gestión y marketing de mercancías y productos.
- ? **Fabricar:** Elaborar, producir objetos en serie, generalmente por medios mecánicos.

En este contexto, a pesar de que ambos términos a veces se mezclan, **producir** se refiere a un proceso concreto de creación o transformación de materias primas para obtener un producto con características diferentes a las de las materias primas de las que se origina. En cambio, **fabricar** (o **manufacturar**) es un concepto más amplio que involucra diversos aspectos relacionados con la creación de un producto y que entre ellos incluye la producción del mismo.

Por tanto, los sistemas de automatización industrial y su funcionamiento distribuido forman parte de un concepto de mayor entidad encaminado a la optimización global de una fábrica mediante la mejora de los procesos de fabricación, la reducción de costes, incremento en la calidad, mejora de la eficiencia, mayor flexibilidad en los procesos de producción y, en general, todos aquellos factores que permitan adaptarse de manera eficiente a las necesidades del mercado al que está orientado el producto. Todo esto sin perder de vista los principales objetivos de cualquier empresa: ser competitivo, crecer y aumentar las ganancias. Para conseguir estos objetivos, es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- ? Bajo coste de producción
- ? Buen diseño de producto
- ? Altos niveles de calidad con bajo factor de rechazo
- ? Tiempos de entrega cortos y a tiempo (acorde al plazo comprometido)

- ? Bajo tiempo de desarrollo de nuevo producto
- ? Flexibilidad para la admisión de pedidos particularizados
- ? Flexibilidad en el volumen de producción

1.1. Sistemas Integrados de Producción: el Concepto CIM (Computer Integrated Manufacturing).

La constante pujanza en los requerimientos de niveles de calidad, rapidez en el desarrollo e introducción de nuevos productos, flexibilidad y adaptabilidad, hace que los fabricantes y productores deban plantearse sus estrategias comerciales y de negocio desde un punto de vista integral, desde que las materias primas entran en la fábrica hasta su acabado final donde el producto está listo para ser distribuido. Con todos estos requerimientos es necesario que el proceso de fabricación sea capaz de aportar información útil al personal gestor y comercial encargado de la venta y envío del producto para poder adaptar la producción de forma rápida y eficaz dependiendo de las necesidades del mercado. De este modo se consigue tener un proceso de fabricación dinámico y donde la producción es optimizada con criterios globales y no necesariamente técnicos. Todo ello sin perder de vista los requerimientos de calidad y seguridad que se aplican actualmente tal como ISO 9000.

Todo este conglomerado de factores conforma el concepto CIM (Computer Integrated Manufacturing), que podríamos traducir como **“Sistemas Integrados de Producción”**. Este término en sí mismo no indica la aplicación de ninguna tecnología o procedimiento en particular sino la aplicación de ciertas técnicas con una visión integradora. Podría definirse como:

“Una metodología de trabajo y una filosofía de diseño de los sistemas de automatización, producción y gestión orientados a la mejora de los niveles de calidad y la optimización en los procesos de fabricación”

Esta concepción de los sistemas de fabricación abarca todas las áreas y no debe ser considerada desde un factor exclusivo del área de ingeniería, a pesar de que ésta debe jugar un papel importante. La “Sociedad Americana de Ingenieros de Procesos Manufactureros” (Society of Manufacturing Engineers-SME) realizó en 1985 una aproximación bastante completa de lo que sería una producción integrada y los principales factores que en ella intervienen. Todo ello se muestra en el diagrama de los Sistemas Integrados de Producción o “rueda CIM” de la Figura 2.

Se aprecia que el aspecto de la producción propiamente dicha, es decir, la fabricación del producto en cuestión, es simplemente una parte más de todo el entramado de gestión, planificación y abastecimiento que lleva consigo cualquier proceso de fabricación. El núcleo central enlaza los diferentes aspectos de un proceso industrial mediante los sistemas de comunicación que permiten la interrelación entre ellos. En la parte intermedia se encuadran todas las tareas que permiten que se desarrolle la labor de fabricación o manufactura del producto, desde el diseño inicial del producto en sí como el diseño de los procesos de fabricación necesarios, pasando por la gestión de materias primas y producto final, almacenaje, recepción y salida de material, control de calidad, etc. La parte exterior del diagrama corresponde a los aspectos de gestión empresarial y de negocio relacionados con la producción. Esta parte exterior contiene en su interior el resto de procesos de fabricación dado que son los aspectos de negocio aquellos que influyen de manera directa en la fabricación del producto, ya sean por cuestiones económicas, de marketing, o por demanda específica de los clientes.

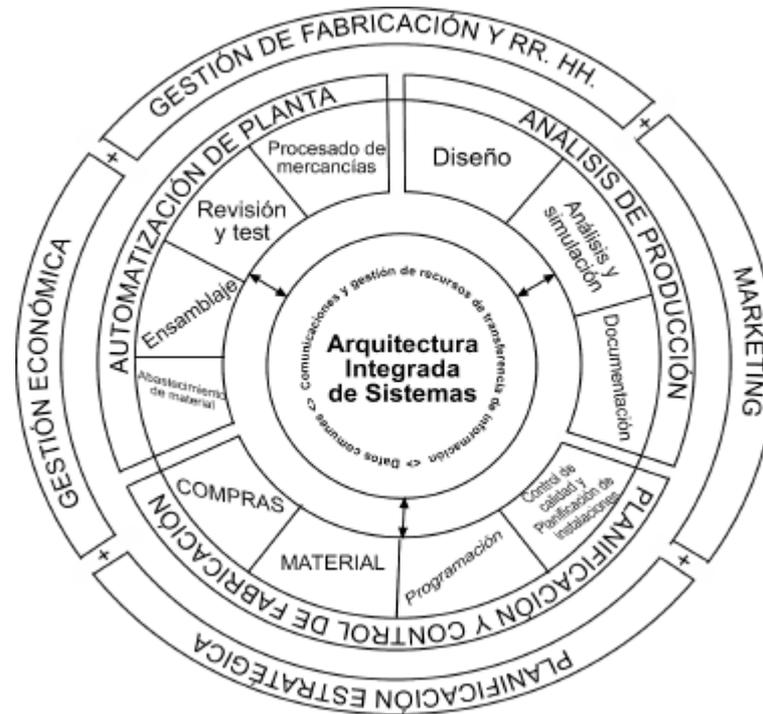


Figura 2. Diagrama genérico aplicable a los Sistemas Integrados de Producción. Rueda CIM.

Por tanto, los procesos de automatización industrial a los que está principalmente dirigido este libro se deben considerar siempre dentro de un entorno más amplio donde debe existir una integración entre ellos y el resto de elementos de producción y gestión. De un modo simplificado, el diagrama de la Figura 3 muestra las relaciones básicas dentro de cualquier proceso productivo y la necesidad de estar orientado siempre según las necesidades del mercado. Así, el mercado debe ser el encargado de modificar las condiciones de fabricación, aunque estas modificaciones deben regirse desde la dirección que es quien toma las decisiones, pero siempre respaldado por las áreas de diseño y producción de producto, dado que son éstas quienes conocen hasta qué punto es posible acomodar las instalaciones a los posibles nuevos productos, las inversiones a realizar, tiempos de diseño, etc.

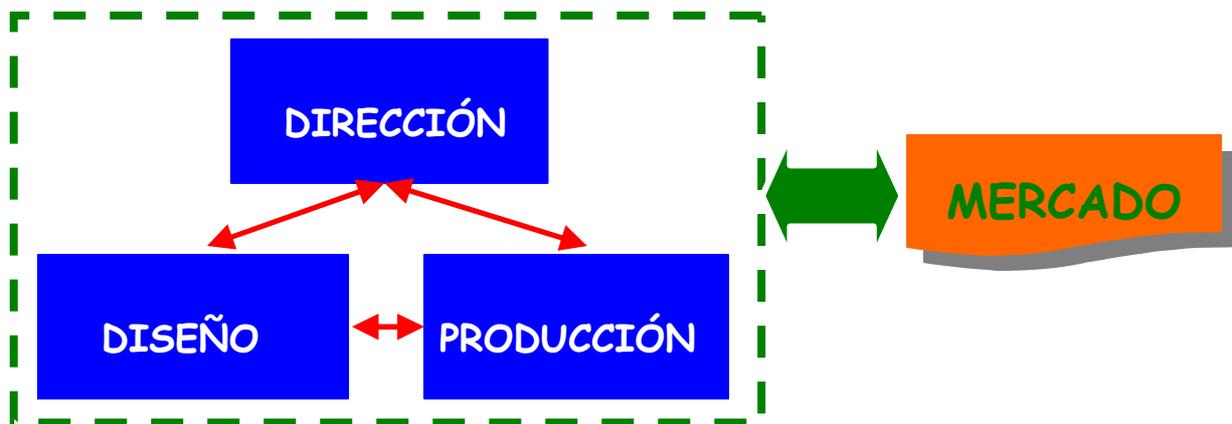


Figura 3. Relaciones principales dentro de una empresa.

De un modo más completo, dentro de la empresa se diferencian diversas áreas mostradas en la Figura 4. En esta figura se desglosa con más detalle las tareas más relacionadas con la ingeniería, tanto a nivel de diseño de producto como a nivel de automatización del proceso productivo. Como se ve, en primer lugar se comienza por el área de diseño de producto mediante los sistemas de diseño asistido por computador (CAD) que definen las herramientas y maquinaria a emplear en el proceso de producción. La siguiente etapa consiste en la planificación de procesos dentro del proceso productivo mediante técnicas asistidas por computador (CAPP: Computer Aided Process Planning), consistente en herramientas software usadas durante el desarrollo del producto para

ayudar al diseñador a evaluar los niveles de complejidad que tendrá el producto a la hora de ser manufacturado. Sin estas herramientas, esta complejidad no sería evaluada hasta después de que el diseño estuviera en producción y se analizaran sus problemas. Esta técnica redundante en gran ahorro de costes.

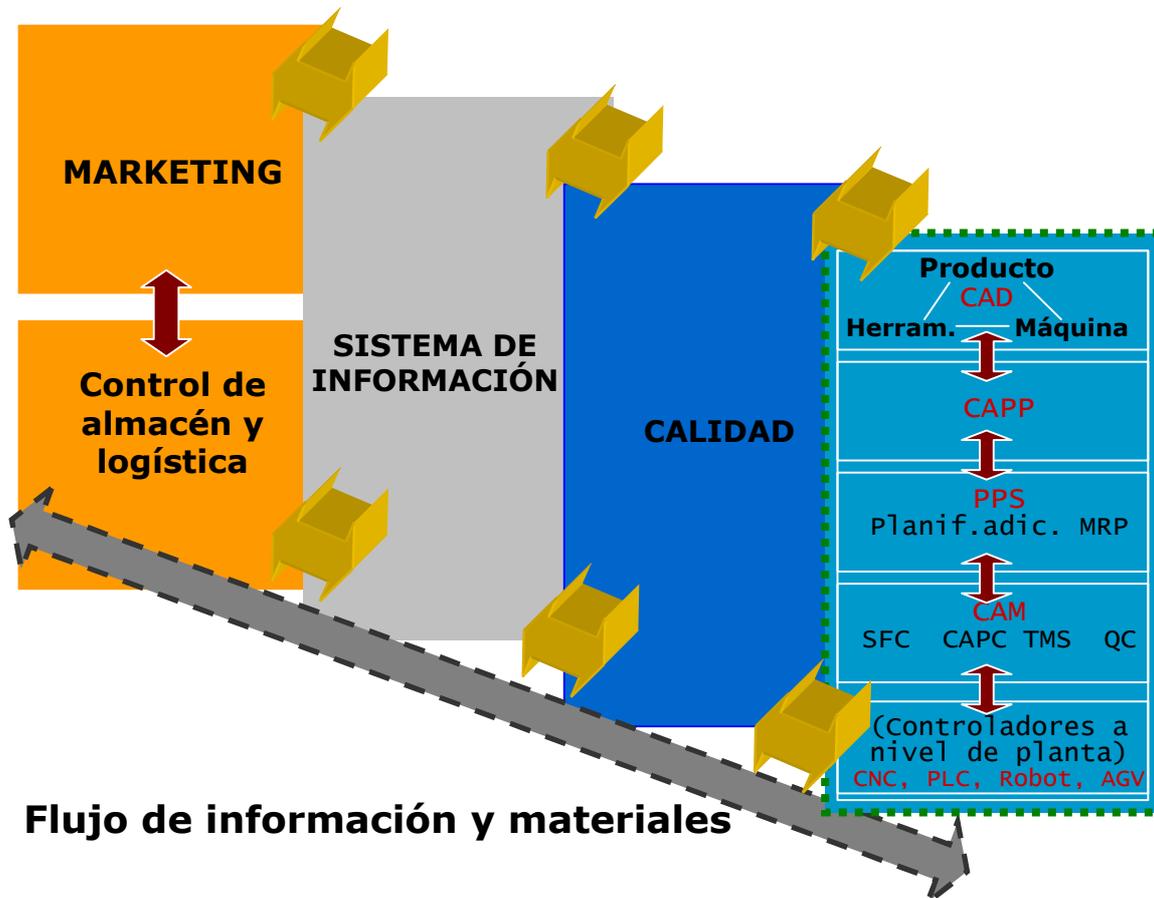


Figura 4. Principales áreas dentro de la empresa necesarias para realizar la fabricación de un producto.

El siguiente paso hasta llegar al proceso productivo en sí consiste en la planificación de los sistemas de producción (PPS: Planning Production System), donde se realiza un estudio concreto de los sistemas de producción con el objetivo de la optimización de las tareas y procesos a realizar mediante la planificación de los recursos humanos y maquinaria, compra de materia primas y programación del trabajo (tiempo de utilización efectivo de la maquinaria, ordenación en la ejecución de tareas, etc.). Como soporte a esta tarea, se pueden distinguir dos aspectos, el primero es la planificación adicional (aggregate planning), que analiza aquellos factores que pueden afectar la producción a medio plazo y que no están directamente relacionados con el proceso productivo, para de este modo poder hacer frente a las posibles demandas y evitar sobrecarga o tiempos muertos en ciertas partes de la cadena de producción, tomando decisiones acerca de las compras a realizar, distribución de las horas de trabajo, etc. En segundo lugar, se tiene el factor denominado Planificación de los Requerimientos de materiales (MRP: Material Requirement Planning), muy enlazado con el concepto de planificación adicional para disponer de las materias primas necesarias de modo eficiente y realizar una gestión de almacén sin necesidad de grandes niveles de almacenaje. Acercándonos más al nivel de planta, entra en juego ahora el diseño de los procesos de fabricación y mecanizado asistidos por ordenador (CAM: Computer Aided Manufacturing) donde se implantan equipos y sistemas encargados de gestionar y desarrollar la producción en contacto directo con la fabricación de planta. Por tanto, en este nivel, se introducen elementos tales como los sistemas de control de planta (SFC: Shop Floor Control), utilizando los datos de ésta para mantener y comunicar la situación de los pedidos en planta y en los centros de trabajo en tiempo real. El

llamado Círculo de Calidad (QC: Quality Circle), o grupo de trabajo que actúa como unidad para mejorar la calidad y reducir costes en cualquier proceso. Gestión de la producción asistido por computador (CAPC: Computer-Aided Production Control ó CAPM: computer-aided production management), de tal modo que existe una supervisión de los procesos productivos para analizar sus necesidades y ser capaces de reaccionar antes de que disminuya el ritmo de producción o sus niveles de calidad. Los sistemas de gestión logística (TMS: Transportation Management System), permiten informar al control de planta acerca de la situación de las mercancías preparadas para comercializar así como gestionar su almacenaje y envío a través de la preparación de los lotes apropiados. Todos estos sistemas de información están implementados por entornos software ayudados por sistemas de marcaje como etiquetado con código de barras, bandas magnéticas, etc.

Finalmente, dentro de la planta de fabricación llegamos al proceso productivo propiamente dicho, es decir, a todos aquellos elementos encargados de producir, mecanizar y conformar el producto que se desea comercializar así como aquellos elementos que los asisten en su tarea. Básicamente, en la planta de fabricación se distinguen tres tipos de elementos principales como son los elementos de proceso, de transporte y de almacenaje. Por lo que respecta a los elementos de proceso, se tienen los autómatas programables (PLC), sistemas de control numérico (CNC) o robots encargados de realizar el mecanizado y ensamblaje del producto ayudados por motores, sensores, actuadores, y complementado por el personal de planta. Otros elementos de proceso a tener en cuenta son los sistemas automáticos de inspección de calidad que cada vez con más frecuencia se añaden a la línea de producción. En cuanto a los elementos de transporte, éstos permiten el abastecimiento de materias primas y facilitan la tarea de trasladar el producto finalizado a su lugar de almacenaje. En este sector podemos destacar los vehículos de conducción automática (AGV: Automatic Guided Vehicle) y el transporte de palets mediante carretillas. Respecto a los sistemas de almacenaje, los Sistemas de Almacenamiento y Recuperación Automáticos (AS/RS: Automated Storage and Retrieval System) permiten emplazar grandes cantidades de mercancía de manera automática y ordenada con tiempos de acceso comparativamente reducidos (respecto de los sistemas tradicionales). Industrias con este tipo de implantaciones integrales son las cadenas de montaje de automóviles, industrias petroquímicas y papeleras, montaje de sistemas electrónicos, etc.

1.2. Sistemas industriales de control.

Pero todo este entramado de procesos no sería posible coordinarlos sin la existencia de los sistemas físicos capaces de captar, distribuir y almacenar toda la información generada. Es por ello que se hace necesaria la infraestructura de comunicaciones capaz de realizar la integración de los sistemas industriales. Este es un hecho que ahora parece ser asumido por la mayoría de industrias, pero no siempre ha sido así. Tradicionalmente se distinguen tres tipos de sistemas de control industrial: control centralizado, control híbrido y control distribuido. La importancia de las tareas a realizar, o la posibilidad de subdividir la tarea de control del proceso o conjunto de máquinas en esas funciones autónomas, determinará en muchos casos la elección de un tipo u otro de control.

1.2.1. Control centralizado.

Esta aproximación es la que se sigue en el caso de sistemas poco complejos donde un proceso puede ser gestionado directamente mediante un único elemento de control encargado de realizar todas las tareas del proceso de producción y que puede incluir un sistema de monitorización y supervisión. Conforme las necesidades de producción han requerido mayor complejidad, una tendencia ha sido la de emplear elementos de control más complejos y potentes, manteniendo en un único elemento de control todo el proceso, con la complejidad que ello supone ya que se hace necesario hacer llegar todas las señales de sensores y cablear todos los actuadores allá donde se encuentren. Como ventajas de esta metodología, no es necesario planificar un sistema de

intercomunicación entre procesos ya que todas las señales están gestionadas por el mismo sistema, por otro lado, para sistemas poco complejos posee un menor coste económico. En cambio, posee numerosas desventajas ya que si el sistema falla, toda la instalación queda paralizada, siendo necesario un sistema redundante para evitar estas situaciones. También se hace necesario el empleo de unidades de control (generalmente autómatas programables) de mayor capacidad de proceso dada la complejidad de los problemas que debe abordar y con las restricciones de tiempo límite que son habituales en los procesos industriales debido a la sincronización necesaria; pueden existir problemas de tiempos de ciclo en el caso de procesos muy complejos. Por otro lado, el cableado puede aumentar notablemente debido a las mayores distancias que pueden existir entre los sensores, actuadores y la unidad de control, aunque este problema se pueda simplificar en cierta medida debido al uso de buses de campo.

1.2.2. Control distribuido.

La opción de control distribuido requiere que puedan considerarse procesos, grupos de procesos o áreas funcionales susceptibles de ser definidas por un algoritmo de control que pueda realizarse de forma autónoma. A cada unidad se destinará un autómata (o elemento de control) dimensionado de acuerdo con los requerimientos del proceso considerado. Debido a la interdependencia que existe entre las operaciones que tienen lugar en cada proceso, hay que tener en cuenta que es necesario interconectar los autómatas entre sí mediante entradas y salidas digitales o a través de una red de comunicaciones para intercambio de datos y estados; por tanto, el autómata o elemento de control evaluado debe permitir las comunicaciones.

Con esta metodología de control es posible que cada unidad funcional consista en un proceso relativamente sencillo comparado con el proceso global, reduciendo la posibilidad de errores en la programación y permitiendo el empleo de unidades de control (autómatas programables principalmente) más sencillas y por tanto, más económicas. Al mismo tiempo, la existencia de fallos en otras unidades de control no implica necesariamente la paralización de todos los procesos que se llevan a cabo en la planta. Como desventaja, es necesario realizar un estudio de implantación previo, ya que se deben identificar los procesos autónomos, asignar elementos a cada proceso y diseñar el modelo de intercomunicación para responder a las necesidades del proceso planteado.

1.2.3. Control híbrido.

El control híbrido no está muy bien definido ya que este tipo de gestión de planta puede considerarse a cualquier estrategia de distribución de elementos de control a medio camino entre el control distribuido y el control centralizado. En numerosas ocasiones no resulta sencillo separar los procesos de manera completamente autónoma, por lo que se debe recurrir a la gestión de varios procesos desde una misma unidad de control pues la complejidad de la separación es mayor que la complejidad que supone su gestión conjunta.

Por otro lado, una estrategia de este tipo también conduce a una gestión estructurada, de modo que existen elementos de control de nivel superior que supervisan e intercomunican los procesos autónomos más sencillos, siendo los encargados de gestionar la información común. Para este tipo de gestión también es necesario el uso de redes de comunicación.

1.3. Pirámide de automatización. Intercomunicación mediante buses.

El empleo de computadores y autómatas programables como herramienta esencial de tratamiento de la información es habitual, y la implantación de redes de comunicación internas, necesaria. Desde el punto de vista de los sistemas físicos que deben soportar toda la funcionalidad necesaria, la Figura 4

puede ser reestructurada de modo que se pueda apreciar la distribución jerárquica existente en un entorno de automatización integrado. La Figura 5 muestra de manera genérica estas interrelaciones y su división en diferentes niveles.

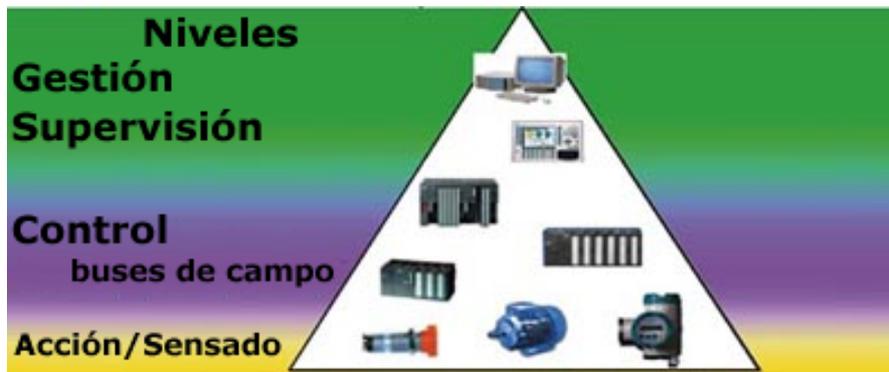


Figura 5. Pirámide de automatización.

1.3.1. Nivel de Acción/sensado (nivel de célula):

También llamado nivel de instrumentación. Está formado por los elementos de medida (sensores) y mando (actuadores) distribuidos en una línea de producción. Son los elementos más directamente relacionados con el proceso productivo ya que los actuadores son los encargados de ejecutar las órdenes de los elementos de control para modificar el proceso productivo (por ejemplo, un motor de mezcla de materias primas) y los sensores miden variables en el proceso de producción (por ejemplo, temperatura de cocción). Así, más ejemplos de sensores son aquellos que permiten medir nivel de líquidos, caudal, temperatura, presión, posición, etc. Como ejemplos de actuadores se tienen los motores, válvulas, calentadores, taladros, cizallas, etc. Como característica adicional, los sensores y actuadores suelen ser dispositivos que necesitan ser controlados por otros elementos.

1.3.2. Nivel de Control (nivel de campo):

En este nivel se sitúan los elementos capaces de gestionar los actuadores y sensores del nivel anterior tales como autómatas programables o equipos de aplicación específica basados en microprocesador como robots, máquinas herramienta o controladores de motor. Estos dispositivos permiten que los actuadores y sensores funcionen de forma conjunta para ser capaces de realizar el proceso industrial deseado. Son dispositivos programables, de tal modo que es posible ajustar y personalizar su funcionamiento según las necesidades de cada caso. Los dispositivos de este nivel de control junto con los del nivel inferior de acción/sensado poseen entidad suficiente como para realizar procesos productivos por sí mismos. De hecho, gran cantidad de procesos industriales están basados exclusivamente en estos dos niveles, de tal modo que un proceso productivo completo se desglosa en subprocesos de este tipo sin que exista un intercambio de información entre ellos (excepto algunas señales de control para sincronizar el fin de un proceso con el inicio del siguiente). Un ejemplo de este tipo de sistemas sería un proceso de ensamblado de un volante dentro de un vehículo donde es necesario tener el coche bien situado, y entonces activar un brazo que inserta el volante sin tener en cuenta el resto de componentes o estado del vehículo, es decir realiza un proceso independiente y aislado.

A pesar de tratarse de procesos aislados, esto no implica que no se empleen buses de comunicación, ya que para procesos que requieran de un gran número de sensores y actuadores, es recomendable la utilización de buses de campo para leer el estado de los sensores, proporcionar señales de control a los actuadores y conectar diferentes autómatas programables para compartir información acerca de la marcha del proceso completo.

También es importante que estos dispositivos posean unas buenas características de interconexión para ser enlazados con el nivel superior (supervisión), generalmente a través de buses de campo.

1.3.3. Nivel de Supervisión (nivel de planta).

Todos los dispositivos de control existentes en planta es posible monitorizarlos si existe un sistema de comunicación adecuado capaz de comunicar estos elementos con otro tipo de dispositivos no dedicados al control sino para la gestión y supervisión, y que habitualmente están constituidos por computadores o sistemas de visualización tales como pantallas industriales. En este nivel es posible visualizar cómo se están llevando a cabo los procesos de planta, y a través de entornos SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de DATos) poseer una “imagen virtual de la planta” de modo que ésta se puede recorrer de manera detallada, o bien mediante pantallas de resumen ser capaces de disponer de un “panel virtual” donde se muestren las posibles alarmas, fallos o alteraciones en cualquiera de los procesos que se llevan a cabo. Mediante este tipo de acciones resulta inmediato disponer de acceso inmediato a cada uno de los sectores de la planta. Para ello, resulta imprescindible la conexión con el nivel de control mediante buses de campo de altas prestaciones, pues a veces resulta necesaria la transmisión de importantes cantidades de datos y la conexión con un gran número de elementos de control. Por ejemplo, en una fábrica de galletas rellenas de chocolate se desea supervisar el proceso de fabricación, con lo que es necesario recibir información de cada uno de los autómatas de control encargados de producir la masa de chocolate, producir la masa de la galleta, colocar y cortar la masa de la galleta, aplicar una pequeña porción de masa de chocolate, colocar la segunda galleta para crear el emparedado, hornear la galleta y envasar el producto final. Para cada tarea nombrada se utiliza un autómata, por lo que un sistema de supervisión debe ser capaz de acceder al estado de cada uno de ellos, visualizar el proceso que lleva a cabo, y de manera global, tener información de cómo está trabajando cada uno de ellos, así como poder acceder a informes generados por el autómata tales como cantidad de ingredientes empleados, galletas producidas, etc. Eventualmente, también es posible modificar los procesos productivos desde los computadores de supervisión. Este nivel sustituye a los grandes paneles y salas de control que durante los años '70 y '80 eran habituales en las grandes empresas, pues el computador lo ha sustituido.

1.3.4. Nivel de gestión (nivel de fábrica).

Dado que el nivel de supervisión ya está constituido principalmente por computadores, el nivel de gestión también lo estará ya que se encuentra más alejado de los procesos productivos. De hecho, en este nivel no es relevante el estado y la supervisión de los procesos de planta, en cambio, sí adquiere importancia toda la información relativa a la producción y su gestión asociada, es decir, a través del nivel de supervisión es posible obtener información de todos los niveles inferiores de una o varias plantas. Un ejemplo de la utilidad de la comunicación de los niveles inferiores con el nivel de gestión es la obtención de información en este nivel acerca de las materias primas consumidas, la producción realizada, los tiempos de producción, niveles de almacenado de productos finales, etc. Con esta información, los gestores de la empresa pueden extraer estadísticas acerca de los costes de fabricación, rendimiento de la planta, estrategias de ventas para liberar posibles excesos de producto almacenado, y en general, disponer de datos que permitan a los niveles directivos la toma de decisiones conducentes a una mejor optimización en el funcionamiento de la planta, todo ello de una manera rápida y flexible dada la rapidez del acceso a los datos de fabricación. Las comunicaciones con este nivel de la pirámide industrial ya no necesitan ser de tipo estrictamente industrial, es decir, muy robustas, de corto tiempo de acceso, etc. sino que ahora los datos que se transmiten son informes que pueden tener un tamaño medio-grande, por lo que habitualmente se emplean redes de comunicación menos costosas como redes Ethernet que se adaptan mejor al tipo de datos que se desean transmitir y además permiten la comunicación eficaz entre los diferentes

computadores del mismo nivel de gestión (compras, departamento comercial, recursos humanos, dirección, diseño, etc.).

Con esta descripción vemos cómo y dónde se emplean las comunicaciones dentro de la industria y cómo este entramado de redes de comunicación permite implantar de forma física el modelo CIM de gestión integrada descrito en apartados anteriores.

1.4. Sistemas normalizados. Sistemas abiertos.

Debido a la gran aceptación que han tenido los sistemas industriales basados en redes de comunicación, han surgido un gran número de protocolos y sistemas físicos capaces de satisfacer las necesidades del mercado. Para que estos sistemas puedan ser implantados de forma generalizada, deben cumplir diversas especificaciones en cuanto a cumplimiento de normativa se refiere, debiendo superar diferentes pruebas de homologación y cumplir con las normativas de normalización impuestas para ese dispositivo o protocolo. Por otro lado, los fabricantes de equipos de automatización se han centrado en dos grandes áreas de trabajo: la propuesta de nuevos equipos de comunicación basados en protocolos y medios de transmisión preestablecidos, y el desarrollo de nuevos sistemas y protocolos de transmisión propietarios.

En el segundo caso, la empresa fabricante se asegura que el protocolo desarrollado no puede ser empleado por otros fabricantes, debiendo recurrir a su permiso expreso en caso de querer desarrollar dispositivos para dicho protocolo, o bien adquiriendo los dispositivos al fabricante. Con este método, el fabricante se asegura el mercado para ese tipo de dispositivos, pero no permite una compatibilidad con el resto de sistemas de automatización que pueden existir en una planta industrial. A menudo se dice que este tipo de automatización provoca la existencia de “islas de automatización”. Debido a los problemas que este tipo de metodología puede originar, los clientes de estos sistemas demandan una compatibilidad entre fabricantes y la adopción de sistemas normalizados y abiertos, regulados por organismos internacionales de modo que se facilite el desarrollo de dispositivos a cualquier empresa y ello permita una mayor compatibilidad entre fabricantes y una mayor rapidez en la implantación de nuevas tecnologías en todo el mundo a unos precios razonables.

Por tanto, el concepto de “Sistema abierto” adquiere gran importancia, y según el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) define un sistema abierto como:

“Un sistema que incorpora suficientes especificaciones o estándares para interfaces, servicios y formatos como para desarrollar y planificar aplicaciones software capaces de: trasladarse con cambios mínimos a un amplio abanico de sistemas provenientes de uno o más fabricantes, dialogar con otras aplicaciones tanto en el sistema local como en sistemas remotos, e interactuar con los usuarios y programadores de modo que facilita la migración”

Adicionalmente, si se dice que un sistema abierto contiene además una “especificación abierta”, la definición anterior se completaría de este modo:

“que permite la inclusión de especificaciones, que mantenidas y actualizadas por organizaciones, son consensuadas por un amplio grupo de expertos, y permiten que se incorporen las nuevas tecnologías y los requerimientos que puedan aparecer con el paso del tiempo”

Con estas definiciones, se puede observar que no se restringe a una tecnología en particular, ya sea hardware o software, que debe ser accesible por todos aquellos interesados ya que la normativa queda regulada por organismos públicos donde todos los fabricantes interesados pueden participar.

Existen varios organismos internacionales encargados, entre otras tareas, de definir los estándares capaces de ser usados por todos aquellos desarrolladores interesados, y que proporcione suficiente flexibilidad, robustez y prestaciones como para ser aceptado globalmente como un estándar “de facto”. Un “estándar” se define como:

“Documentos consensuados que contienen especificaciones técnicas o criterios precisos para ser empleados de forma sólida como reglas, pautas o definición de características para asegurar que materiales, productos, procesos y servicios se ajustan a la función a la que se destinan”

Los organismos internacionales más importantes son:

1. **International Organisation for Standardisation (ISO).** Esta organización internacional y no gubernamental pretende agrupar los estándares que existen y se van creando dentro de cualquier campo de la actividad humana, para de este modo permitir la compatibilidad de los sistemas a lo largo de todo el planeta. Los acuerdos internacionales que incorporen nuevas propuestas son publicados como estándares internacionales ISO.
2. **International Electrotechnical Commission (IEC).** Esta asociación internacional se centra en aspectos más relacionados con los sistemas electrónicos y computadores, por lo que ha servido como base para la creación de la mayoría de los estándares ISO relacionados con los computadores y normativas eléctricas y electrónicas.
3. **Joint Technical Committee No.1 (JTC1).** A partir de 1987, ISO e IEC formaron un comité conjunto que, al igual que ISO e IEC, incorpora los comités nacionales de estandarización, de los que los más conocidos son: BSI (Reino Unido), DIN (Alemania), AFNOR (Francia), ANSI (Estados Unidos), JISC (Japón), CSA (Canadá), AENOR (España). Todos los estándares surgidos a partir de la unión entre ambos comités se preceden del prefijo ISO/IEC. Como ejemplo, al estándar de comunicaciones OSI (Open System Interconnection) le corresponde el estándar principal ISO/IEC 7498.
4. **International Telecommunications Union (ITU).** Es el principal organismo regulador de las telecomunicaciones, en concreto el denominado ITU-T, responsable de la estandarización de las telecomunicaciones. Fue creado en 1993 y sustituye al anterior CCITT (International Telegraph and Telephone Consultative Committee). Su principal misión consiste en asegurar la creación de estándares efectivos que aseguren una alta calidad en cualquier aspecto que involucra las telecomunicaciones. Está formado por diferentes grupos de estudio encargados de proponer diversas recomendaciones en aspectos tales como redes ópticas, redes de cable para transmisión multimedia, protección electromagnética, hasta un total de 18 grupos.

Dentro del ámbito europeo existen varios comités importantes dado que desde ellos han surgido propuestas importantes que finalmente se han convertido en estándares internacionales, como el caso de Profibus, por ejemplo.

1. **European Committee for Standardisation (or Norms) (CEN).**
2. **European Committee for Electrotechnical Standardisation (CENELEC).**
3. **European Telecommunications Standards Institute (ETSI).**

4. **European Workshop on Open Systems (EWOS).** Este grupo propone a los organismos CEN/CENELEC los estándares para conformidad con el modelo OSI y técnicas de test para sistemas de comunicación.

En el caso de organismos norteamericanos, cabe mencionar el Instituto Americano Nacional de Estándares (ANSI), el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) en materia de tecnología, y el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE).

1.4.1. Entornos de sistemas abiertos.

Así como los estándares OSI definen los métodos de interconexión entre computadores y sistemas electrónicos, se define un término que abarca OSI e intenta incorporar mayor número de elementos en los llamados “sistemas de comunicaciones abiertos”, los elementos principales de los que se compone son:

1. Gestión
2. Interfaces de usuario
3. Interfaces de servicio entre programas
4. Formatos de datos e información
5. Interfaces de comunicación

En la literatura anglosajona, se nombra como el modelo POSIX OSE (*Open Systems Environment*). Esta especificación está orientada básicamente al diseño de aplicaciones software, pues si en un entorno de comunicaciones se tienen en cuenta estos cinco aspectos, será posible disponer de sistemas abiertos, robustos, y capaces de integrarse sin dificultades dentro de un entorno ya establecido.