

Comunicaciones y Control Distribuido

Curso 2011/2012-1

Tema 1. Introducción a la Fabricación Automatizada



Contenido

1. Introducción.....	3
1.1 Evolución de los procesos industriales	3
1.2 Sistemas de fabricación automatizada	5
2. Modelos para los sistemas de fabricación automatizada	7
2.1 Modelo SME-CIM.....	7
2.2 Modelos jerárquicos.....	9
2.2.1 Modelos del NBS	9
2.2.2 Modelo ISO de automatización en la fabricación	9
2.2.3 Niveles de control.....	11
3. Planificación y control de la producción	13
3.1 Tipos de procesos industriales	13
3.2 Características temporales. Tiempo real	15
3.3 Monitorización. Sistemas SCADA	15
4. Sistemas distribuidos.....	19
4.1 Sistemas de control centralizados/distribuidos	19
4.2 Tipos de comunicación en los sistemas distribuidos	20
4.3 Elementos con capacidad de comunicación.....	21
4.4 Prioridades	23
4.5 Sincronización	23
5. Célula de fabricación.....	25
5.1 Definición	25
5.2 Elementos.....	26
5.3 Ejemplo: Célula de control de calidad	26
5.4 Tipos de células.....	27
5.5 Control de células	27
6. Ejemplos de plantas con fabricación automatizada	30
6.1 Fabricación de chocolate.....	30
6.2 Otros campos de aplicación	32

1. Introducción

En las últimas décadas el entorno de fabricación ha cambiado debido al consumo de masas, la competencia, los cambios en los mercados y la aparición de las nuevas tecnologías (microprocesadores, robots, bases de datos, redes de área local, inteligencia artificial).

En la actualidad, el proceso de fabricación se caracteriza por su alto grado de automatización.

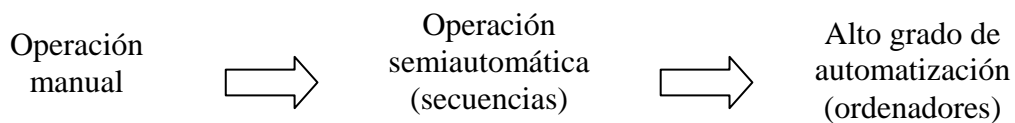


Fig. 1. Evolución del entorno de fabricación

1.1 Evolución de los procesos industriales

Proceso industrial

Los procesos industriales son la parte central de los sistemas de fabricación. En ellos se realiza una interacción entre materiales, energía e información con el fin de producir productos de consumo que tengan un valor añadido. Que el resultado sea competitivo depende de la correcta gestión de estos flujos.

Para extraer el máximo beneficio se recurre a la descomposición del conjunto del proceso industrial en partes coherentes, dentro de un modelo jerárquico, que representan los distintos aspectos de la producción. El estudio de cada una de estas partes, su optimización y sincronización con el resto es fundamental para obtener fábricas cada vez más eficientes y productivas.

Historia de los procesos industriales

Revolución Industrial: En el s. XVIII, y a fin de complementar la labor manual de los trabajadores, aparecieron métodos de soporte a la fabricación de bienes en los cuales se aprovechaba la energía procedente de fuentes hidráulicas y térmicas para multiplicar la productividad. Asimismo, se sentaron las bases teóricas del control retroactivo con objeto de controlar la energía y obtener repetitividad en las operaciones de las fábricas. El regulador centrífugo de Watt y los trabajos teóricos de Maxwell permitieron disponer de energía mecánica suficiente para mover desde telares a locomotoras. Las aplicaciones de este periodo se reducían al control (regulación y estabilidad) de

variables tales como temperatura, presión, nivel de fluidos y velocidad de máquinas rotativas.

Fabricación en cadena: A finales del s. XIX los procesos productivos mejoraron gracias a la división y especialización de tareas repetitivas y sincronizadas (el ejemplo paradigmático es la fábrica Ford). La fabricación del bien se divide en diversas etapas, desde la entrada de materias primas hasta la salida del producto final. Como consecuencia del proceso hacen su aparición los almacenes de productos auxiliares intermedios y su correspondiente gestión.

Secuenciación: A medida que se van diseñando nuevas máquinas para facilitar el trabajo de los operarios, empieza a crecer el uso de los sistemas eléctricos y electromecánicos para crear secuenciadores que permiten a las máquinas realizar secuencias de operaciones repetitivas.

Introducción de los ordenadores y robots: La introducción de los ordenadores en las máquinas industriales permite que éstas adquieran una mayor flexibilidad al poderse programar para realizar tareas más complejas y variables. Los robots son máquinas industriales programables. De hecho, y desde hace unos 15 años, para medir la capacidad de innovación productiva de un país, uno de los indicadores empleados es la dimensión del parque de robots instalados en sus fábricas.

Islas de fabricación: A finales de los 1970s, y dado que las máquinas industriales ya disponían de ordenadores, se empezó a aprovechar su capacidad de comunicación para integrar todos los elementos de la producción y se acuñó el término CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). Los ordenadores se convirtieron en el punto central de las células de fabricación de manera que cada célula controlada por un ordenador pasó a realizar un conjunto de operaciones especializadas (células de soldadura, de pintura, de mecanizado, de montaje,...). Se crearon así las llamadas “islas” de automatización de la fabricación en las que las máquinas intercambian señales, principalmente de sincronización.

Estandarización: Hacia 1980 la General Motors constató que el coste de interconectar los ordenadores de las máquinas era comparable al propio coste de las máquinas puesto que había que diseñar subsistemas de comunicación a partir de entradas y salidas digitales o, en el mejor de los casos, de canales RS232. Cada fabricante seguía sus propios criterios, diseños y nomenclaturas, casi nunca compatibles con los otros fabricantes, lo que provocaba confusión entre los usuarios y aumentaba la complejidad a la hora de interconectar los diferentes equipos. Por ello, y como resultado de acuerdos entre fabricantes, usuarios e instituciones de normalización, se impulsó la definición de unos estándares para facilitar la interconexión de las máquinas y el intercambio de información de alto nivel, además de las señales de sincronización.

Situación actual: Actualmente la fabricación no sólo obtiene productos mediante el control de la materia y de la energía sino también mediante el control de la información. Hoy en día ya no se concibe que una fábrica no esté totalmente interconectada a nivel de máquinas, dispositivos de campo, células, almacenes, gestión, facturación, compras, ventas, servicio post-venta y mantenimiento (Castro *et al.*, 2007).

1.2 Sistemas de fabricación automatizada

Sistema de fabricación flexible (FMS)

Un sistema de fabricación automatizada (FMS, *Flexible Manufacturing System*; FoF, *Factory of the Future*) se define como un conjunto de estaciones de procesamiento de material y dispositivos inteligentes interconectados entre sí capaces de procesar de manera automática y simultánea una extensa variedad de tipos de piezas bajo el control del ordenador.

El sistema no sólo está interconectado por medio de un sistema de transporte de material sino también por una red de comunicaciones que integra todos los aspectos de la fabricación.

La red de comunicaciones transfiere información entre las estaciones de procesamiento (por ejemplo, transfiere los programas de operación) pero también soporta la coordinación, monitorización, control y gestión del sistema entero.

Las principales diferencias de un FMS con respecto a la fabricación tradicional son:

- Alto grado de automatización
- Alto grado de integración (conseguido gracias a la red de comunicaciones)
- Alto grado de flexibilidad (en volumen, encaminamiento y producto)

Flexibilidad en los FMS

El sistema es flexible en lo que se refiere al volumen, encaminamiento y producto:

- Volumen: Es posible cambiar el volumen de parte o de la totalidad de la producción según las necesidades internas o de mercado.
- Encaminamiento: Es posible encaminar piezas a través del sistema de forma dinámica para tener en cuenta las paradas o reconfiguraciones de las máquinas, la disponibilidad de las herramientas, etc.
- Producto: Es posible atender peticiones de una gran variedad de productos distintos. Para ello, debe ser posible reconfigurar las operaciones de procesamiento de piezas, y ser flexible en la coordinación y control de las operaciones.

Ventajas de los sistemas de fabricación automatizada

Las principales ventajas son:

- Incremento de la productividad.

- Reducción de los tiempos muertos (cuando las especificaciones de un producto cambian hay que invertir tiempo en reconfigurar parte del sistema).
- Reducción del tiempo de inventariado.
- Reducción de la carga de trabajo.
- Reducción de los costes.
- Uso más eficiente de los equipos (se estima que en un FMS el rendimiento es del 85-95% frente al 40-60% de la fabricación tradicional).
- Mejora de la calidad del producto.

2. Modelos para los sistemas de fabricación automatizada

Diversas instituciones de estandarización han creado modelos para los sistemas de fabricación automatizada. Entre ellas destacamos las siguientes:

- **EIA:** *Electrical Industries Association*
- **IEC:** *International Electrotechnical Commission*
- **ISO:** *International Standards Organization*
- **NBS:** *National Bureau for Standardization*
- **SME:** *Society of Manufacturing Engineers*

2.1 Modelo SME-CIM

CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) es un concepto que apareció a finales de la década de los 1970s. Consiste en el uso de la tecnología de los ordenadores en todas las etapas de la producción, desde el diseño al control de calidad final. CIM engloba todos los aspectos del proceso productivo: fabricación, *marketing*, ventas, ingeniería, materiales, finanzas, recursos humanos,...

La Fig. 2 muestra el modelo CIM del SME.

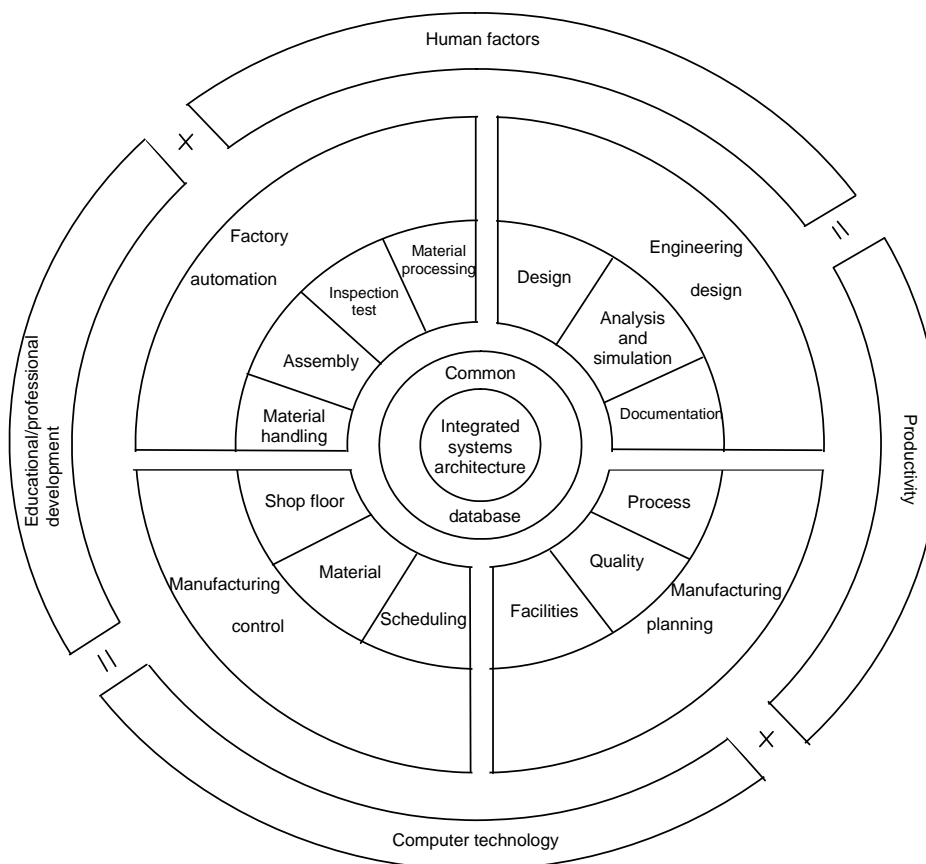


Fig. 2. Modelo SME-CIM

Áreas clave del modelo CIM

Según este modelo el aumento de la productividad (*productivity*) es consecuencia del uso adecuado y coordinación de: (1) el capital humano (*human factors*), (2) la formación (*educational/profesional development*) y (3) las nuevas tecnologías (*computer technology*). Estos tres factores deben actuar en cuatro áreas clave que son:

- Automatización de la fábrica (manejo y procesamiento de materiales, montaje y test de calidad)
- Control de la fabricación (planificación, almacenes, materiales)
- Planificación de la producción (gestión de las instalaciones, procesos y calidad)
- Ingeniería (diseño, análisis y simulación, documentación)

Estas cuatro áreas están altamente integradas y comparten una base de datos común.

Organización del modelo CIM

Se consideran un conjunto de sistemas de transporte, un conjunto de sistemas de procesamiento y una base de datos central (ver Fig. 3). Notar que los sistemas de transporte y de procesamiento son a su vez de dos tipos: de materiales y de información. Todas las funciones del modelo CIM están enlazadas por medio de una red de comunicaciones.

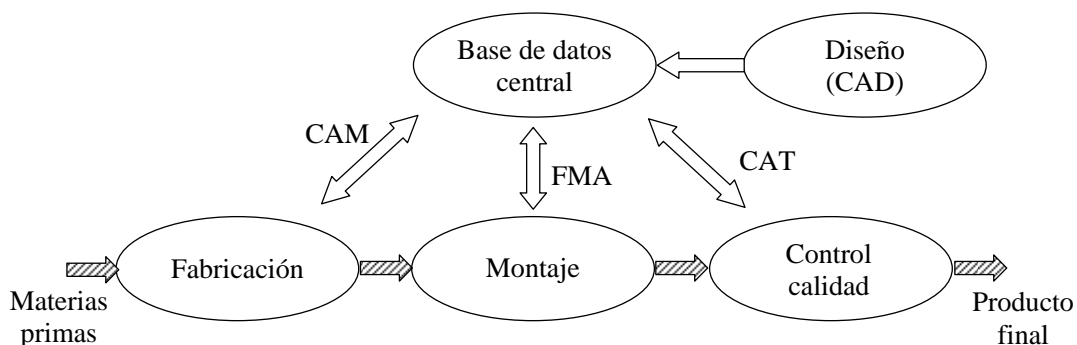


Fig. 3. Flujo de material y flujo de información

Sistemas de transporte: Los materiales se transportan por medio de dispositivos como p. ej. los AGV (*automated guided vehicles*) y las cintas transportadoras. Todos ellos son sistemas de manejo automático de materiales (*automated material handling*). La información es transportada por la red de comunicaciones. En la Fig. 3, el flujo de material corresponde a las flechas sombreadas. Las flechas blancas corresponden al flujo de datos.

Sistemas de procesamiento: Son las distintas estaciones, incluyendo la robótica y la tecnología de procesos. Destacan las siguientes: estaciones de diseño asistido por ordenador (CAD, *Computer Aided Design*), de fabricación asistida por ordenador (CAM, *Computer Aided Manufacturing*), de fabricación y montaje flexibles (FMA,

flexible manufacturing and assembly), y de control de calidad (CAT, *Computer Aided Test*).

Base de datos: Es crucial para la planificación y gestión de la producción, el control del proceso, su programación, el mantenimiento de las herramientas, el control de los robots encargados del montaje, el control de *stocks* y almacenamiento de materiales, etc.

2.2 Modelos jerárquicos

El modelo CIM no muestra niveles de control y no permite diseñar los distintos niveles y tipos de redes de comunicación. Los modelos jerárquicos sí.

Los modelos jerárquicos surgen de la necesidad de organizar de manera sistemática los sistemas de fabricación junto con los de comunicación. Cada nivel está asociado a un tipo de operaciones y actividades. Los procesos de un determinado nivel suministran servicios al nivel superior y solicitan servicios al nivel inferior.

2.2.1 Modelos del NBS

El NBS (*National Bureau for Standardization*) propone dos modelos:

- NBS-AFMS (*Advanced Factory Management System*)
- NBS-AMRF (*Advanced Manufacturing Research Facility*)

1	Factory Control System
2	Job Shop
3	Work Center
4	Unit/Resource

Fig. 4. Modelo NBS-AFMS

1	Facility
2	Shop
3	Cell
4	Workstation
5	Equipment

Fig. 5. Modelo NBS-AMRF

2.2.2 Modelo ISO de automatización en la fabricación

La Fig. 6 muestra el modelo de referencia ISO (*International Standards Organization*) para la automatización industrial. Se trata del *Technical Report ISO TC184/SC5/WG1-N58*. Define la jerarquía que ha de dar soporte a todas las funciones de producción

desde el nivel superior (la empresa) al nivel encargado de la producción física (equipamiento).

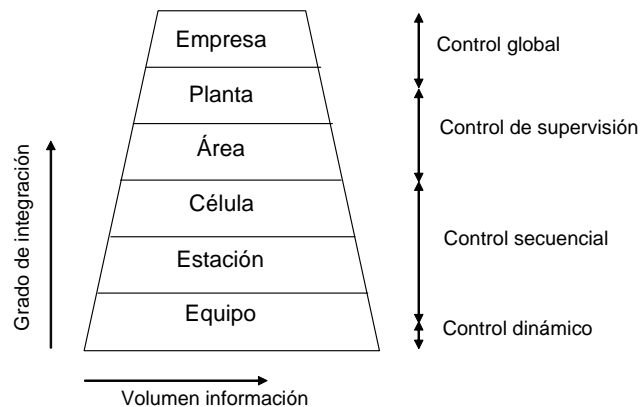


Fig. 6. Modelo ISO

Funciones de cada capa

Empresa: Gestión corporativa (ERP: *Enterprise Resource Planning*)
Finanzas, función administrativa, *marketing* y ventas, investigación y desarrollo.

Planta: (o Factoría) Planificación de la producción (MRP: *Manufacturing Resource Planning*)
Diseño del producto, ingeniería, gestión de recursos, mantenimiento.

Área: (o Sección) Asignación y supervisión de materiales y recursos
Coordinación de la producción, obtención y asignación de recursos, envío, tratamiento de sobrantes.

Célula: Coordinación de múltiples máquinas y operaciones (MES: *Manufacturing Execution System*)
Producción a nivel de célula, secuenciación y gestión de los trabajos a nivel célula, gestión de alarmas, monitorización de la producción y los procesos, supervisión de los servicios de transporte.

Estación: Control de máquinas. Secuencias de comandos de automatización
Producción a nivel de estación, dirección y coordinación de los equipamientos del nivel estación, ejecución de las órdenes de producción.
Una estación (*workstation*) puede estar compuesta de un robot, una herramienta (torno, taladro, fresadora), un *buffer* de almacenamiento de materiales y un ordenador.

Equipo: Activación de secuencias y movimientos
Producción a nivel de equipamiento, activar secuencias, fabricación física del producto, ejecución de comandos de producción.
Un equipo consta del control de recursos individuales, sensores, actuadores, etc.

Información en cada capa

En la capa de empresa la información la constituyen los memorándums sobre la planificación de la producción y los costes y beneficios. En la capa de planta se utiliza el CAD. Y en la capa de equipo la información relevante son las lecturas de los sensores de temperatura, posición, identificador de máquina,...

Tipos de redes (jerarquía) en cada capa

Los diferentes tipos y volumen de información se transportan mediante distintos tipos de redes interconectadas entre sí por medio de puertas de enlace (*gateways*). Así, podemos hablar de redes de empresa (Ethernet, fibra óptica) que conectan largas distancias y llevan mucha información, redes de ingeniería (conectan *workstations* entre sí), redes de fábrica, redes de oficinas (Ethernet, *token ring*), redes de célula y redes de campo. Estos tipos de redes se tratarán en un tema aparte más adelante.

2.2.3 Niveles de control

La clasificación jerárquica de los sistemas de control según el nivel de abstracción (de menos a más) es el siguiente:

Control dinámico

Las funciones de control las realiza un controlador dinámico. Este controlador implementa el algoritmo que controla directamente las variables del proceso como, por ejemplo, la tensión que lleva el brazo de un robot a la posición deseada. El algoritmo de control más utilizado es el PID (de acción proporcional-integral-derivativa). Cuando estos controladores se implementan en procesadores digitales se habla de DDC (*Direct Digital Control*).

Control secuencial

Aquí lo que se controla es una secuencia de acciones como, por ejemplo, las que constituyen el proceso de pintado automático de piezas. El proceso se divide en etapas. Cada etapa es una actuación binaria simple o iniciar una operación DDC. Las funciones de control las lleva a cabo un controlador secuencial como pueda ser un autómata programable o PLC (*Programmable Logic Controller*) pero también otros microprocesadores y mini-ordenadores.

Control de supervisión

Consiste en la especificación y optimización de la operación de un conjunto de DDCs y/o PLCs. Las funciones propias de este tipo de control (*dynamic scheduling system*) son las siguientes:

- Asignar trabajos a las máquinas cuando están en reposo o los recursos se han agotado.
- Cambiar el orden de las actividades de un proceso (orden en que se fabrican las piezas, orden con que se envían las herramientas a las estaciones de procesado, orden en que se cargan los productos en los pallets).
- Monitorizar el estado de la producción.
- Evaluar del coste de un proceso y elaborar históricos.

Control global

También llamado *system-wide control*, consiste en la planificación de la producción, por ejemplo, en decidir qué productos (y cuántas unidades) se van a fabricar. Dos conceptos relacionados con este nivel son:

- MPS: *Master Production Scheduling*
- MRP: *Material Requirements Planning*

3. Planificación y control de la producción

Es un área que se beneficia mucho de las redes de comunicación. Consiste en la elaboración de programas (*schedules*), esquemas, algoritmos, etc. para el control del sistema de fabricación automatizada de manera que se cumplan los objetivos corporativos.

3.1 Tipos de procesos industriales

Existen varios tipos de clasificación de procesos industriales (métodos de explotación), sin embargo la que se utiliza con mayor frecuencia para discutir los distintos tipos de control y las aplicaciones de comunicaciones es la segmentación de las industrias en unidades de operación continuas, discontinuas, por lotes y discretas.

Plantas de proceso continuo

Definición: Son sistemas de fabricación en los que las operaciones son continuas tanto en el tiempo como en el procesado de materiales. Es decir, son aquellas en las que la materia prima, los productos intermedios y finales son fluidos y son procesados de manera continua por un largo período de tiempo, en ocasiones por años, sin paro alguno.

Ejemplos: La operación continua es típica de las industrias químicas, petroleras y energéticas. Por ejemplo, las plantas de destilación tienen un flujo constante de material a su entrada, su procesado requiere mantener reguladas ciertas variables (temperatura, etc.) y su salida es constante (con una cierta calidad del producto definida en sus especificaciones).

Control: Se usa control retroactivo para el control de las variables particulares del proceso y control de supervisión para monitorizar el proceso de manera global (eventos, alarmas, históricos, tendencias).

Plantas de proceso discontinuo

Definición: Son plantas de proceso continuo como las anteriores excepto por el hecho de que cada cierto tiempo se cambia de un producto a otro. Ello implica que en ocasiones se realicen paros y arranques, o se cambie de una condición de operación a otra con el fin de realizar un producto similar. A menudo es necesaria una automatización adicional para implementar los cambios en las condiciones de operación.

Ejemplos: Este tipo de operaciones se suele dar en las industrias que fabrican papel, alimentos y ciertos productos químicos.

Control: Control retroactivo de las variables del proceso y control de supervisión para gestionar la totalidad del proceso con sus eventos, históricos, alarmas,...

Plantas de proceso discreto

Definición: Las plantas de proceso discreto son aquellas en las que se produce un producto a la vez (un barco) o bien en grandes cantidades en una línea de producción masiva (televisores). El proceso consiste en realizar una acción o conjunto de acciones de manera repetitiva. La entrada de materiales es discreta y los patrones temporales también. Es el caso de procesos que utilizan una línea de ensamblaje donde el producto se mueve a través de las diferentes unidades de operación. También puede ser que el producto permanezca en una estación y sean los diferentes procesos los que actúen sobre él.

Ejemplo: Es el caso de las plantas de dispositivos electrónicos donde se parte de distintas materias primas y se ensamblan componente a componente mediante la intervención de distintas máquinas que se sincronizan entre ellas. Otros ejemplos son la fabricación de automóviles, electrodomésticos, aviones, barcos, etc.

Control: Mediante autómatas programables integrados en las máquinas o externos. Las máquinas se intercambian señales de eventos para efectuar tareas de sincronización y seguimiento.

Plantas de proceso batch o por lotes:

Definición: Combinan procesos continuos y discretos. El procesamiento se realiza siguiendo una secuencia específica de varias operaciones, donde algunas de estas pueden ser continuas. La materia prima se mezcla toda junta según la especificación de una receta y luego se procesa en una trayectoria específica bajo ciertas condiciones de operación como temperatura, presión, densidad, viscosidad, etc. Esta trayectoria puede incluir procesos tales como mezcla, aglutinación, fermentación, cocido,... En algunas ocasiones se usan aditivos adicionales en diferentes momentos en el ciclo de procesamiento. El producto deseado es extraído y/o envasado formando un lote y, a continuación, se prepara otra tanda.

Ejemplos: Las operaciones por lotes son la forma más antigua de operar pero la más frecuentemente usada en industrias como la química, de alimentos, minerales, fármacos, textiles y pieles. Por ejemplo, en la fermentación de los productos lácticos, la receta consiste en la agregación de las materias iniciales en un reactor, la aplicación de calor siguiendo un perfil de temperaturas y la finalización del proceso retirando el producto manufacturado y limpieza del reactor para iniciar una nueva fabricación.

Control: Control de supervisión por medio de equipos que gestionan las recetas, su aplicación y que hacen el seguimiento y control de cada lote.

3.2 Características temporales. Tiempo real

Requerimientos

Los requerimientos temporales de los sistemas industriales dependen del tipo de proceso concreto.

Los procesos continuos suelen ser procesos con unas constantes de tiempo largas (varios segundos pero pueden llegar a minutos o incluso horas en algunas aplicaciones). Se recomienda un muestreo de entre 1 y 3 muestras dentro de la constante de tiempo (tiempo que tarda el proceso en alcanzar el 63% de su valor final) y de entre 4 y 10 muestras dentro del tiempo de establecimiento (tiempo que tarda el proceso en alcanzar el 95% de su valor final).

Los procesos discretos son mucho más rápidos. Los procesos y máquinas deben trabajar con una repetitividad mucho mayor. Las operaciones individuales pueden durar décimas de segundos; en ese caso las señales que circulen por la red deben responder en milisegundos. Si las señales son demasiado rápidas se recurre a la conexión directa punto a punto entre las máquinas y sus autómatas.

En los procesos batch, al combinar la operación continua con la discreta, ciertas partes del ciclo como las continuas son lentas mientras que las partes discretas son mucho más rápidas.

Tiempo real

Se dice que un sistema es de tiempo real cuando todos sus componentes temporales están limitados, es decir, cuando cada una de sus respuestas tiene un valor máximo establecido. Al conocer dicho valor máximo y cuál es la cadena de operaciones, es posible calcular el peor caso de ejecución del proceso. Este cálculo permite diseñar el sistema evitando bloqueos y evaluar la eficacia del proceso.

Sistema de tiempo real estricto (*hard real time*): Sistema que cuando no se cumple algún plazo puede tener alguna consecuencia irreparable o catastrófica.

Sistema de tiempo real no estricto (*soft real time*): Sistema capaz de admitir alguna pérdida en sus plazos sin causar daños en su estructura ni en su operación.

3.3 Monitorización. Sistemas SCADA

Monitorización

Consiste en la recogida de datos o información sobre un sistema con diversos propósitos. Los datos pueden ser lecturas de sensores, estados de las máquinas, etc. Los sistemas que se monitorizan son controladores numéricos (NC, *numerical control*),

herramientas (taladros, fresadoras, ...), sistemas de robots, cintas transportadoras y vehículos autónomos (AGV, *automated guided vehicle*). La monitorización se usa para control, registro de tendencias, mantenimiento y otros propósitos.

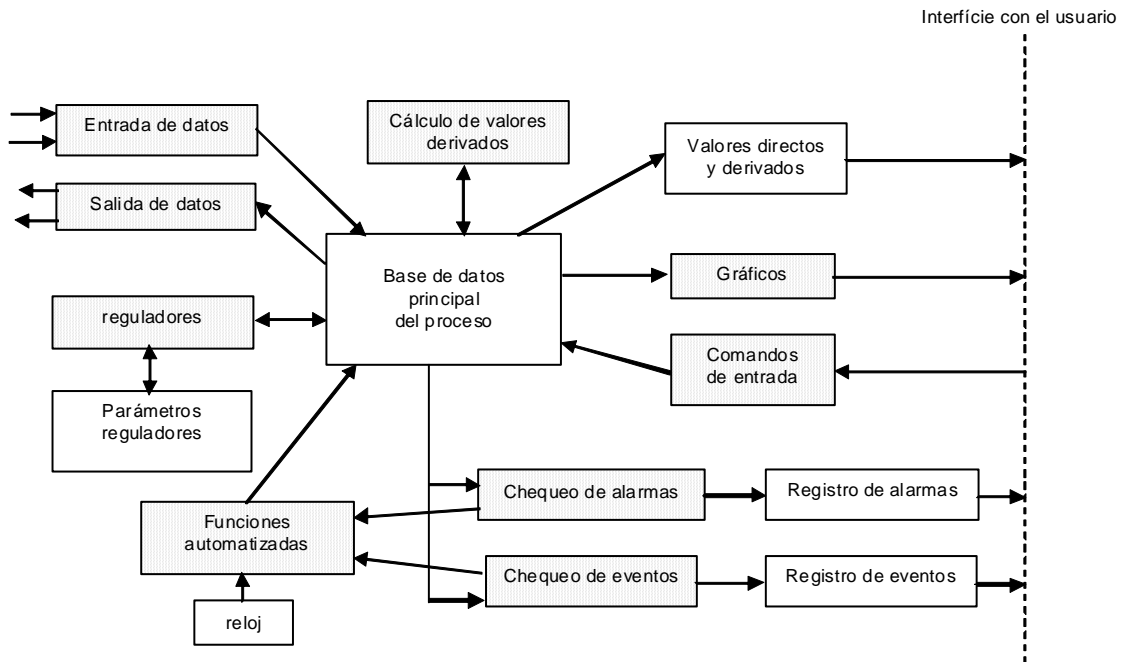


Fig. 7. Base de datos para monitorización y control (M&C)

Ejemplo de contenido de la base de datos

```

CODE:                T439
DESCRIPTION:         IN TEMP PRIMARY CIRCUIT
TYPE:                AI
ADDRESS:             #7.12.2
EVENT CLASS:        0
ALARM CLASS:        3
SAMPLE (SEC):       30
RAW VALUE:          3228
CONVERTED VALUE:    78.8
ALARM STATE:        1
A. COEFF:           0
B. COEFF:           0.0244
UNITS:              C
MIN. VALUE:         50
MAX. VALUE:         75
    
```

```

CODE:                K010
DESCRIPTION:         PRIMARY LOOP PUMP
TYPE:                DI
ADDRESS:             #7.45.01
EVENT CLASS:        0
ALARM CLASS:        0
SAMPLE (SEC):       0
RAW VALUE:          1
CONVERTED VALUE:    ON
ALARM STATE:        0
STATE=0:            OFF
STATE=1:            ON
ALARM STATE:        -
    
```


Manejo de la base de datos

Acceso: Selección / Proyección / Ordenación (*sorting*)

Extracción de información: *Query*

```

For all points with code = "A*", "B*"
    and type = AI
    print code, description, value, units
    ordered by code
End
    
```

Protocolos: Mantenimiento, Análisis de datos

Sistemas SCADA

SCADA: *Supervisory Control And Data Adquisition*

Data Adquisition (Monitorizar): Recoger una colección de variables del proceso físico, almacenarlas y presentarlas de forma adecuada al operador humano.

Supervisory Control: El operador basa sus decisiones en la monitorización

Ejemplo de pantalla SCADA

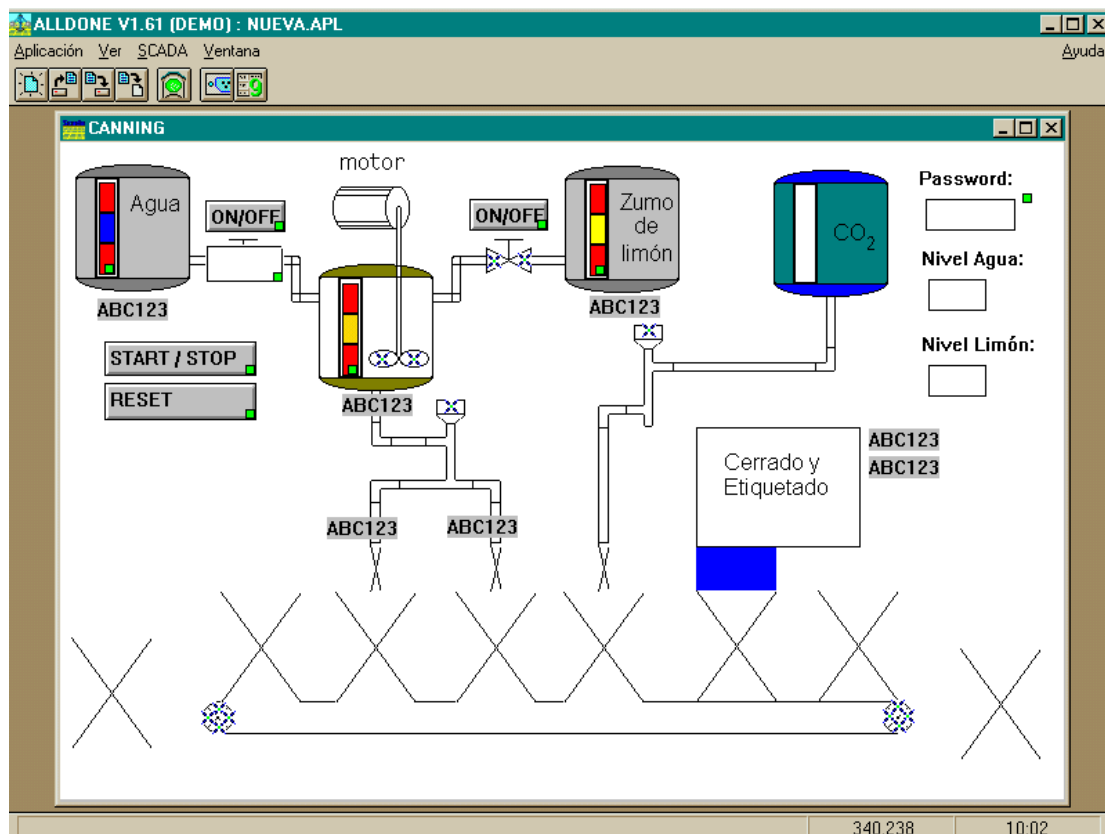


Fig. 8. Pantalla en modo de desarrollo

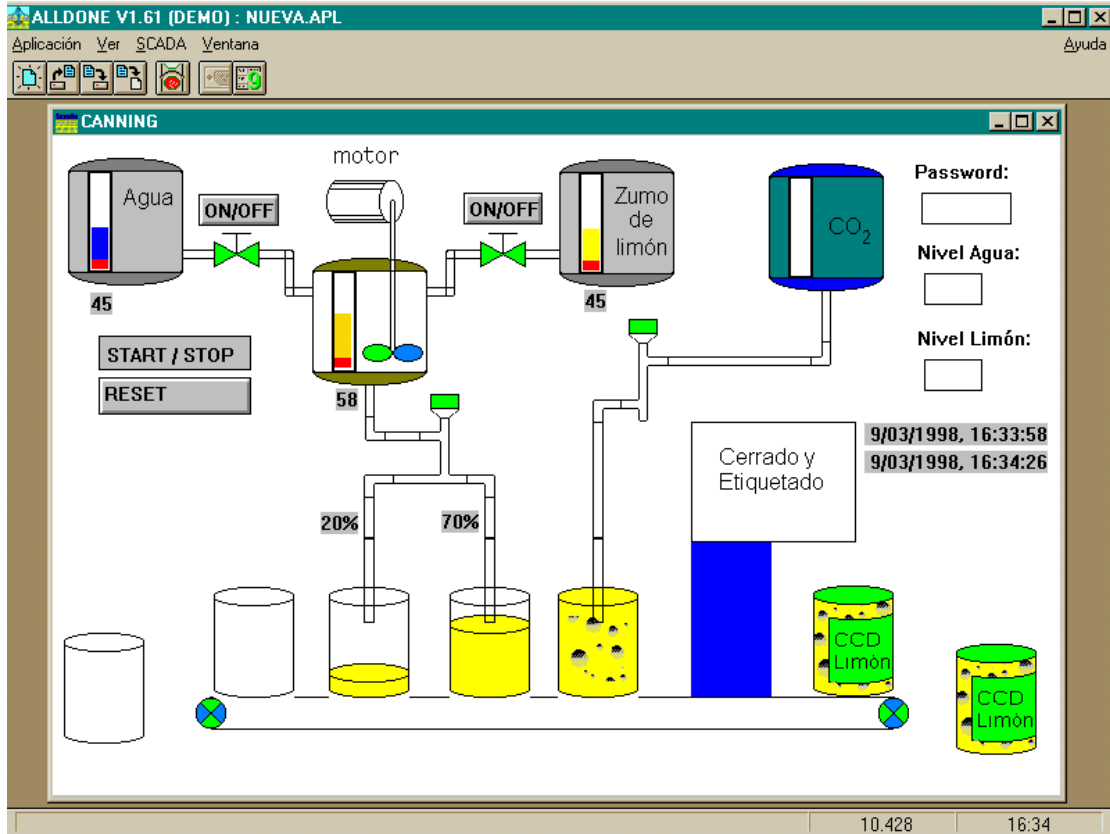


Fig. 9. Pantalla en modo *run time*

4. Sistemas distribuidos

4.1 Sistemas de control centralizados/distribuidos

El grado de descentralización es función del número y localización de los ordenadores con tareas de monitorización y control.

Sistema centralizado

Todos los ordenadores están agrupados, normalmente en una sala de control (*control room*)

No existe red de comunicaciones

Ventajas

- 1) Efectivo si el sistema no es ni grande ni complejo
- 2) Fácil de mantener
- 3) Fácil desarrollo de los programas de aplicación

Inconvenientes

- 1) Limitada capacidad de monitorización y control
- 2) Totalmente sensible a fallos del ordenador central
- 3) No soporta aplicaciones de fabricación automatizada

Sistema distribuido

Las funciones de control se encuentran repartidas en los nodos de una red de ordenadores/dispositivos inteligentes. El bus de campo es un ejemplo de red de comunicación para este tipo de sistemas.

Ventajas

- 1) Más capacidades (múltiples estaciones trabajando simultánea y concurrentemente)
- 2) Permite sistemas grandes, complejos, *on-line*
- 3) Alto grado de automatización, integración y flexibilidad
- 4) Las estaciones son independientes unas de otras
- 5) Permite la expansión gradual

Inconvenientes

- 1) Entorno hostil. Las estaciones se ponen donde son necesarias
- 2) Compatibilidad de las comunicaciones
- 3) Interoperabilidad

A diferencia del control centralizado, el control distribuido aprovecha al máximo el potencial del uso de ordenadores en los procesos industriales. Otras características son:

Elementos: El sistema de control distribuido incorpora los siguientes elementos:

- Conjunto de ordenadores (PCs, estaciones de trabajo,...)
- Módulos controladores (correspondientes al control de máquinas o dispositivos)
- Automatas programables
- Sistemas de comunicación que enlazan a todos los anteriores

Control: El sistema de control distribuido se caracteriza por una funcionalidad jerarquizada. En este sentido

- Se convierten los problemas complejos en un conjunto de problemas individuales
- Se usa la teoría del control de sistemas multivariable y de los sistemas de gran escala
- Se preparan soluciones de uso general
- Se admite una modularidad equilibrada

Implementación: La implementación en *hardware* y *software* de tiempo real debe ser suficientemente fiable y mantenible. Se pueden diseñar de manera eficiente las características de fiabilidad que se desean para el sistema:

- Duplicación
- Gestión de métodos de excepción
- Gestión de alarmas
- Recopilación de incidencias

4.2 Tipos de comunicación en los sistemas distribuidos

Los sistemas distribuidos están formados por dispositivos autónomos inteligentes que cooperan con objetivos concretos. En el área de las comunicaciones industriales existen tres procedimientos o modelos de comunicación:

- Modelo cliente-servidor
- Modelo productor-consumidor
- Modelo de publicación-subscripción

	modelo cliente-servidor	modelo productor-consumidor	modelo publicación-subscripción
Tipo de comunicación	Entre iguales (<i>peer-to-peer</i>)	Difusión (<i>broadcast</i>)	Multidifusión (<i>multicast</i>)
Estilo de comunicación	Orientada a la conexión	Sin conexión explícita	Sin conexión explícita
Relación maestro-esclavo	Uno o varios maestros	Varios maestros	Varios maestros
Servicios de comunicaciones	Confirmados Sin confirmar Con confirmación	Sin confirmar Con confirmación	Sin confirmar Con confirmación
Clases de aplicaciones	Transferencia de parámetros Comunicación cíclica	Notificación de eventos Alarmas Eventos Sincronización	Cambios de estado Notificación de eventos

Tabla 1. Tipos de comunicaciones industriales

4.3 Elementos con capacidad de comunicación

Aquí vamos a considerar los elementos que juegan un papel en la planificación y control de la producción. Son los elementos que generan información susceptible de ser transportada por la red de comunicaciones. Así, para nosotros un tacómetro no es relevante (sólo le interesa a su propio robot). En cambio, sí que consideraremos finales de carrera o sensores de posición en una cinta transportadora.

Los elementos relevantes más son los siguientes:

Sensores

Destacan los de presión, temperatura, posición, par, presencia...

Actuadores

Como por ejemplo los motores, relés, válvulas...

Robots industriales

Un robot industrial se define como un manipulador mecánico programable capaz de moverse en diversas direcciones, equipado con un extremo efectivo (*end-effector*) y diseñado para llevar a cabo trabajo de fábrica realizado tradicionalmente por seres humanos. Lleva incorporado un sistema de control y es capaz de operar de manera independiente (*stand alone*). Las aplicaciones son variadas: manejo de materiales, pintado con *spray*, ensamblado,...)

Un IMRS (*Integrated MultiRobot System*) consiste en un conjunto de 2 o más robots, máquinas y sensores que ejecutan procesos industriales con eficiencia, flexibilidad y fiabilidad.

NC (Numerical Control)

Según la EIA un NC se define como un sistema con acciones controladas por la inserción directa de datos numéricos en algún punto. El sistema interpreta automáticamente al menos una parte de dichos datos. Las acciones más comunes corresponden a la operación de taladros (*drill*), tornos (*lathe*) y fresadoras (*mill*).

También se habla de

- CNC (*computerized numerical control*): es la extensión lógica del NC
- DNC (*direct numerical control*): es un NC muy flexible y controlado por ordenador

PLC (Programmable Logic Controller)

Dispositivo de estado sólido usado para controlar la operación de máquinas y procesos por medio de un programa almacenado y el estado de los dispositivos de entrada y salida

Sistemas de transporte de material (*transfer systems*)

Transportan materiales y piezas entre células de fabricación, estaciones de ensamblado, de control de calidad y otras estaciones. No se usan robots porque las distancias son demasiado largas.

Típicamente se usan los siguientes dispositivos.

- AGV (*Automated Guided Vehicles*). Cargan, descargan y transportan material sin intervención humana, bajo control por ordenador. Consisten en tres unidades funcionales: 1) las guías (*guidepath*) que sigue el vehículo, p. ej., cables, raíles, mensajes de radio. 2) los vehículos (*carts*) sin conductor y 3) el sistema de control, basado en microprocesador, ordenadores en planta, *on-board*, dispositivos de control del tráfico local que además comunican con el sistema de control FMS global,...
- Montacargas o remolcadores (*towline*). Suben o bajan las plataformas o *palettes* que contienen las piezas de trabajo
- Cintas transportadoras (*roller or belt conveyor systems*). Llevan piezas. Se pueden mandar piezas de una célula a otra (*cross-roller conveyors*). Los modos de operación son 1) transferencia continua, 2) transferencia síncrona, y 3) *power and free* (es del tipo *master-slave*)

Almacenes automatizados (*automated warehouses*).

También llamados AS/RS (*automated storage/retrieval systems*). Las funciones relacionadas son: 1) el control por ordenador del material (estado y localización en todos los subsistemas), 2) reducción de la carga de inventariado mediante el uso de algoritmos apropiados, 3) mejora de la seguridad y reducción de la pérdida de productos localizando partes dañadas, errores,... y 4) eliminar operaciones de gestión innecesarias

Sistemas de visión

Se usan en la identificación y localización de objetos, verificación de dimensiones y patrones. Pueden enviar información lógica (p. ej.: el objeto X está perdido) o de vídeo (aplicaciones de seguridad). Los lectores de códigos de barras (*bar code readers*) se usan para identificación y son muy fáciles de instalar.

Ordenadores

- Los controladores basados en microprocesador realizan la misma función que los PLCs tradicionales pero son más rápidos, pueden manejar más datos y su programación es más flexible. Sin embargo tienen menos entradas y salidas.
- Los micro y mini ordenadores (*cell computer* o *CAD/CAM station*) controlan los movimientos de robots y realizan funciones de monitorización y control.
- Los ordenadores *mainframe* realizan el control de alto nivel y gestionan las bases de datos para la totalidad de la producción.

4.4 Prioridades

Asignación

La asignación de prioridades a tareas, mensajería o acciones concurrentes consiste en definir un orden de precedencia. Así, las órdenes suelen ser prioritarias sobre las lecturas de sensores.

Gestión

La gestión de prioridades consiste en el mecanismo que sigue el planificador al asignar el recurso compartido (CPU o red) a cada una de las tareas o mensajes. Así, en los sistemas de comunicación con paso de testigo, la prioridad de la mensajería está condicionada por la posición relativa del testigo con respecto al nodo que quiere transmitir el mensaje.

Prioridades en los sistemas de comunicación

Hay de dos tipos: las correspondientes a los distintos nodos y las correspondientes a la estructura interna de cada nodo. Por ejemplo, hay nodos que pueden tener distintos *buffers* de salida. Cuando estos nodos pueden transmitir primero envían los mensajes del *buffer* de mayor prioridad y, si aún tienen tiempo, siguen con los mensajes del resto de *buffers*.

4.5 Sincronización

Las aplicaciones distribuidas se sincronizan mediante diversos mecanismos

- mecanismos de interacción mutua (pueden provocar bloqueos y abrazos mortales)
- el uso de semáforos para indicar la disponibilidad de uso de sistemas compartidos

Bloqueo

Se produce un bloqueo cuando el sistema deja de avanzar según los parámetros establecidos. Puede ser debido a fallos en los algoritmos o protocolos. Por ejemplo, cuando se entra en un bucle en el cual nunca se da la condición de salida.

El bloqueo se puede prevenir hasta cierto punto con el uso de técnicas defensivas de programación, es decir, intentando explicitar todas las condiciones posibles y alternativas en los saltos condicionados (*if...then...else, case of...otherwise*).

Para solucionar un bloqueo se pueden usar temporizadores de actividad o paso (*watchdog* o perro de presa). Estos temporizadores observan el paso del programa por lugares estratégicos del código o en la generación de ciertos mensajes y empiezan a contar. Si se llega al término de cuentas, se supone que ha habido un bloqueo y se resetea.

Abrazo mortal

Es un tipo especial de bloqueo entre acciones, tareas o partes del protocolo concurrentes fuertemente sincronizadas. Es el caso en que una acción A queda a la espera de que la acción B le mande una condición de sincronización. Pero la acción B a su vez también está a la espera de que la acción A le mande un mensaje de sincronización. De esta forma, las dos partes están en una situación de espera mutua, lo que se conoce como abrazo mortal.

Para resolver el abrazo mortal se usan sincronizadores u otros elementos de supervisión externos que analizan la evolución de las acciones y, en su caso, desbloquean las acciones correspondientes. También se pueden usar temporizadores *watchdog*.

Semáforos

Son mecanismos de señalización que buscan la exclusión mutua de los recursos compartidos. La estructura más básica es una palabra binaria que indica si el recurso está ocupado o libre.

5. Célula de fabricación

5.1 Definición

Las operaciones de fabricación se dividen en celdas o células (FMC, *flexible manufacturing cell*). Cada célula es responsable de la fabricación de una parte del producto. Se interconectan por medio de un sistema de transporte de materiales y productos acabados (por ejemplo, AGV y cintas)

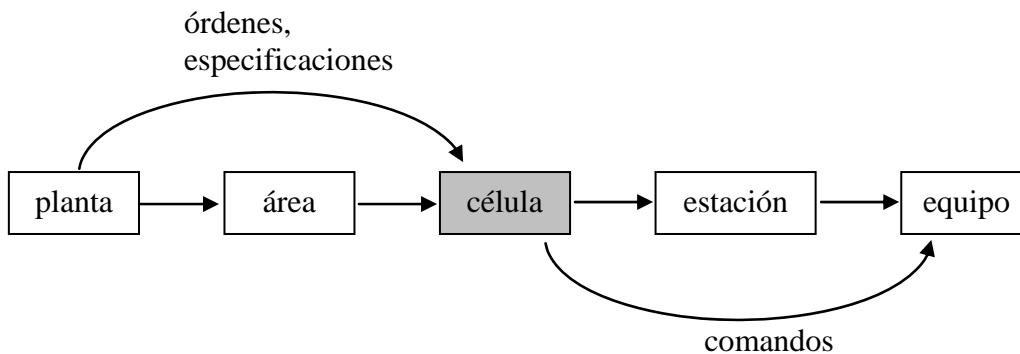


Fig. 10. Posición de la célula en la jerarquía ISO

La producción se reparte en células debido al ruido, requerimientos químicos, requerimientos de materias primas, o duración de los ciclos de fabricación. La flexibilidad en una célula se refiere a que no se restringe a sólo un tipo de piezas o proceso, sino que puede acomodarse fácilmente a distintas piezas y productos, usualmente dentro de familias de propiedades físicas y características dimensionales similares.

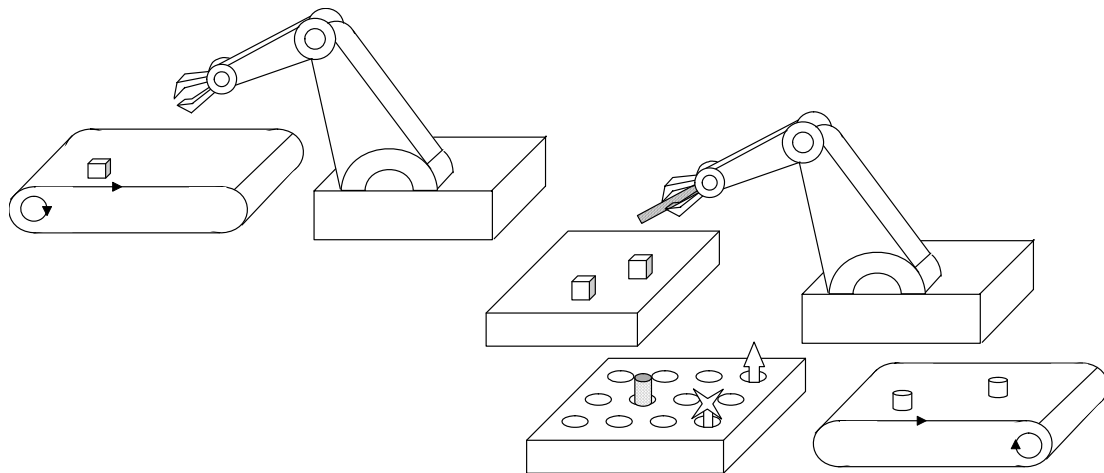


Fig. 11. Ejemplo de célula de fabricación flexible

5.2 Elementos

Una de las distinciones entre célula y área es la falta de grandes manipuladores de material (como AGVs) entre las máquinas de una célula.

Las máquinas en una célula están usualmente ubicadas de manera circular, muchas veces con un robot en el centro, el cual mueve las partes de máquina en máquina. El conjunto de máquinas en una celda se complementa para efectuar una actividad básicamente relacionada, como mecanizado, taladrado, terminación superficial o inspección de una pieza.

Las configuraciones de células incorporan típicamente los siguientes elementos:

- Ordenadores (de diversa complejidad)
- Dispositivos de procesamiento. Numérico (CNC, DNC) y de materiales (torno, taladro, fresadora)
- Sistemas de transporte de material (cintas, robots)
- Dispositivos de testeo (sistemas de visión, de medida (CMM *coordinate measurement machines*))
- Sistemas de almacenamiento (*buffer areas*)

5.3 Ejemplo: Célula de control de calidad

La Fig. 12 muestra una célula compuesta por:

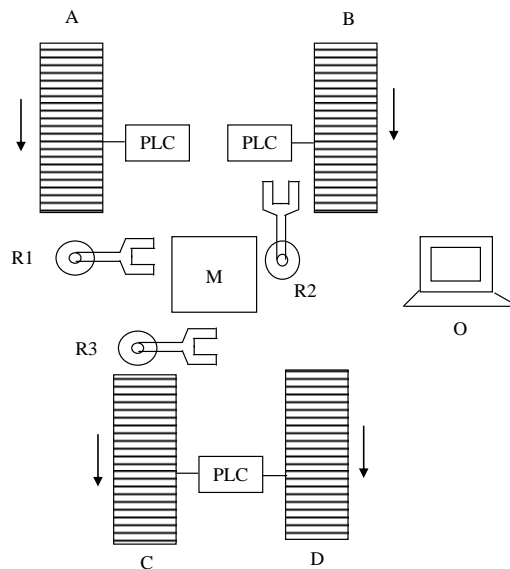


Fig. 12. Ejemplo de célula de control de calidad

- Una máquina que realiza medidas (M)
- Cuatro cintas transportadoras (A, B, C, D)

- Dos robots que cargan (R1, R2) la máquina y un robot (R3) que descarga la máquina. R3 pone las piezas en C o D dependiendo si han pasado el control de calidad o no.
- Un ordenador (O) que controla las funciones de la célula: carga/descarga de programas/datos, monitorización de las operaciones y gestión de alarmas. Además cada robot y cada máquina tienen su propio controlador.

5.4 Tipos de células

Los dos atributos de la célula son:

- Memoria local
- Capacidad de toma de decisiones (inteligencia)

Según estos dos atributos se definen cuatro tipos de células (cuatro niveles de dependencia con el nivel superior):

- Gran memoria, gran inteligencia: Soportan aplicaciones en tiempo real y multitarea.
- Baja memoria, gran inteligencia: Necesitan que el nivel superior les suministre programas y datos.
- Gran memoria, baja inteligencia: Necesitan comandos detallados del nivel superior.
- Baja memoria, baja inteligencia: Necesita comandos detallados y que le transfieran programas y datos

5.5 Control de células

El control puede ser centralizado o bien descentralizado. Según el grado de descentralización se habla de control por lotes, itemizado o completamente descentralizado.

Célula de fabricación con control centralizado

El nivel de área (o planta) controla un grupo de células (con poca capacidad de decisión). Si la red de comunicaciones falla, las células se paran.

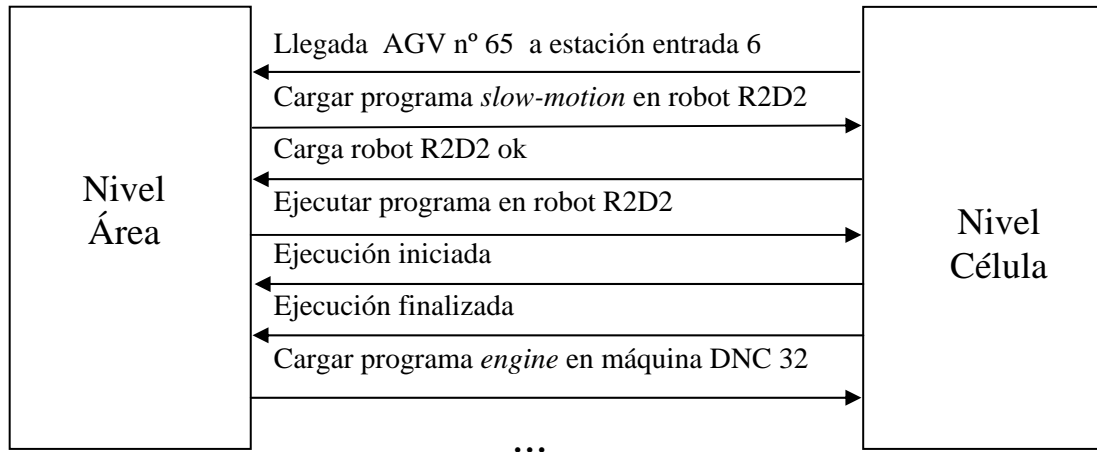


Fig. 13. Ejemplo de comunicaciones en una célula con control centralizado

Célula de fabricación con control por lotes (control de carga)

La célula recibe del nivel superior una cantidad de trabajo (conjunto de trabajos o *work lump*) que debe realizar en un tiempo determinado.

Pasos:

- 1) La célula recibe una petición de envío del *work lump* (lote de tareas)
- 2) La célula evalúa sus recursos
 - Si hay problemas lo notifica
 - Si no, recibe el *work lump* y ejecuta el trabajo
- 3) Una vez finalizado el trabajo la célula envía una notificación

Célula de fabricación con control itemizado

La célula recibe un solo trabajo a la vez. Las diferencias con el caso anterior es que el control itemizado tiene más capacidad de decisión y las restricciones temporales son más duras.

Pasos:

- 1) La célula recibe una petición de envío de la tarea (y la pone en su cola de peticiones)
- 2) La célula evalúa sus recursos
 - Si hay problemas lo notifica
 - Si no, recibe la tarea y ejecuta el trabajo
- 3) Una vez finalizado el trabajo la célula envía una notificación

Célula de fabricación con control descentralizado

El control está descentralizado entre el nivel superior y los sistemas de control de cada célula. Una posibilidad es que una de las células recibe la información del trabajo del

nivel superior y entre todas las células lo realizan. La comunicación entre todas las células es intensa.

Ejemplo: Fabricación de 20 piezas. 4 células implicadas (12, 24, 65 y 89)

Información del trabajo y la pieza (de área a célula 12)

Trabajo nº 948393,
ID pieza ER3187,
dimensión lote 20,
encaminar 12, 24, 65, 89

Información individual de célula (broadcast)

Célula nº 12,
ID operación taladro342,
ID programa R234,
Tiempo estimado de llegada 12:23:45
Tiempo estimado finalización 12:29:10

Célula nº 24 , ...

Puesto que la célula 12 es la primera, tiene que evaluar los recursos. Si todo es correcto, realiza el trabajo, solicita el sistema de transporte de material y envía la pieza a la célula siguiente.

Información de transporte de material (de célula 12 a sistema de transporte)

Trabajo nº 948393,
ID pieza ER3187,
dimensión lote 20,
célula origen 12,
Tiempo estimado finalización 12:29:10,
célula destino 24,
Tiempo estimado llegada 12:31:00

Y ahora la célula 12 envía a la célula 24 el siguiente mensaje:

Información del trabajo y la pieza (de célula 12 a célula 24)

Trabajo nº 948393,
ID pieza ER3187,
dimensión lote 20,
encaminar 24, 65, 89

Información individual de célula (broadcast)

Célula nº 12 , ...

Célula nº 24,
ID operación fresador727,
ID programa N894,
Tiempo estimado llegada 12:31:00
Tiempo estimado finalización 12:32:40

Célula nº 65 , ...

6. Ejemplos de plantas con fabricación automatizada

6.1 Fabricación de chocolate

En esta sección se describe el sistema integrado de fabricación de chocolate de la planta de la Fig. 14. El objetivo de la automatización es controlar la recepción y tratamiento de materias primas, flexibilizar el proceso de fabricación de chocolates, clasificar la distribución de semielaborados y automatizar las líneas de producción.

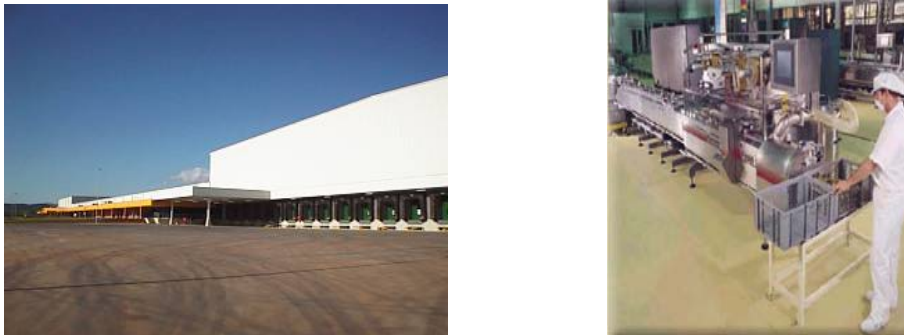


Fig. 14. Planta de ARCOR SAIC en Braganza Paulista (Brasil)

Fabricación del chocolate. Fases

Fase 1: Se tuestan los granos de cacao. Es en esta fase donde se desarrolla el sabor y el aroma característicos del chocolate. A continuación, se quiebra el grano y se separa la cáscara de la almendra.



Fig. 15. Materia prima. Granos de cacao

Fase 2: Se muele el cacao y se obtiene una masa líquida viscosa conocida como masa de cacao. Esta masa se somete a un proceso de filtrado, del que se obtiene la *manteca* de cacao.

La mezcla tanto si es para fabricar un chocolate con leche, amargo o blanco debe ser refinada, es decir, debe garantizar que cuando el chocolate se funda en la boca, no se sienta en el paladar ninguna partícula o aspereza. Para ello, una parte de la mezcla se somete a una molienda fina para obtener el polvo de cacao refinado.

Fase 3: Por acción mecánica (fuerzas de fricción y cizalla) y por adición de manteca de cacao, el polvo se convierte en un fluido viscoso llamado *licor* de chocolatina.

Después de unas 48 horas o más de constante agitación, la masa se deposita en tanques para luego atemperarla (proceso de cristalización especial para chocolatinas).

Fase 4: Por último, la masa del chocolate se deposita en moldes, se enfría, se desmolda y, finalmente, se empaqueta quedando lista para el consumo.

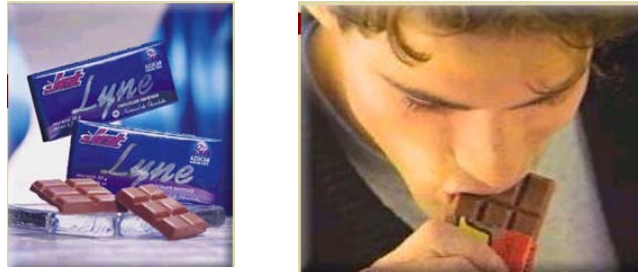


Fig. 16. Producto final. Consumidor

Control de la producción

Se implementa un control descentralizado. La producción se organiza en cuatro estaciones:

- Materia prima líquida
- Materia prima en polvo
- Producción de chocolates y rellenos
- Distribución de chocolates y rellenos

Estas estaciones están interconectadas mediante red Profibus ET200M e IM463-1/-3, la cual está conectada a una red Ethernet de servicios generales donde se encuentra el ordenador central (ver Fig. 17).

- La primera y la cuarta estaciones disponen de un CP 443-1 (procesador de comunicaciones), de un S7 416-2 (autómata programable) y de dos SCADAs.
- La segunda estación consta de un CP 443-1, de un S7 416-2 y de un SCADA.
- La tercera estación dispone de dos CP 443-1 de procesamiento compartido, de dos S7 416-2 y de tres SCADAs.

Se dispone de un importante volumen de información, lo que permite al sistema realizar funciones de gestión de control de calidad, planificación de la producción, programación de recetas de elaboración, seguimiento de movimientos y consumo de materiales, control de trazabilidad de eventos,...

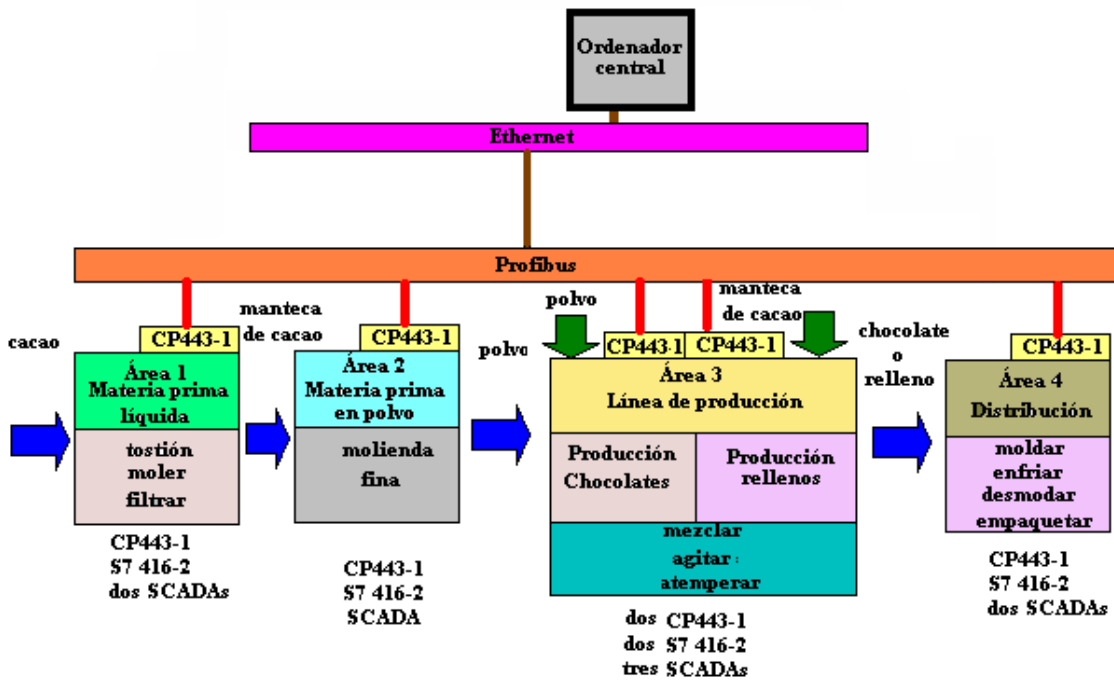


Fig. 17. Estaciones de producción y comunicaciones

6.2 Otros campos de aplicación

Los ejemplos siguientes pretenden ilustrar qué campos se benefician de la automatización y las comunicaciones. El grado de automatización, las tareas de automatizar y las características de la red de comunicaciones dependen de las particularidades de cada industria.

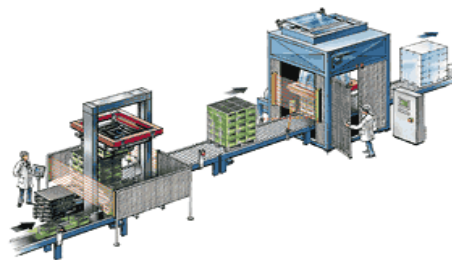
Automoción

La característica principal de este sector son los breves ciclos de vida de los productos, que a menudo no van más allá de los 5 años. Ello requiere que la cadena de montaje presente una alta flexibilidad sin dejar de considerar los aspectos económicos. Así, las secuencias del proceso de producción deben poder controlarse y coordinarse de modo fiable por medio de un bus de comunicaciones que permita el funcionamiento parcial de la instalación, lo cual significa que, en caso de averías, trabajos de mantenimiento o remodelaciones, los tiempos de parada sean mínimos, y todo ello sólo en partes de la instalación.



Alimentaria

En el sector alimentario se empaqueta, se paletiza y se apila de diversos modos. Además, las condiciones higiénicas juegan un papel muy importante. La automatización en este sector busca reducir el volumen de los armarios de distribución, mejorar las posibilidades de diagnóstico y hacer más sencilla la puesta en servicio de las unidades de producción y de transporte.



Madereras

En este sector lo más significativo es la extensa área que ocupan sus instalaciones, esto implica la importancia de la reducción del cableado. Esta reducción se consigue mediante la utilización de buses de comunicaciones que permiten transmitir datos por un único cable.

