



## Sistemas Flexibles de Fabricación

Sistemas Flexibles de Fabricación.....	1
Introducción a los SFF: .....	1
Conceptos básicos: .....	3
Características de la fabricación flexible .....	8
Elementos de fabricación flexible .....	11
Materiales .....	11
Herramientas .....	12
Utillajes .....	13
Detección del desgaste de herramientas .....	14
Sistemas de identificación de herramientas .....	15
Estaciones para el prereglaje de herramientas .....	15
Sistemas de identificación de materiales .....	15
Almacenes .....	15
Máquinas .....	16
Correcciones térmicas .....	17
Sistemas de detección de posición y de velocidad .....	17
Máquinas de medición de coordenadas tridimensionales .....	18
Transporte.....	19
Manipuladores y robots.....	24
El control de células de Fabricación.....	34
Selección de una célula flexible .....	38

### Introducción a los SFF:

La década de los 80 marcó un cambio de las políticas y sistemas de la producción industrial. El mercado se empezó a caracterizar por una disminución de la tasa de crecimiento, una diversificación del producto para adaptarse a necesidades específicas de los clientes, una mayor exigencia de calidad y una competencia de ámbito mundial.



Oficina CAM

Los productos ofrecen cada día más y mejores prestaciones, una amplia gama de variantes para adaptarse a los gustos y necesidades de los clientes, una garantía de calidad "cero defectos" y un ciclo de vida corto debido a las constantes incorporaciones de nuevas y sofisticadas tecnologías.

Las fábricas convencionales, diseñadas para elaborar un producto estándar en gran serie, se encuentran por un lado, con exceso de capacidad productiva por encima del nivel de demanda, y, por otro, con la imposibilidad de atender las peticiones de variantes del producto estándar a unos costes razonables.



Las nuevas tecnologías, especialmente la microelectrónica, automática, técnicas de control, nuevos materiales e informática, incorporadas al proceso productivo, permiten nuevos enfoques a la resolución de los problemas de producción.

Para conseguir la rentabilidad de las empresas en las actuales condiciones del mercado, las políticas de producción se orientan según los siguientes criterios:

- Flexibilidad del producto y de los procesos de producción.
- Calidad y fiabilidad del producto.
- Predicibilidad y confiabilidad del producto.
- Integración del producto, proceso y organización.
- Reducción de tiempos de respuesta para el lanzamiento de nuevos productos.
- Eliminación del gasto no estrictamente necesario.
- Reducción de los tiempos de preparación y de espera.
- Automatización de los procesos.
- Aumento de la producción global.

La flexibilidad del producto se logra mediante técnicas de diseño modular, en donde el producto terminado se obtiene a partir del ensamblaje, tipo mecano, de una gran variedad de grupos.

Para flexibilizar el proceso, se reducen al mínimo los tiempos de programación de máquinas; se automatizan almacenes, trasportes, manutención de máquinas y se flexibiliza la mano de obra con una mayor formación y polivalencia.

Se desplaza la inspección de calidad al puesto de trabajo dentro de una política de "trabajo bien hecho". Se aumenta el nivel de inspección al 100% en parámetros críticos.

Para conseguir la predicibilidad y confiabilidad del proceso se utilizan sistemas de control predictivo y adaptativo.

Se eliminan barreras funcionales entra marketing, diseño del producto y fabricación, creando grupos de trabajo conjuntos. Se diseña pensando en la fabricación y el montaje, para simplificar el proceso productivo, e incluso actualmente pensando en el reciclaje del producto una vez finalizada la vida de este, teniendo en cuenta los temas ecológicos en cuanto a contaminación.

Se implantan técnicas de CAD-CAM para reducir tiempos de diseño y de planificación de nuevos procesos y para reducir el tiempo de respuesta ante posibles cambios introducidos en el producto o en el proceso.

Para reducir el tiempo entre la concepción de un producto y su salida al mercado, actualmente se está empezando a aplicar la simultaneidad de la ingeniería de producto con la ingeniería de proceso. Simultáneamente al diseño del producto, ya se está diseñando el correspondiente proceso de fabricación, con sus elementos máquinas y equipos.

Se utilizan técnicas de análisis estructurado para detectar gastos que no añadan valor al producto, paros, esperas, tiempos muertos, stocks excesivos, etc.

No se produce contra stock para equilibrar cadenas de producción sino que, al disponer de tiempos de respuesta cortos, se fabrica bajo pedido. Se usan las técnicas de "**just in time**" (JIT), es decir, disponer de materiales y piezas correctas, en cantidad, tipo y en el momento y lugar preciso.

El estudio de los procesos de mecanizado, junto con la estandarización de métodos, herramientas y utillajes, utilización de acoplamiento rápidos y automatización de todas las operaciones, proporciona una drástica disminución de los tiempos de preparación y espera.



La disminución de la participación de la mano de obra, junto con la disminución de gastos y aumento de la utilización de los equipos, proporciona las tasas de productividad necesarias para mantener unos costes competitivos en un producto con unas prestaciones y calidad adecuadas y una amplia gama de variantes.

En el mercado de productos en que de alguna manera interviene la mecanización de piezas metálicas, cada día es más notoria una fuerte competitividad que obliga al fabricante a atraer a sus clientes ofreciendo una mayor gama de productos (productos especiales para cada cliente), menores plazos de entrega y mejores precios. Desde el punto de vista de la fabricación, esta situación plantea las siguientes exigencias:

- Alta productividad incluso para pequeños lotes de fabricación.
- Reducción de los tiempos de recorrido.
- Reducción de existencias.
- Reducción de costes de personal.

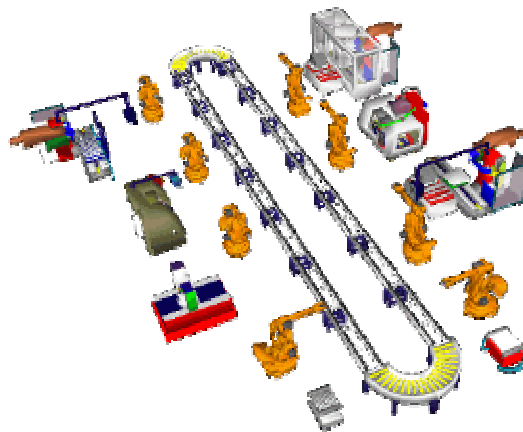
¿Qué es lo que conduce y justifica a la fabricación flexible?

- Mayor competitividad.
- Mayor calidad.
- Menores costes.
- Aumento de la variedad de piezas a fabricar.
- Reducción del tamaño de los lotes.
- Reducción de los tiempos de reacción.
- Reducción de los tiempos de recorrido.
- Reducción de las existencias.
- Aprovechamiento de las máquinas y los medios de servicio.

Dentro de todo este contexto se han ido desarrollando los nuevos conceptos y aplicaciones de la fabricación flexible.

### **Conceptos básicos:**

La fabricación flexible es un sistema que permite la producción automática de una familia de piezas diferentes minimizando, y en algunos casos eliminando, los costes adicionales por el cambio de fabricación, y que proporciona por tanto una productividad y unos costes unitarios reservados hasta ahora a la fabricación de grandes series.





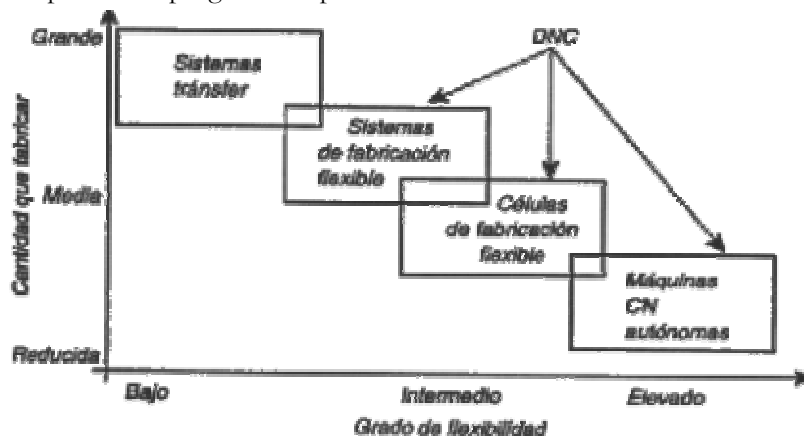
Definición

Por sistema de fabricación flexible se entiende un grupo de máquinas-herramientas de control numérico enlazadas entre sí mediante un sistema de transporte de piezas común y un sistema de control centralizado. Para cada pieza a fabricar, se dispone de programas de piezas comprobados y memorizados en una estación de datos central. Varias máquinas-herramientas CN diferentes (complementarias entre sí) o similares (redundantes) realizan los mecanizados necesarios en las piezas de una familia, de manera que el proceso de fabricación tiene lugar de modo automático.

En lo posible, el desarrollo automático del mecanizado no debe interrumpirse debido a cambios manuales de herramientas o amarre. Los sistemas sofisticados pueden incluir también un almacén de materiales, máquinas de medición, y gestión automática de herramientas en los flujos de trabajo e información. Un sistema de este tipo responde ampliamente a la imagen de un "sistema **tránsfer flexible**" para el mecanizado rentable de lotes pequeños y medianos.

La utilización de máquinas-herramientas de control numérico facilita notablemente la adaptación continua de modificaciones de diseño o de mecanizado, sin los cambios de equipos, normalmente inevitables y costosos en tiempo, de los sistemas tránsfer tradicionales.

Un sistema de fabricación flexible no está condicionado por un tamaño mínimo de lote sino que puede mecanizar incluso piezas únicas en cualquier sucesión, siempre bajo la premisa de la existencia del correspondiente programa de pieza.



Criterios para la utilización de sistemas y células de fabricación flexible

En la práctica se utilizan ya bastantes sistemas de este tipo. La concepción técnica y la organización están siempre adaptados a la **tarea específica de fabricación**.

Los sistemas de fabricación flexibles se pueden utilizar tanto para el mecanizado de piezas prismáticas como rotativas. Ello requiere, junto a máquinas-herramientas diferentes, sistemas de transporte distintos.

Las piezas prismáticas se amarran y transportan (una a una o varias al mismo tiempo) sobre palets con dispositivos de sujeción, mientras que las piezas rotativas se recogen en contenedores en mayor número de unidades.

Para piezas de torneado, en lugar del cambiador de palets, junto a la máquina-herramienta encontramos normalmente un autómatas de manipulación que extrae sucesivamente las distintas piezas del contenedor, las lleva al amarre, cambia la pieza mecanizada por la pieza a mecanizar y deposita la primera en el contenedor de piezas terminadas.



**Los sistemas de fabricación flexible son adaptables en dos sentidos:**

- 1.-En la adaptación a una tarea de fabricación concreta.
- 2.-En la adaptación a las distintas piezas que mecanizar que se suceden en cualquier secuencia y tamaño de lote.

**Para trabajar de modo rentable, un sistema de este tipo ha de cumplir condiciones de fabricación especiales, entre las que están:**

- 1.-La fabricación automatizada y, a pesar de ello flexible y adaptable, de una familia de piezas con semejanzas geométricas y de mecanizado.
- 2.-La fácil adaptación a modificaciones dependientes del mercado relacionadas con tamaño de lote o geometría y tecnología, así como la inclusión de piezas nuevas en el concepto de mecanizado.
- 3.-Trabajo totalmente automático con un mínimo de intervenciones manuales, es decir, humanización de los puestos de trabajo restantes mediante la separación del personal del proceso de trabajo.
- 4.-Posibilidades de ampliación a posteriori de la instalación sin grandes tiempos muertos ni excesiva modificación del sistema existente.
- 5.-En caso de fallo de un componente del sistema, los demás componentes han de estar en situación de absorber temporalmente sus tareas.
- 6.-El diseño orientado al servicio de toda la instalación, para facilitar preventivamente el mantenimiento y la eliminación de errores.

Para la concepción de un sistema de fabricación flexible bajo estos aspectos, se ha de elaborar en primer lugar un **análisis de las piezas a fabricar**. Las familias de piezas en cuestión se ordenan por números de piezas, tamaños de lote, diversidad de tipos, tamaños y pesos. De ello resultan las operaciones, el número de herramientas, transporte, etc. necesarios. Sobre esta base se pueden determinar los tipos, el número y el tamaño de las máquinas-herramientas necesarias.

La integración de máquinas de control numérico ya existentes es posible pero, para no condicionar por adelantado el diseño, no debería convertirse en exigencia.

Las máquinas convencionales de accionamiento manual o de programación mecánica son difícilmente integrables, cuando no es imposible, en un sistema de fabricación flexible; lo impiden los dispositivos para el cambio de palets, no disponibles para estas máquinas, y la propia rigidez e imposibilidad de automatizar la programación de las mismas.

Por el contrario, es posible, bajo determinadas premisas, la utilización de máquinas especiales de control numérico, p. eg. con cabezales de taladrado multihusillos, dispositivos de cambio de cabezal de taladrado, fresadoras, etc., donde pueden ser más que suficientes los controles de trayectoria por puntos sencillos.

**Los sistemas de fabricación flexible son, por tanto, una combinación de componentes ya existentes:**

- máquinas-herramientas
- sistema de transporte de piezas
- dispositivo de cambio de piezas
- y un sistema de control central

conectados de tal manera que permiten la fabricación automática de lotes de tamaño mediano y pequeño.



Bajo estas premisas, se consigue una mecanización rentable mediante:

- 1.-El aprovechamiento de la flexibilidad y la productividad de las máquinas-herramientas CN para la producción de series pequeñas y medianas.
  - 2.-Mayor aprovechamiento técnico y temporal de los medios de fabricación al reducir o eliminar los tiempos de cambio de equipamiento.
  - 3.-Cambio automático de pieza, herramientas y programas de mecanizado en función de las piezas.
- Un sistema de fabricación flexible permite fabricar de manera automática y flexible diferentes piezas dentro de una cierta gama de volúmenes, tamaños y formas. Cuanto mayor es la flexibilidad, mayor es la inversión y la complejidad técnica.

En una tecnología adecuada para los talleres con gran variedad de piezas en series pequeñas, o con productos de rápida obsolescencia, elevado nivel de campos y modificaciones.

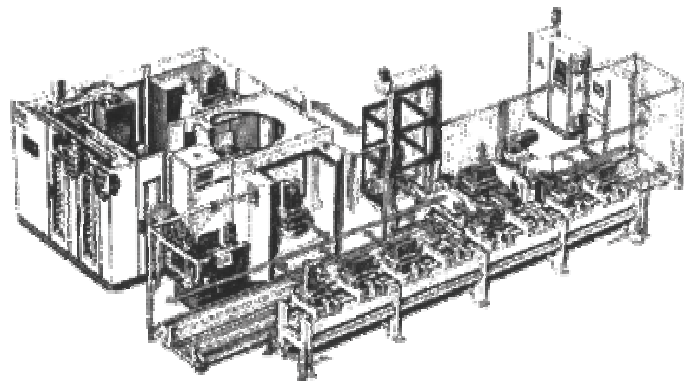
Se basa en la utilización intensiva de los microordenadores acoplados a las máquinas y elementos de producción en funciones de monitorización, control y gestión.

Primeras experiencias, máquinas con control numérico, manipuladores y robots coordinados todos ellos mediante un sofisticado sistema de control con ordenador.

Desarrollos posteriores incorporan el concepto de "modularidad" configurando el "taller flexible" como un conjunto de una serie de elementos productivos autónomos: "las células de fabricación flexible".

#### Célula de fabricación flexible

Generalmente, por célula de fabricación flexible se entiende una sola máquina, normalmente un centro de mecanizado o un centro de torneado, complementada con dispositivos para un funcionamiento, limitado en el tiempo, para el mecanizado completo de piezas sin la atención del operario.



Célula de fabricación con almacén de palets lineal.

La configuración de la célula incluye el centro de mecanizado, el carro de transporte para la transferencia de palets, puestos de amarre y almacenamiento de los palets de piezas y el control de célula.

Para ello son necesarios:

- 1.- Unas **existencias de piezas suficientes** en forma de palets cargados o de almacenes de palets con una pieza cada uno, para el funcionamiento durante un turno.
- 2.- La **alimentación automática** a la máquina desde el almacén de piezas.
- 3.- Un **dispositivo de supervisión de herramientas** para el control de roturas o desgastes con requerimiento automático de herramientas equivalentes.



4.- Un **control dimensional** de las piezas mecanizadas integrado en la máquina, p. ej. mediante palpadores, o externo a la máquina mediante dispositivos de medición separados, ocasionalmente con realimentación automática para la modificación de los valores de corrección en la máquina o con una señal de desconexión en el caso de salirse de las tolerancias.

5.- El **retorno automático** de las piezas mecanizadas al almacén de piezas.

6.- El paro automático de la máquina una vez mecanizadas las existencias de piezas o en caso de detección de error. La carga y descarga de los palets para el funcionamiento del tercer turno suele realizarse de modo manual durante los turnos primero y segundo.

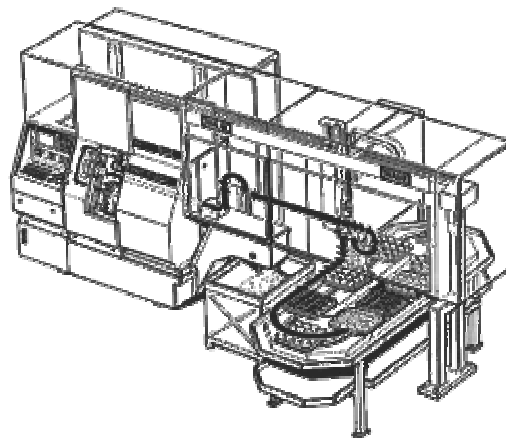
La **capacidad del almacén de piezas** necesaria depende en primer lugar del tiempo de mecanizado medio por pieza. Para el funcionamiento con palets se ha de tender a tiempos de mecanizado medios alrededor de 30 minutos. De este modo, 16 palets bastan para ocho horas de mecanizado.

En piezas alimentadas una a una, el tiempo de mecanizado no debería ser inferior a tres minutos, de manera que haya que disponer de unas existencias de unas 160 piezas por cada turno de ocho horas.

Tiempos de mecanizado más cortos requieren palets y almacenes de piezas mayores para un funcionamiento de ocho horas y ponen en duda la rentabilidad de la inversión en los dispositivos. Para tener suficiente con un número reducido de dispositivos de amarre similares, debería poder ser posible también la mecanización de varias piezas diferentes. Ello requiere una gran capacidad de memorización de programas en el CNC o bien un sistema DND con recarga automática de los programas en los CNC.

En ocasiones, se ha de modificar la **codificación de los palets** después de la mecanización para evitar que en caso de reentrada por error del palet en la máquina se vuelva a proceder al mecanizado.

Al igual que los centros de mecanizado, también los **tornos** son ampliable a células de fabricación flexible. Para ello son adecuados tanto los tornos para el mecanizado de barras como los de plato o para ejes, con dispositivos auxiliares de cambio.



Célula de fabricación flexible para piezas de torneado

Al contrario de los centros de mecanizado, los tornos no son adecuados para el mecanizado de gran variedad de piezas en sucesión aleatoria, ya que no existen codificaciones de piezas y el número de herramientas para torno es limitado.

Debido a ello, se juntan los lotes y se controlan los cambios de programa necesarios mediante la preselección del número de piezas o por dispositivos de codificación en el almacén de piezas. También son necesarias las supervisiones de herramientas y medidas para evitar la producción de rechazos.



### Línea flexible

Varias máquinas con control numérico o células flexibles, se relacionan entre sí mediante un sistema de transporte de piezas e identificación de las mismas. En general disponen en línea de almacenes de piezas y herramientas automatizados. Permiten la entrada al azar de gran diversidad de piezas y el software de gestión de línea las asigna a la máquina más adecuada. El microordenador que coordina la línea realiza también funciones de planificación y programación de la producción.

### Taller flexible

Tiene todas las funciones de fabricación incorporadas e integradas dentro de la filosofía de fabricación flexible. Los sistemas de recepción, inspección, almacenaje, transporte, mecanización, verificación, montaje, inspección y distribución, están totalmente automatizados y coordinados por un ordenador central y a través de los microordenadores satélites de cada función o taller. Así como las células las líneas flexibles están dimensionadas, en general, para tratar una familia más o menos amplia de piezas, un taller flexible puede producir todo tipo de pieza que se precise. La sofisticación del sistema, especialmente en lo referente al software necesario, en programas de ordenador, en racionalización y en estandarización de producto y medios de fabricación, en sistemas de control y de gestión, hace que hoy por hoy el taller flexible esté solo al alcance de empresas líderes en renovación tecnológica.

## **Características de la fabricación flexible**

### Características

La fabricación flexible consta de un proceso automático de mecanizado e inspección, manutención y transporte, bajo un elemento de control que coordina todas las operaciones elementales del equipo.

Las principales funciones desarrolladas por un sistema de fabricación flexible son:

- Mecanización automática.
- Cambio automático de piezas y herramientas.
- Transporte automático entre máquinas.
- Identificación de piezas y herramientas.
- Autocorrección de desviaciones.
- Gestión de máquinas, materiales y herramientas.

Las características de una fabricación flexible son:

- Flexibilidad.  
En el producto en cuanto a: forma, dimensiones, materiales, previsión, ...  
En la producción en cuanto a cantidad, lotes, programas, ...
- Automatización  
En el mecanizado, cambio de pieza, cambio de herramienta, transporte, identificación, limpieza de piezas, verificación de piezas,...
- Productividad  
Debido a la fabricación desatendida, rapidez de cambio de herramienta, rapidez de cambio de pieza, pocas averías, optimización del mecanizado, ...
- Calidad del producto  
Asegurada por: la inspección de piezas, precisión de las máquinas, estabilidad térmica, rigidez de las máquinas, autocorrección, ...
- Fiabilidad del proceso  
Gracias al: control de desgaste, control de desviaciones, control de condiciones de mecanizado, mantenimiento preventivo,...





### Criterios de utilización

Para la producción de piezas similares, con tamaños de lote entre medianos y relativamente grandes, se utilizan preferentemente **determinadas máquinas-herramientas** no encadenadas.

Una vez preparados los dispositivos y herramientas y disponiéndose del programa CNC es posible el buen aprovechamiento temporal de la máquina. Cuando es necesario el mecanizado en varias máquinas se ha de disponer de almacenes intermedios para las piezas en curso. (figura a)

Si la tarea de fabricación consiste, por el contrario, en la producción de lotes medianos de piezas diferentes, en las que las exigencias de exactitud impiden los cambios de amarre repetidos, nos encontramos entre el área de utilización típica de los **centros de mecanizado**.

Los tiempos de mecanización requieren aún un dispositivo adicional para el cambio de paletas, para poder realizar tareas de amarre y desamarre simultáneamente al mecanizado.

Si las exigencias son mayores, llegando hasta la fabricación de varias piezas distintas con tamaños de lote pequeños y donde la composición de los pedidos varía constantemente, se requiere una gran flexibilidad del sistema de fabricación. En este caso la principal dificultad radica en disponer siempre de los programas, dispositivos y herramientas adecuados, en la máquina adecuada para cada pieza, ya que podrían producirse tiempos de espera caros en los dispositivos de producción. Comienza aquí el campo de trabajo de los **sistemas de fabricación flexible rigidos por un sistema de orden superior**. (figura c)

### Elección y disposición de las máquinas

El diseño de sistemas de fabricación flexibles, y especialmente la elección de las máquinas que utilizar, se rige por las piezas y las tareas de fabricación.

Es imprescindible que las máquinas dispongan de control numérico, en lo que pueden ser útiles tanto máquinas estándar (p.ej.centros de mecanizado) como máquinas especiales (p.ej.cambiadores de cabezales de taladrado multihusillo o unidades de fresado).

En ocasiones puede ser necesario utilizar máquinas de distintos fabricantes.

La ingeniería encargada de la elaboración del sistema completo debería ocuparse de encargar las máquinas a los proveedores. De este modo quedará en una sola mano la responsabilidad del funcionamiento futuro del sistema completo. Lo mismo es válido para las máquinas para operaciones posteriores sobre las piezas producidas, como las lavadoras de piezas, máquinas de medición, estaciones de inversión, etc.

Durante el funcionamiento posterior se verá muy pronto hasta qué punto se ha elegido acertadamente. Según la experiencia actual, es aconsejable utilizar en lo posible máquinas estandarizadas y no más de dos o tres tipos de máquinas diferentes. Cuando una máquina no puede utilizarse por avería u otros motivos, las máquinas restantes tienen que estar en situación de realizar, transitoriamente, las tareas de la misma para evitar el paro total del sistema de fabricación.

Ninguna de las máquinas debería estar orientada a la fabricación de una pieza concreta: cada máquina debe poderse utilizar universalmente (de modo flexible) una vez cambiadas las herramientas o incorporado el nuevo programa.

Sólo así es posible adaptar rápidamente la producción del sistema a las cambiantes exigencias del mercado. También es más fácil y barata una ampliación posterior si no hay máquinas especiales que den origen a cuellos de botella difícilmente evitables.



Una vez elegidos y establecidos el número y el tipo de las máquinas, se determina su disposición y su enlace mediante el sistema de transporte.

Para ello se dispone de tres posibilidades:

- 1.- Disposición en serie (figura d)
- 2.- Disposición en paralelo (figura c)
- 3.- Disposición mixta (figuras cd)

En la **disposición en serie**, es decir un conjunto de máquinas dispuestas una tras otra, cada pieza pasa sucesivamente por todas las máquinas de modo similar a la fabricación en un sistema tr nfer. (figura d)

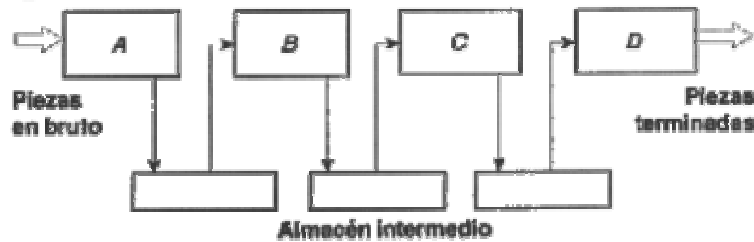


Figura a. Fabricaci3n en máquinas CN y máquinas convencionales

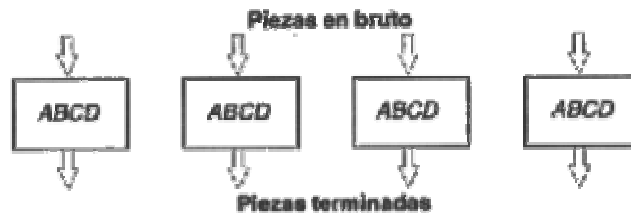


Figura b. Fabricaci3n en centros de mecanizado sin transporte automático de piezas

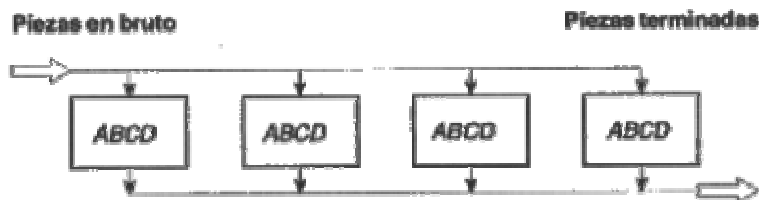


Figura c. Fabricaci3n en sistemas y c3lulas de fabricaci3n flexible con disposici3n en paralelo de máquinas redundantes.

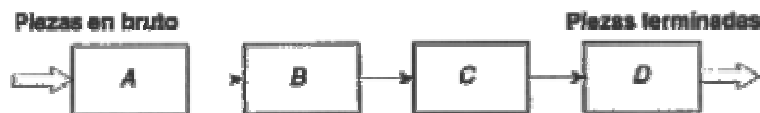


Figura d. Fabricaci3n en una línea transfer flexible con disposici3n en serie de máquinas complementarias.

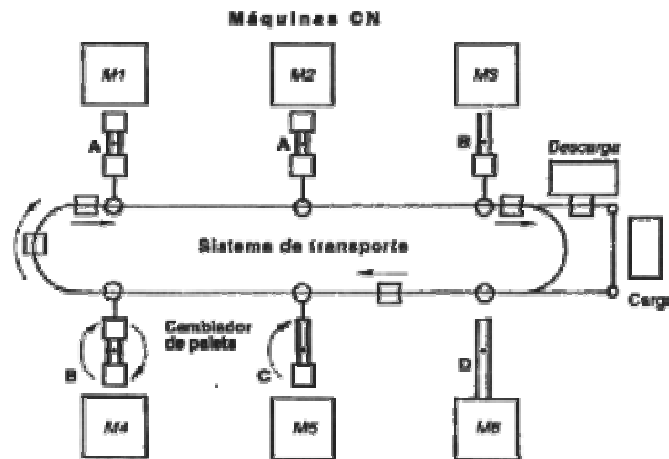
ABCD representan los distintos mecanizados sobre las piezas, por ejemplo fresado, taladrado, mandrinado o roscado.

A ello corresponde tambi3n la elecci3n de las máquinas utilizadas. Dado que en cada "estaci3n" se realiza una operaci3n "complementaria" a la anterior, para la disposici3n en serie se utilizan preferentemente **máquinas complementarias**, de concepci3n parcialmente diferente. Esta disposici3n tiene notables desventajas, como:



- 1.-El ritmo viene determinado por la máquina más lenta o por la operación más larga, es decir, que las máquinas más rápidas tienen tiempos muertos.
- 2.-Si falla una estación se detiene todo el sistema o, para evitarlo, se han de tener.
- 3.-Programas de sustitución preparados para poder trasladar los trabajos de la unidad problemática a otras unidades. Ello provoca un considerable gasto de programación y requiere capacidades de memoria enormes para poder contener los "programas de repuesto".

Por ello, los conceptos modernos de fabricación flexible colocan las máquinas preferentemente en **disposición paralela**.



Disposición en paralelo de las máquinas M1 a M6.

ABCD representan mecanizados sobre una pieza, o bien la mecanización completa de distintas piezas.

Las piezas se conducen, según sea conveniente, hacia una o varias de estas máquinas hasta completar el mecanizado. Cuando se utilizan centros de mecanizado, todos los mecanizados posibles deberían realizarse en la máquina una vez elegida, en lugar de repartir el mecanizado sobre varias máquinas sucesivas.

En función del programa o de la pieza, con la disposición en paralelo de las máquinas-herramientas es posible mecanizar completamente las piezas sobre una máquina o efectuar operaciones complementarias.

Ello resulta ventajoso cuando se utilizan, por ejemplo, determinadas máquinas sólo para trabajos de precisión y está previsto trasladar las tareas de desbaste a otras máquinas.

## ***Elementos de fabricación flexible***

### **Materiales**

En una fábrica flexible se diseña el producto pensando en el proceso de fabricación.

Las piezas se agrupan en familias, tanto desde el punto de vista para la base de datos, como desde el punto de vista para la fabricación de células flexibles.

Se utiliza la Tecnología de Grupos.

- Herramientas de racionalización y estandarización.
- Diseño eficiente de una variedad de piezas para la producción en lotes pequeños.



- Tareas similares deben hacerse de forma parecida.
- Simplifica y aumenta la productividad al estandarizar: el diseño, el proceso, las herramientas y los utillajes, y al racionalizar la logística en la fabricación.

La agrupación de piezas similares en familias es muy distinta según que la efectúe la Ingeniería del Producto o la del Proceso. La primera mira la forma y la otra el ciclo de operaciones o proceso de fabricación.

La Tecnología de Grupos de Ingeniería:

- Permite la búsqueda de piezas similares ya diseñadas.
- Evita el diseño de piezas nuevas
- Facilita el diseño de variantes.
- Permite la estandarización de piezas y procesos.
- Facilita la planificación del proceso.
- Unifica herramientas y utillajes.

La Tecnología de Grupos en Fábrica racionaliza y simplifica la logística. Las máquinas se agrupan para fabricar familias de piezas y no en función de que sean del mismo tipo de máquinas.

Las piezas se codifican para facilitar el almacenaje y posterior localización en la base de datos de la información referente a sus características, su diseño y su proceso de fabricación. Los distintos dígitos de la codificación se refieren a ciertos atributos de diseño o de fabricación: forma, dimensiones, tolerancias, tipos de operaciones de mecanizado, etc.

Hay distintos sistemas para la codificación de piezas:

- Codificación jerárquica o en árbol.

El significado de un dígito depende del valor del dígito anterior. Permite amplias posibilidades de codificación con un reducido número de dígitos. Tiene el inconveniente de que es muy poco nemotécnico.

- Codificación en cadena.

Cada dígito tiene una significación única sin depender de los valores de otros. Proporciona códigos largos pero cada atributo tiene siempre el mismo código, lo que ayuda a su memorización.

- Codificación mixta.

La mayoría de los sistemas comerciales son mixtos, es decir, con parte del código en estructura jerárquica y parte en cadena. Se utiliza la jerárquica para una primera clasificación en grupos y dentro de cada grupo se utiliza una codificación en cadena.

## **Herramientas**

La gran cantidad de herramientas necesarias para la mecanización de una amplia familia de piezas, con la diversidad de tipos de acoplamiento que utilizan los distintos fabricantes de maquinaria, junto con la necesidad de reducir los tiempos de cambio de herramienta, ha motivado un importante cambio en el diseño de las mismas. De la herramienta monobloque, que se acopla directamente a la máquina, se ha pasado a un concepto modular o de bloques, en el que la herramienta se subdivide en dos o tres partes:



Las herramientas modulares con cambio rápido constan de un acoplamiento, un adaptador y la herramienta propiamente dicha. El acoplamiento está siempre montado en el portaherramientas de la máquina y sobre él pueden fijarse una gran variedad de herramientas, sea directamente o sea a través de un adaptador, de esta manera una misma herramienta puede utilizarse en distintas máquinas.

La creciente incorporación de los centros de torneado y de los centros de mecanizado en las células de fabricación flexible prima la adopción de sistemas modulares universales, que permiten una mayor estandarización y por tanto una reducción del stock.

## **Utillajes**

Para disminuir el tiempo de montaje de las piezas en máquinas se recurre en general a la paletización, sobre todo en los centros de mecanizado. El palet es un elemento que permite flexibilizar el montaje de cualquier pieza a la máquina dado que lo que se acopla es siempre el palet, no la pieza o piezas que han sido previamente incorporadas al mismo. Es decir, el montaje para el mecanizado, propio de cada pieza y que es en general lento, se efectúa fuera de la máquina, en una estación de montaje de piezas en palet. Ésta operación puede realizarse manualmente o automáticamente, mediante robots, en algunos casos

### **Utillajes modulares**

Se utilizan sistemas modulares que permiten el diseño y la realización de montajes para distintas piezas utilizando elementos comunes. Los desarrollos actuales de estos montajes universales consisten en la integración de sistemas de embridado automático y flexible.

En los centros de mecanizado es particularmente interesante efectuar el máximo número de operaciones sobre el mismo palet, por lo que son frecuentes las fijaciones de las piezas por una sola cara dejando libres las otras cinco, así como montajes sobre palets giratorios que facilitan el mecanizado en todas las caras. Otra técnica utilizada es el montaje de varias piezas en un mismo palet, especialmente en el caso de operaciones muy cortas.

La tendencia en el diseño de utillajes y herramientas es ir dotando de mayor flexibilidad y universalidad a todos los elementos que intervienen en el proceso de fabricación.

Algunos fabricantes de utillajes modulares suministran sistemas informáticos de ayuda para el diseño de los utillajes específicos, a partir de sus elementos modulares.



## Detección del desgaste de herramientas

### Por cálculo teórico

#### Por medición del desgaste:

Directa: Medición de la distancia entre la arista de la herramienta y la pieza (Sensor neumático)

Medición de la superficie de desgaste con reflexión de un rayo láser.

Captación de la imagen de la herramienta y comparación con el perfil sin desgaste.

Indirecta: Evolución de las cotas mecanizadas de la pieza.

Medición de los esfuerzos de corte de la herramienta.

Medición del consumo de los motores.

### Sistemas de monitorización de herramientas

Son sistemas para la detección de colisión, rotura y desgaste de herramientas durante el proceso de mecanizado.

Razones para instalar controladores de herramientas:

- Mayor utilización de la máquina.
- Permite optimizar las condiciones de mecanización.
- Protección de máquina, herramientas, y pieza.
- Menor coste de herramientas

¿Qué se debe exigir a un sistema de control de herramientas?

- Capacidad para identificar los cambios en los procesos de mecanización sin tener que reajustar los parámetros del controlador.
- Capacidad para distinguir entre diferentes tipos de perturbaciones.
- Rápida reacción ante situaciones críticas.
- Control fiable sin causar excesivas falsas alarmas.
- Fácil de manipular.

Técnicas empleadas para la medición de datos relativos al estado de la herramienta.

- Potencia consumida por el motor
- Intensidad absorbida por el motor
- Vibraciones producidas durante el mecanizado
- Emisión acústica
- Valor de la fuerza real producida en la herramienta

Técnicas empleadas para el análisis de los datos medidos:

- Límite umbral
- Técnica de comparación de firmas (Grabar fuerzas de corte. Aprendizaje)
- Reconocimiento del modelo

En lugar de tener en cuenta sólo los valores absolutos de las fuerzas, se considera la evolución de la señal, y se reconocen modelos previamente grabados. Modelos de mecanización, de desgaste, de choque, de picos, etc.

- Estimador de desgaste.

A partir de la obtención de señales proporcionales a las tres componentes de la fuerza que hace la pieza sobre la punta de la herramienta: radial, tangencial y axial, hay unos algoritmos internos



que analizando la variación relativa de estas componentes entre ellas, permiten discernir si la causa es el desgaste de la herramienta o la variación de las condiciones de mecanizado, variación de la dureza de la pieza o de las condiciones de corte, u otro tipo de causa. A partir de la evolución de la divergencia entre las tres componentes se estiman las causas.

## **Sistemas de identificación de herramientas**

Cápsulas de código fijo, cápsulas de código programable, código de barras, etc.

Las cápsulas de código fijo tienen un número fijo pregrabado, en cada una un número distinto. En las máquinas donde interese identificar dicho código hace falta instalar la correspondiente unidad lectora. Las cápsulas de código programable tienen una memoria donde se puede grabar información tal como: número o identificación de la herramienta, tiempo acumulado que ha estado mecanizando en las distintas máquinas, correctores de la herramienta, correctores de desgaste, etc. En cada máquina donde interese utilizar dicha información y actualizarla, hace falta una unidad lectora y una unidad de grabación.

## **Estaciones para el prereglaje de herramientas**

Son estaciones específicas para determinar o medir los correctores de las herramientas, fuera de las máquinas de mecanización. Estas estaciones pueden ser con CNC, pueden estar dotadas de lectora de identificación de herramienta y enviar, de manera automática, el código de la herramienta y sus correctores directamente al CNC correspondiente o bien al ordenador de control de planta o de control de célula desde el cual se enviará al correspondiente CNC cuando sea necesario.

## **Sistemas de identificación de materiales**

### **Ópticos**

- Por códigos de barras
- Por identificación de caracteres
- Por reconocimiento de formas

### **Magnéticos**

- Tarjetas magnéticas
- Cápsulas
- Cintas magnéticas

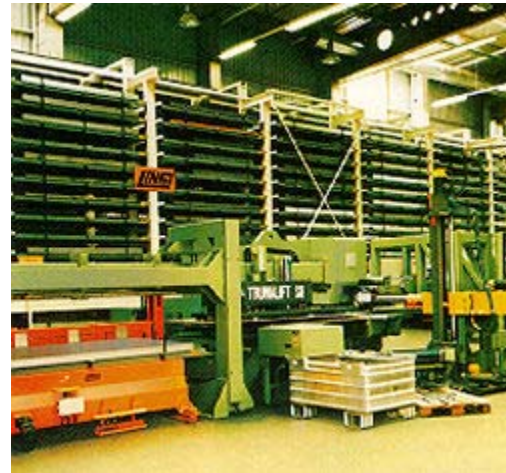
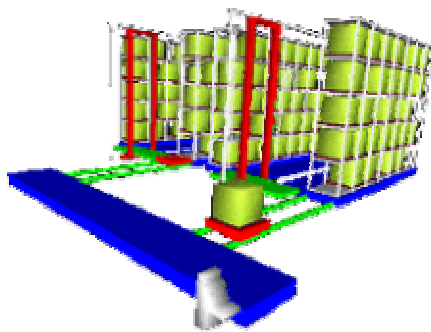
## **Almacenes**

Uno de los objetivos de la fabricación flexible es la eliminación de stocks, tanto de productos terminados como de materiales en curso de fabricación o en bruto. El stock además de un coste de financiación elevado, proporciona un elemento de rigidez en relación a la modificación y renovación del producto. Por esto, junto a las técnicas que flexibilizan la producción, se adopta la de reducción de stocks dentro del JIT - justo a tiempo. Dentro de esta tendencia se reducen y a veces se eliminan los grandes almacenes de fábricas convencionales y se tiende a colocar las piezas y las herramientas a pie de máquina, en la cantidad estrictamente necesaria para una fabricación automática y desatendida.



Se tiende a conseguir una llegada continua de material desde los proveedores situándolo directamente en el puesto de trabajo. Desaparece así el muelle de recepción centralizado, la inspección de entrada y el almacenamiento intermedio con sus cargas y descargas. En los contratos con los proveedores se concierta una calidad, una cadencia de entregas y la paletización de las piezas.

En los casos en que esta política no es aplicable, o por distintos motivos no es rentable, se tiende a almacenes automáticos a ser posible flexibles, sin estanterías, en donde las piezas se almacenan por apilado de palets. La localización es por coordenadas y el movimiento a cargo de transelevadores en almacenes con estantería o de carretillas guiadas automáticamente en los abiertos. El sistema de control que gobierna el movimiento, conoce la ubicación de las piezas y los huecos vacíos en las estanterías y gestiona la entrada y salida de materiales actualizando al mismo tiempo el stock.



Tipos de almacén automatizados

El almacenamiento en línea depende de si la pieza se monta sola en la máquina, por ejemplo en torneado, o bien se monta sobre palet con la fijación de mecanización incorporada, por ejemplo en los centros de mecanizado. Si se monta la pieza sola es suficiente con dejar las piezas o el palet de piezas al alcance de la mano del manipulador. Si la pieza se mecaniza montada en su palet, el almacén está formado por un carrusel de palets horizontal o vertical.

## Máquinas

Dentro de una filosofía de fabricación flexible las máquinas vienen caracterizadas por la flexibilidad en sus funciones; la flexibilidad es la capacidad de mecanizar piezas diferentes de manera automática sin necesidad de una preparación previa por parte del operario.

Funciones necesarias en las máquinas:

Mecanizado

Incorporación de más operaciones elementales en una misma máquina con tendencia a conseguir un mecanizado total o casi total en una sola estación.

Herramientas

Cambio automático de herramientas y control automático del desgaste o rotura para sustituirla. Almacén de herramientas en la misma máquina. Palpadores para el preajuste automático de las herramientas.

Piezas





Carga y descarga automática de piezas, a partir de palets de piezas en bruto, y control automático de dimensiones que permite autocorregir las desviaciones programadas. Stock de palets.

□ Funciones auxiliares

Sistemas de refrigeración y lubricación, evacuación de viruta, limpieza de piezas y máquinas, todo automático.

Se exigen prestaciones muy elevadas en cuanto a precisión y repetibilidad, y condiciones de mecanizado con velocidades y esfuerzos de corte elevados durante muchas horas de funcionamiento continuo.

Todo lo anterior implica condiciones especiales en cuanto a rigidez, precisión del guiado, estabilidad dinámica y térmica, tanto de la estructura fija como de la cadena cinemática y de los acoplamientos de piezas y herramientas.

Bajo esta filosofía y aplicando los criterios mencionados anteriormente aparecen, por ejemplo, los centros de torneado y los centros de mecanizado los cuales pueden disponer de todas las funciones automáticas mencionadas en cuanto al mecanizado de las herramientas, a las piezas y a las funciones auxiliares.

## **Correcciones térmicas**

Las máquinas pueden disponer de sensores que miden la temperatura de la herramienta y de la estructura de la máquina, y permiten corregir automáticamente las desviaciones por dilataciones térmicas.

## **Sistemas de detección de posición y de velocidad**

Las máquinas con control numérico disponen de captadores de posición para determinar con precisión la posición de la herramienta respecto a la pieza de forma automática. Dichos captadores dan una señal eléctrica proporcional a dicha posición, la cual se envía al correspondiente control numérico.

Los **captadores de posición** pueden ser:

Analógicos o digitales

Según la naturaleza de la información que proporcionan, dependiendo del tipo de señal que suministre, continua proporcional a la variación de la posición o discreta correspondiente a incrementos de posición o posiciones discretas.

Absolutos o incrementales

Según la relación entre la magnitud mecánica y la eléctrica, dependiendo de si las señales están relacionadas de manera unívoca con las posiciones independientemente de cualquier medida anterior o bien si su campo de medida está dividido en un número entero de pasos o incrementos de longitud definida e idéntica.

Directos o indirectos

Según la situación del captador en la cadena de control, dependiendo de si directamente captan la posición del elemento a controlar o bien captan la posición de un elemento que cinemáticamente está relacionado con aquel.

Lineales o rotativos

Dependiendo de si entre la parte fija y la móvil del captador hay un desplazamiento lineal o angular.



En cuanto al fenómeno físico en que se basan, hay dos tipos principales de captadores: los ópticos, como son los encoders lineales o reglas ópticas y los encoders angulares, y los inductivos como son los resolvers y los inductosyns lineales.

También existen captadores de velocidad los cuales dan una señal eléctrica proporcional a la velocidad como es el caso de la dinamo tacométrica. Muchas veces esta información en cuanto a la velocidad se consigue a partir de las señales de los captadores de posición mencionados anteriormente

Detección de rotura de herramientas

- Por pico de potencia absorbida por el motor
- Por detección de vibración o ruido
- Por la variación brusca del esfuerzo sobre la herramienta.

### Estaciones de medida

Para medir las piezas fuera de la máquina donde se mecanizan. Pueden ser automatizadas o no. Tienen la ventaja de no disminuir la productividad de la máquina donde se mecaniza.

Los puestos de inspección flexibles deben reunir unas características de funcionamiento similares a las células de mecanizado:

- Cambio automático de palpadores.
- Alimentación automática y al azar de piezas.
- Identificación de piezas y, en consecuencia, de los programas de medición.

Para garantizar la bondad de los datos obtenidos es preciso un control estricto de la temperatura ambiental, de las condiciones de las piezas a medir, y en general del conjunto de la instalación. Para precisiones elevadas, la temperatura de las piezas no debe diferir en  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  de la del ambiente. Las vibraciones de ciertas máquinas pueden afectar también a los resultados.

Los sistemas de medición utilizados son:

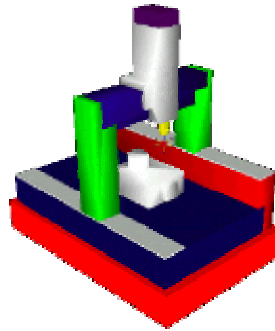
- Bancos automáticos de calibrado.
- Máquinas de medición por coordenadas.

Los bancos de calibrado son un montaje de palpadores generalmente inductivos que reproducen las medidas teóricas de la pieza, dan valores comparativos y precisan de una comprobación y tarado con una pieza patrón. Además, al cambiar de pieza debe efectuarse un nuevo montaje de comparadores, es decir, no son adecuados para series cortas de mecanizado y entrada al azar.

## **Máquinas de medición de coordenadas tridimensionales**

Son automáticas con CNC.

La máquina de medición de coordenadas con CNC, puede estar dotada de los medios de manutención, transporte e identificación de piezas necesarios para su funcionamiento desatendido. Las piezas se depositan, en general, en un almacén tampón de carruseles de palets para conseguir una uniformidad térmica con el ambiente de la máquina.



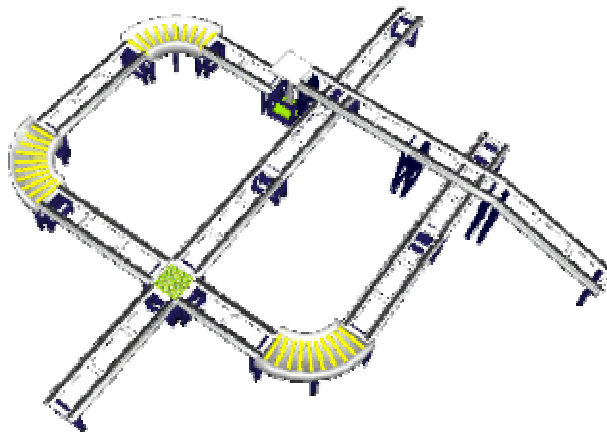
Una vez generado el programa de control numérico para medir una cierta pieza, las siguientes piezas del mismo tipo se medirán de manera automática y toda la información puede pasar a un ordenador en el cual se puede hacer todo el tratamiento estadístico que se desee, y puede detectarse la evolución del valor de cada cota dentro de su intervalo de tolerancia, y antes de salir de él puede corregirse la posición de la correspondiente herramienta o cambiarla si ha llegado a su límite de desgaste.

Algunas de estas máquinas también permiten hacer el digitalizado de superficies complejas con palpado continuo, cambiando el cabezal y la sonda de medida.

## Transporte

El sistema de transporte debe garantizar el movimiento de piezas entre las máquinas, es decir, entre sus elementos de carga y descarga, y entre éstos y los almacenes. Según la configuración del taller se trata de:

- Mantener el stock tampón en las máquinas herramientas de las células flexibles.
- Establecer un sistema de transporte entre todas las máquinas y los almacenes en el caso de líneas flexibles.



El transporte automático de las piezas desde la estación de amarre hasta las estaciones de mecanizado y su devolución a la estación de descarga, es una premisa para el montaje de sistemas de fabricación flexible. Para cada pieza a mecanizar se utilizan palets de transporte específicos, que transportan las piezas a través del sistema de fabricación flexible.



El amarre de piezas prismáticas sobre los dispositivos correspondientes se realiza manualmente, mientras que las piezas de torneado se apilan en contenedores apropiados de tal manera que, p.ej. los autómatas de manipulación situados junto a la máquina-herramienta puedan tomar las distintas piezas firmemente para cargar y descargar las máquinas.

Un dispositivo de codificación del palet permite la identificación de la pieza amarrada en un palet unitario. El sistema de control reconoce la pieza amarrada identificando la codificación y deriva de esta las órdenes correspondientes para el sistema de fabricación.

El sistema de transporte de piezas es una parte esencial del sistema total, tanto técnicamente como en relación a los costes. Debe por ello dedicarse la necesaria atención a la resolución de la cuestión del transporte antes de su elección, para evitar proyectos y gastos innecesarios.

Si observamos, por ejemplo, un sistema de transporte de este tipo para piezas prismáticas, ha de cumplir las siguientes **funciones y exigencias**:

1. Transporte capaz, fiable y con acceso aleatorio de las piezas entre estación y estación.
2. Tener en cuenta las exigencias de seguridad.
3. Cumplir las exigencias de transporte dadas con el menor coste posible del sistema, montaje, mantenimiento, control y capacidad de adaptación a las distintas condiciones de las estaciones de mecanizado.
4. Garantizar la exactitud del mecanizado de las piezas colocadas en los palets, es decir, el posicionamiento y la orientación de los palets no pueden verse alterados por el sistema de desplazamiento.
5. Debe existir la posibilidad de incluir estaciones o recorridos de espera entre los distintos mecanizados o delante de las distintas máquinas-herramientas para evitar tiempos muertos en las máquinas.
6. Manejo sencillo en el montaje de dispositivos de amarre, carga y descarga, limpieza e inspección en las estaciones previstas para ello.
7. Posibilidades de ampliación y complementación, una de las premisas básicas más esenciales de los sistemas de fabricación flexible.
8. Buenas posibilidades de mantenimiento y servicio, en lo posible, sin interrupción del proceso automático.

Dependiendo del principio de la disposición de las máquinas y del sistema de control, existen varias posibilidades relacionadas con la **organización del sistema de transporte**.

Se trata de:

1. **Paso obligatorio** (ritmo) para las máquinas en sucesión que se complementan o se substituyen.
2. **Paso de búsqueda**, es decir, el palet busca, en función de su codificación, una o varias estaciones de mecanizado libres según una sucesión predeterminada.
3. **Paso hacia el objetivo**, es decir, un sistema de orden superior conduce el palet a una máquina-herramienta perfectamente determinada o a varias estaciones en la sucesión correcta. No necesariamente se dispone de la posibilidad de desviación para eludir una máquina determinada.

Dado que, como hemos visto antes, la disposición en serie de las máquinas debería evitarse por diversos motivos, la disposición en paralelo es la más utilizada por sencilla y rentable. La circulación automática de palets tiene lugar del modo siguiente:

Las piezas se amarran manualmente sobre palets. Cada palet está provisto, con la ayuda de un sistema de codificación, con las direcciones de las máquinas-herramientas que aproximar.



Los cabezales de lectura dispuestos delante de las distintas máquinas-herramientas reconocen el código y emiten las órdenes de accionamiento correspondientes al sistema de transporte. De este modo cada palet encuentra la máquina correcta.

Al abandonar la máquina-herramienta, se elimina la dirección correspondiente del dispositivo de codificación del palet. Esta medida evita la aproximación repetida a una misma estación de trabajo.

El requerimiento de los dispositivos de configuración durante el transporte se realiza mediante estaciones de detección mecánicas, fotoeléctricas o magnéticas.

De esta manera tiene lugar de forma muy afluida el paso de las piezas a través de las distintas estaciones de mecanizado, incluyendo instalación de lavado, estación de medición y estaciones de desamarre, donde tiene lugar el desamarre y la carga del palet con una pieza de bruto nueva.

El direccionamiento del siguiente proceso, se produce automáticamente al abandonar la estación de amarre. Para el transporte del palet se dispone de diversas posibilidades, utilizables en función del tamaño y del peso de la pieza. Para las unidades más pequeñas se ha impuesto el transporte directo de palets, es decir, el palet se desplaza sobre un sistema de transporte de rodillos motorizados con guías. Las distintas secciones de transporte disponen de motorizaciones propias y el arrastre de los palets tiene lugar, por ejemplo, por rozamiento entre la cinta transportadora y el palet. Como prevención contra la acumulación de varios palets y los atascos consecuentes, es aconsejable subdividir el tramo de transporte en varios "bloques".

Las estaciones de giro cuidan de los cambios de dirección delante de las máquinas-herramientas, en los desvíos y en los finales de los tramos de transporte.

En los palets para grandes piezas se han impuesto los sistemas de transporte sin conductor, también llamados vehículos autoguiados.

El coste del **sistema de transporte de piezas** depende en primer lugar de los pesos a desplazar (palet con dispositivo y pieza) y del diseño requerido. Otra variante para el transporte de grandes pesos es el **vehículo para el transporte de palets** de circulación sobre vías, dotado de uno o dos puestos para palets. El desarrollo del programa controlado y supervisado por un ordenador independiente tiene este aspecto:

1. La máquina indica "pieza terminada".
2. El control del vehículo pregunta:  
¿Está amarrada la pieza nueva? (acuse de recibo de la estación de amarre)  
¿Está la pieza lavada, lista para ser recogida? (acuse de recibo de la máquina de lavado)  
¿Está el carro libre y preparado?

Si las tres respuestas son afirmativas, el ordenador pone en marcha el siguiente **ciclo de proceso** del vehículo:

1. Hacia la estación de amarre para recoger un nuevo palet.
2. Hacia la máquina para recoger la pieza mecanizada y entregar al mismo tiempo la pieza en bruto nueva.
3. Hacia la máquina de lavado para entregar la pieza mecanizada y recoger la pieza lavada.
4. Hacia la estación de amarre para entregar la pieza lavada.
5. Vehículo libre.

**El vehículo de transporte ha de cumplir elevadas exigencias, por ejemplo:**

1. Velocidad de desplazamiento hasta 80 m/min.
2. Posicionamiento rápido en los puntos de detención.



3. Cambio rápido de los palet cuando por razones de rentabilidad la mecánica de cambio deba hallarse en el vehículo para que ambos procesos de cambio puedan tener lugar simultáneamente.
4. Elevadas exigencias de seguridad en las estaciones de entrega y durante el trayecto.
5. Posibilidades de intervención manual en caso de fallo.

Partiendo de la base de que las condiciones para el control del **inicio del desplazamiento y desplazamiento en vacío** de una máquina o del sistema requieren un **control por ordenador** del vehículo de transporte, puede trasladarse a este la distribución de los palets, sin codificación adicional de los mismos, evitándose el coste técnico y organizativo necesario en otro caso para el cambio de equipamiento de los palets para una pieza nueva.

La masa a cambiar es también un criterio determinante para la utilización de **dispositivos de manipulación**. Una alternativa para piezas más pequeñas, con un peso (incluido el palet) hasta unos 20 kg, está en la utilización para el transporte de los palets de un sistema de rotación de palets estandarizado, como el habitual en los sistemas de montaje. Los dispositivos de manipulación de las distintas estaciones se hacen cargo entonces del cambio de las piezas con o sin palet de amarre. En ocasiones se ha de prestar atención a que la pieza vuelva a su palet de soporte original, sobre el que se encuentran las codificaciones de destino y la sucesión de las máquinas a las que dirigirse.

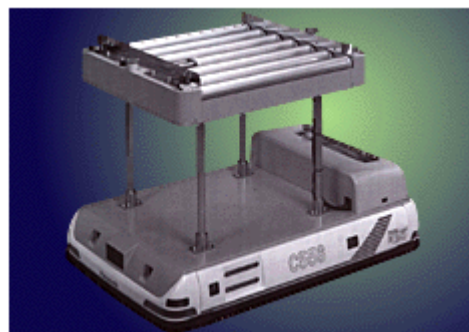
La alimentación y el vaciado de los dispositivos sobre dos palets tiene lugar habitualmente de modo manual.

Los elementos más utilizados son:

- Cintas
- Rodillos
- Cadenas
- Monorrailes
- Birrailes
- AGV

**Vehículos guiados automáticamente** (AGV: Automatd Guided Vehicles).

Los AGV son vehículos autopropulsados, capaces de seguir automáticamente una trayectoria variable según un patrón flexible, es decir, fácilmente modificable.



*Vehículos filoguiados*

En el guiado inductivo o filoguiado, el circuito está formado por un conductor enterrado en el suelo, recorrido por corrientes de muy baja intensidad, y a baja frecuencia. El campo magnético generado interacciona con dos bobinas situadas en la parte delantera del vehículo, que en función



de la diferencia de las señales en cada bobina autocorriges su trayectoria. Cada tramo del circuito tiene una frecuencia distinta y esto permite al vehículo cambiar de trayectoria.

#### *Vehículos por guiado óptico*

El vehículo sigue una línea marcada en el suelo con una sustancia fluorescente que, al ser activada mediante una luz ultravioleta, es detectado por dos células fotoeléctricas en la base del vehículo. Al variar la frecuencia de la luz ultravioleta, la señal detectada es distinta y permite pasar de un tramo de circuito a otro tramo. Si una célula fotoeléctrica se sale fuera de la línea, no recibe señal y el vehículo corrige su posición hasta que las dos células están activas.

Este sistema, muy fácil y barato de instalar y modificar, tiene el inconveniente de precisar unas condiciones de suelo y de ambiente muy apropiadas que no tienen en general las de un taller mecánico.

#### *Vehículos radioguiados*

El vehículo se controla por radio y a partir de la información de los encoders ligados a los ejes de los motores que accionan sus ruedas conoce la trayectoria que está siguiendo. Las posibles posiciones y trayectorias en la planta están definidas por un sistema de coordenadas

Este es un vehículo más flexible ya que no necesita seguir ningún hilo enterrado ni ninguna línea marcada en el suelo. Hace falta que el suelo de la planta no favorezca el deslizamiento de las ruedas, ya que en este caso el vehículo introduce errores en su trayectoria. Cada cierto tiempo se hace pasar al vehículo por una estación de referencia para que corrija los errores de posición y orientación acumulados.

#### *Vehículos con navegación automática*

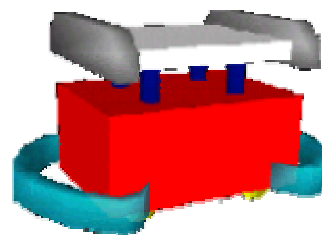
Estos vehículos, ellos mismos llevan sistemas propios para orientarse, como pueden ser cámaras de visión y por ejemplo, son capaces de sortear obstáculos.

Normalmente todos estos vehículos AGV funcionan con baterías y tienen una cierta autonomía. Cada cierto tiempo necesitan recargarlas.

Si en cada estación de transferencia de piezas la precisión de posicionamiento debe ser alta, normalmente se disponen sistemas de ajuste de posicionamiento en cada una de ellas: tipo laser, tipo mecánico, u otro tipo.

Estos vehículos también van dotados de sensores de seguridad en cuanto a la detección de obstáculos: tipo radar, tipo mecánico de contacto, u otro sistema.

En todos ellos hay que considerar los criterios de: maniobrabilidad, productividad (rapidez), precisión, repetibilidad, fiabilidad, etc.





## Manipuladores y robots.

Los robots industriales tienen características parecidas a las máquinas CN pero una cinemática muy diferente. Las áreas de trabajo, las exigencias específicas y la programación son, así mismo, muy diferentes.

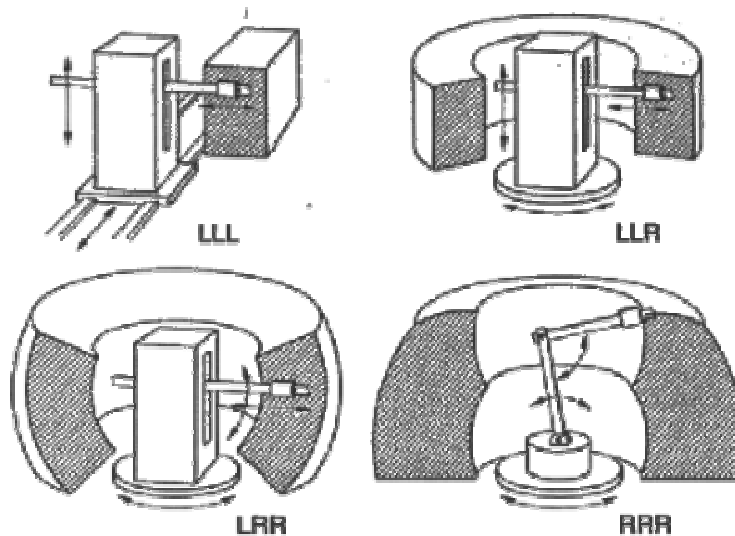
Igual de irreal es la idea de que algún día todo el personal operario de las instalaciones fabriles podría ser substituido por robots. Para que esto tuviera lugar en los próximos años, tendría que comenzar pronto una invasión de robots, lo que de momento no tiene visos de producirse. Las capacidades del ser humano para utilizar todos sus sentidos, sus manos, su permanente capacidad de aprendizaje de modo combinado y flexible para con ello tomar decisiones acertadas, cada vez más lógicas, y actuar como corrector en caso de necesidad no son imitables por los robots. En especial, los sentidos humanos, premisa indispensable para muchas tareas, están completamente ausentes en los robots industriales

### Construcción de los robots industriales

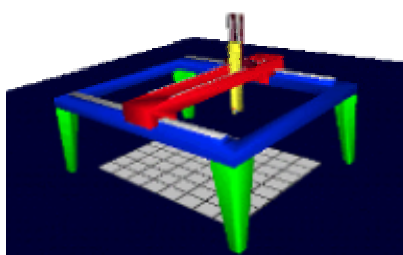
Un robot industrial está formado por hasta **seis grupos constructivos principales**:

#### 1-Mecánica/cinemática

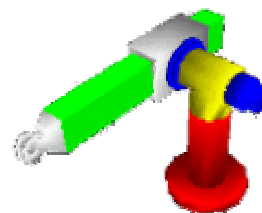
Para la ejecución de los desplazamientos dentro del área de trabajo. Los tres ejes principales o básicos se disponen, según el tipo de robot, como ejes lineales o rotatorios. Como se desprende de las figuras, el modelo de robot de tres ejes rotatorios ofrece una mayor área de trabajo respecto a sus dimensiones mecánicas.



Diseño cinemático de los ejes principales de un robot industrial y area de trabajo resultante. L=eje lineal R=eje rotatorio

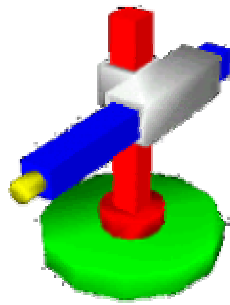


Cartesiano

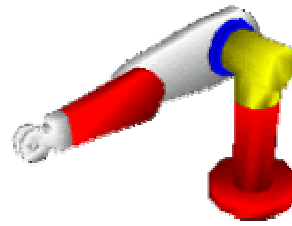


Polar

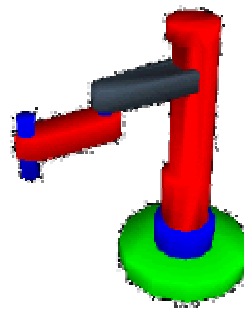




Cilindrico



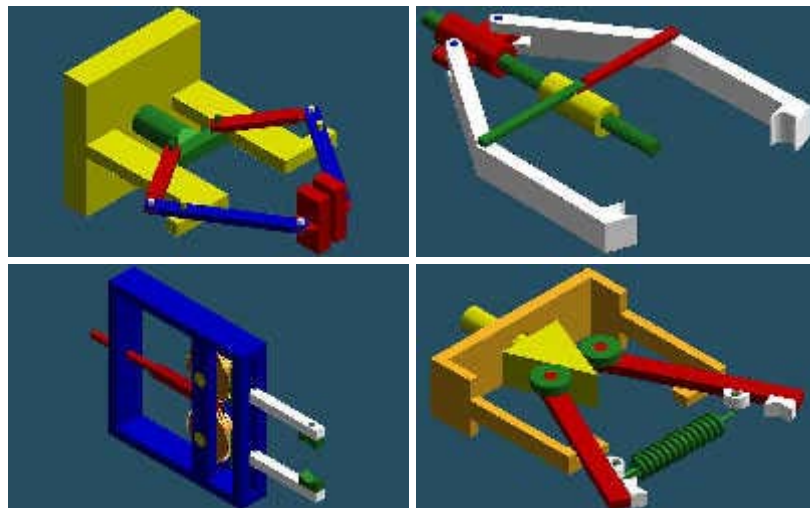
Articulado



Scara

## 2-Pinza o mano

Para asir, sujetar, transportar y situar en la posición deseada las piezas o herramientas. Normalmente son necesarios para ello tres ejes principales para determinar cualquier punto en las tres coordenadas espaciales, así como tres "ejes de orientación" adicionales en la pinza para colocar la pieza en la posición adecuada mediante giro, inclinación y rotación de la misma.



## 3-Control

Para la introducción y memorización de los distintos procesos de programa teniendo en cuenta las conexiones, prioridades y sucesiones necesarias en los pasos de programa. La programación del proceso de desplazamiento tiene lugar externamente mediante la utilización de un lenguaje de programación textual específico del robot o bien mediante el



sistema de aprendizaje in situ. Para determinadas aplicaciones presenta ventajas la combinación de ambos procedimientos, es decir, el desarrollo general del programa se elabora externamente y las distintas posiciones se "aprenden" después en el robot.

#### 4-Accionamientos

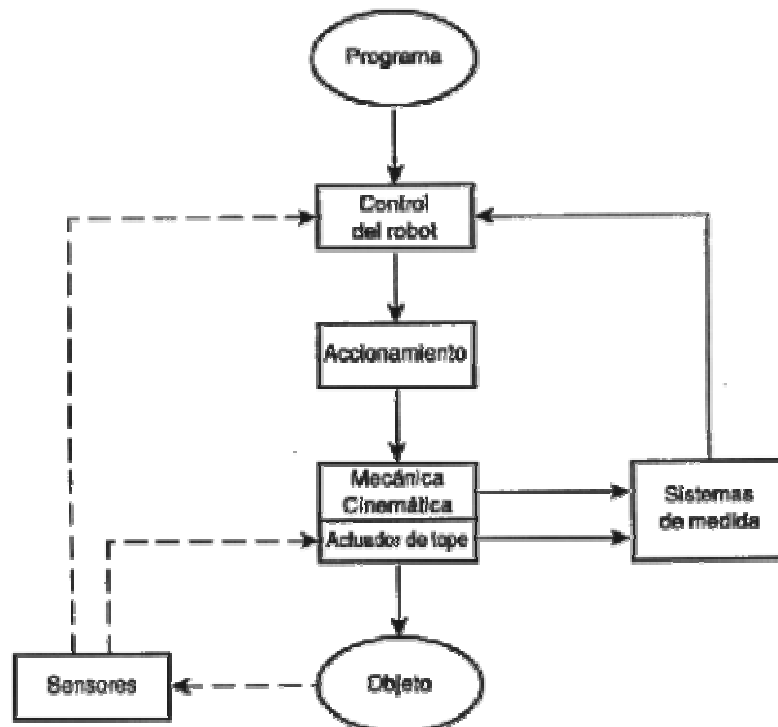
Para regular el comportamiento de cada eje, así como para mantener su posición. Las exigencias dinámicas de los accionamientos son muy elevadas, teniendo en cuenta las enormes variaciones del comportamiento dinámico del robot, con piezas de distintos pesos y con desplazamientos de diferente magnitud en el área de trabajo.

#### 5-Sistemas de medición

Para la medición de la posición o el ángulo de todos los ejes, y de la velocidad de cambio y la aceleración en los distintos ejes. Para ello se utilizan normalmente sistemas de medición incrementales, aunque en algunos casos son también imprescindibles los sistemas de medición absolutos. Esta necesidad se produce, por ejemplo, en robots de soldadura, para reconocer la posición de todos los ejes inmediatamente después de un fallo de la tensión. La utilización mixta de sistemas de medición incrementales y absolutos tiene lugar muy raramente.

#### 6-Sensores

Para poder detectar y tener en cuenta influencias perturbadoras como modificaciones de la posición, diferencias en las muestras u otras perturbaciones exteriores que pudieran presentarse.

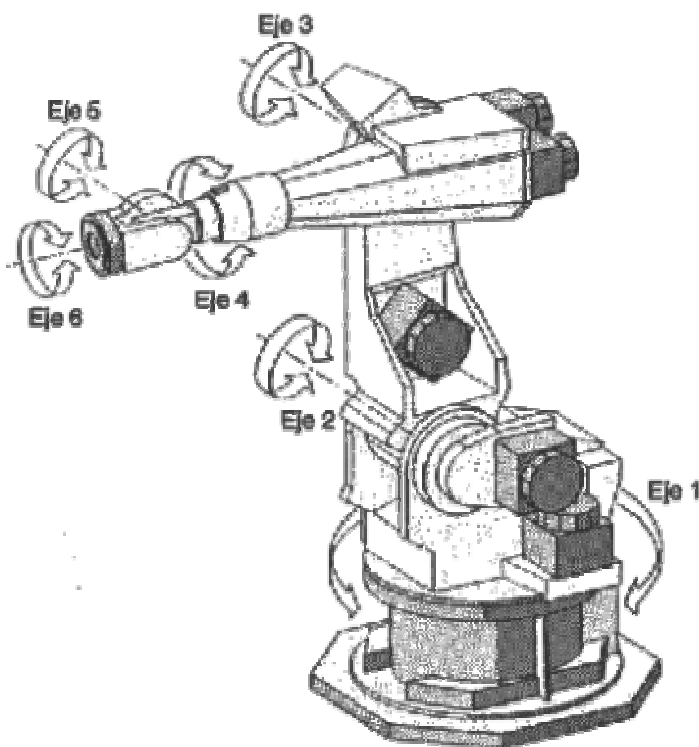


Elementos constructivos de un robot industrial

#### *Propiedades de los robots industriales*

Según la definición tradicional, los robots industriales son dispositivos de manipulación libremente programables, con diferentes grados de libertad (ejes), que pueden incorporar pinzas o herramientas.

En función del control utilizado están en situación de ejecutar movimientos y tareas más o menos complejas. Su característica básica es la rápida capacidad de adaptación a condiciones secundarias modificadas y a tareas distintas. Para ello, se elaboran en cada caso programas específicos que se memorizan en el control y se invocan y ejecutan, de acuerdo con el desarrollo del proceso, en cualquier secuencia.



Robot universal típico

La capacidad de los robots industriales en lo que se refiere a radio de acción, trayectorias posibles, velocidad y exactitud depende en primer lugar de su nivel técnico, que es muy variable.

Básicamente se distinguen **tres tipos**:

### 1-Unidades de manipulación

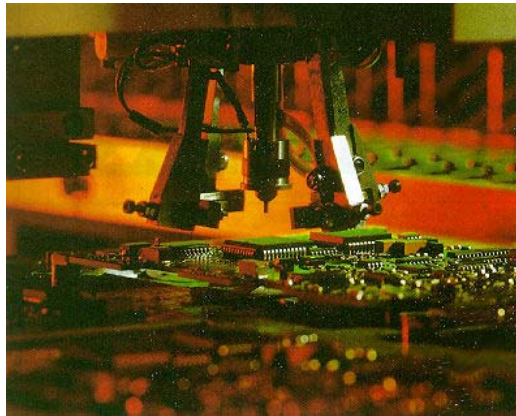
Ofrecen sólo dos posiciones por eje. Su campo de utilización habitual lo constituyen las tareas de alimentación y montaje en la fabricación en serie, que permanece invariable durante un cierto período de tiempo.

### 2-Robots con control de puntos

Son prácticamente equivalentes a las máquinas-herramientas con control punto a punto. El brazo del robot se controla por puntos y en las distintas posiciones realiza una tarea



determinada. Normalmente, los robots con control de puntos son suficientes par la manipulación de piezas.



Montaje de chips

### 3-Robots con control de trayectoria

Son comparables a las máquinas-herramientas con control de trayectoria, es decir, que el brazo del robot ejecuta desplazamientos de trayectoria programable y asume sobre la curva de trayectoria determinadas tareas como soldadura o pintado por pulverización.



Robots de soldadura

También es esencial el hecho de que los robots puedan ser sincronizados para la utilización en combinación con máquinas-herramientas. Para ello se emplean señales de entrada de control del robot para poder tener en cuenta los siguientes **estados de la máquina**:

- Bloqueo activo/desactivado.
- Pieza amarrada/desamarrada.
- Palet orientado y bloqueado/desbloqueado.
- Sistemas de desplazamiento preparados/no preparados.
- Puerta del carenado de la máquina abierta/cerrada.
- Almacén intermedio o palet lleno/vacío, etc.

Las premisas generales par la integración de robots industriales con máquinas-herramienta son muy distintas.

Es esencial que el brazo del robot alcance todas las estaciones de mecanizado y pueda asir todo tipo de piezas, en cuanto a dimensiones y peso, sin el menor problema.

Según el programa, la misma pinza está en situación de asir con mayor o menor fuerza.



Control de robots industriales



La condición más importante para la utilización rentable de robots industriales es su flexibilidad, es decir, su capacidad de adaptación a tareas distintas. En los robots industriales esta propiedad viene determinada esencialmente por el control integrado y su programabilidad.

Los controles numéricos estándar para máquinas-herramientas de arranque son sólo parcialmente apropiados para el control de robots industriales, ya que sus requisitos se diferencian en algunos puntos.

- Resultan igualmente necesarios:
- Capacidad de memoria elevada.
- Posibilidad de subprogramas.
- Posibilidades de corrección de los programas.
- Entradas y salidas para funciones adicionales.
- Elaboración rápida de datos (ciclos de bloque cortos).

Por el contrario, no son necesarios:

- Una pantalla integrada.
- Una interfaz de usuario con teclado
- Funciones S programables.

Son necesarios, adicionalmente:

- Una programación específica del robot.
- La transformación de las coordenadas espaciales programadas en coordenadas de la máquina, es decir, que un algoritmo de transformación efectúe la interpolación lineal y circular de los desplazamientos axiales necesarios.
- Una adaptación automática de la aceleración de los ejes en función del peso de la pieza, la distancia entre puntos, la estabilidad y otros criterios.

**El diseño del control de un robot** Se rige por su estructura cinemática y, especialmente, por sus distintas aplicaciones previstas.

Se distingue, en base al control, entre:

**1-Dispositivos de alimentación sencillos** que recorren trayectorias predeterminadas sobre dos o tres, en ocasiones cuatro, ejes según un programa fijo.

La limitación del desplazamiento de los distintos ejes es ajustable mediante topes desplazables, no son posibles las posiciones intermedias (manipuladores).

Estos dispositivos sólo requieren controles de lo más elemental, sin sistema de medición ni regulación del accionamiento de los distintos ejes.

El desplazamiento del eje se acciona normalmente con cilindros neumáticos o hidráulicos, con cuya ayuda el eje puede alcanzar los topes en ambas direcciones.



La programación del proceso de desplazamiento se basa p. ej. en distribuidores de cruce o en elementos neumáticos equivalentes, la llamada fluidica.

Este tipo de robots son dispositivos sencillos, asequibles, y de elevadas velocidades de cambio, gran exactitud de posicionamiento y un máximo de cuatro ejes.

Para el cambio de programa han de fijarse de nuevo los topes y conectarse nuevamente los contactos de los diodos del distribuidor de cruce en función del desarrollo del programa modificado.

Cuando se utilizan autómatas programables es necesaria una adaptación del programa.

## **2-Robots de control por puntos** con posiciones programables en todos los ejes.

Si bien cada eje está dotado de un sistema de medición y de un servoaccionamiento, el desplazamiento programado de los ejes tiene lugar sin conexión de las funciones (interpolación) entre posición y posición.

La programación tiene lugar, a elección, por el procedimiento de aprendizaje o mediante introducción directa de los datos de las distintas posiciones.

El control necesario es sencillo y asequible.

## **3-Robots con control de trayectoria** con desplazamientos libremente programables en todos los ejes.

Cada eje está dotado de un sistema de medición de posición y un servoaccionamiento y puede programarse a cualquier valor entre los topes finales.

También puede programarse la velocidad de avance, de manera que, a diferencia de las unidades de manipulación, también se puede realizar una tarea durante el avance, por ejemplo soldar o recubrir.

## **4-Robots de reproducción**

Otra aplicación típica de los robots es el pintado o barnizado.

La tarea consiste en repetir posteriormente y de forma idéntica un desplazamiento de la pistola pulverizadora realizado a mano.

Ello se consigue con controles que

Registran los desplazamientos como impulsos en una cinta o un disco magnéticos y los repiten, o bien

Descomponen los cambios de posición de cada eje en muchos vectores unitarios y proceden a la interpolación lineal de las mediciones absolutas de trayectoria.

Con ambos procedimientos se alcanza una muy alta exactitud de repetición de los movimientos originales.

### Propiedades de los controles para robot

De las distintas exigencias hasta ahora citadas se derivan las cinco características esenciales de los controles para robot:

#### **1-Memoria de programas**

No sólo contiene el programa completo de desplazamientos y procesos y todas las informaciones adicionales, sino también el **programa fuente** original, mediante el cual se programó el proceso global. Esto tiene la ventaja de que las correcciones y modificaciones posteriores del programa son fáciles de realizar.

Mediante una **interfaz de datos** se garantiza la introducción y salida automática de programas, ficheros y tablas.

Todos los programas memorizados en el control del robot se pueden visualizar en una pantalla e invocar automáticamente en base al **nombre y el número del programa**.

Todos los programas pueden recuperarse o borrarse, así como recargarse automáticamente, uno por uno, mediante disquetes o conexión DNC.



## 2-Estructura del programa

La mayor parte de los controles para robot no utilizan la estructura de programación según DIN 66 025, habitual en los controles de las máquinas-herramientas. Las órdenes de desplazamiento, trayectoria, velocidad y deceleración o detención se introducen en un lenguaje de programación especial y específico para robots.

También son necesarias otras funciones de control, como  
Transformación de coordenadas espaciales en coordenadas de máquinas.  
Seguimiento de piezas desplazadas.  
Apilamiento y paletización de las piezas.  
Respeto de las prioridades.  
Procesamiento de las señales de los sensores.

## 3-Programación

Actualmente la programación de los robots industriales se realiza normalmente mediante el procedimiento mixto.

El programador fija en primer lugar el proceso general de los desplazamientos mediante un lenguaje de programación textual específico de robots, dejando abiertas las posiciones no exactamente definibles.

Estas posiciones se introducen después por aprendizaje in situ, es decir, el usuario/programador lleva la herramienta o la pinza, por seguimiento manual, a la posición correcta y la transfiere al programa de procesamiento mediante la pulsación de una tecla.

El robot queda listo para su funcionamiento en cuanto se han introducido todas las posiciones abiertas.

Los desplazamientos complicados, por ejemplo a lo largo de una trayectoria no definible matemáticamente, pueden introducirse también por este método como sucesión de puntos. En el funcionamiento automático del futuro, los distintos puntos serán sobrepasados en rápida sucesión y sin detenciones.

Los controles de robots modernos ofrecen además la posibilidad de corregir distintas posiciones, o incluso el desarrollo total, de manera sencilla. Con este objetivo se puede conectar transitoriamente un dispositivo de entrada con interfaz de usuario.

Dado que este dispositivo no es necesario para el funcionamiento automático, una misma unidad queda disponible para distintos robots. Los robots de configuración cilíndrica, esférica o articulada requieren un control con programa de conversión para transformar las posiciones y los desplazamientos programados de coordenadas espaciales a coordenadas de máquina (y viceversa). Sólo mediante esta función se pueden programar de modo sencillo las rectas o círculos y mantener la velocidad de trayectoria constante sobre el trayecto completo.

Existe además la necesidad de que el robot lleve una herramienta, como una pistola de soldadura, a lo largo de toda la trayectoria y manteniendo constantemente un ángulo determinado. Esta función se denomina **orientación** y precisa una gran cantidad de cálculo en el control del robot.

El control ha de estar además en situación de satisfacer esta exigencia para cualquier cinemática del robot.

Otra tarea del control de un robot industrial es la **sincronización** para trabajar sobre objetos en movimiento, es decir, que el objeto tratado por el robot no está detenido, sino que se desplaza constantemente, p. ej. sobre una cinta sinfín que pasa por delante del robot. En este caso se ha de registrar constantemente la situación de la pieza y el control la ha de tener en cuenta para el desplazamiento de los ejes del robot.

Se dispone también de sistemas de programación potentes, similares a los de CAD, con simulación gráfica dinámica en pantalla del proceso de los desplazamientos.

Estos sistemas ofrecen también funciones de zoom para el mejor reconocimiento de detalles, así como las vistas desde cualquier ángulo.



Según indica la experiencia, en la mayor parte de los casos es inevitable una corrección para el afinamiento del programa, de manera que el usuario debería prestar atención a disponer de una buena capacidad de edición.

#### 4-Conexiones lógicas

Entre ellas se encuentran las funciones de espera en una posición de seguridad prefijada, las condiciones de detención por emergencia, la salida de señales a posiciones o partes de programa determinados y las instrucciones especiales.

Se han de incluir entre ellas los tiempos de espera condicionados por el proceso, las condiciones de colisión y los saltos de programa, que deben añadirse en función de la aplicación concreta del robot.

La reacción del robot a señales internas o externas no está contenida de modo estándar en el programa de funcionamiento del control del robot, ya que se rige por el caso específico y puede ser definida por el usuario especialmente para cada instalación.

#### 5-Conexión de sensores

Los sensores utilizados en la robótica tienen distintas tareas, normalmente de corrección, y sus señales deben ser procesadas lo más rápidamente posible por el control del robot.

#### Posibilidades de aplicación de los robots industriales

El concepto de robot industrial nació en 1945 por una solicitud de patente de Georg C. Devol. En ella se describe el diseño de un brazo mecánico con control digital y su utilización en lugar de la mano de obra en algunos casos de aplicación elemental en la industria: la también llamada "manipulación de material".

Entre ellos están la carga y descarga de máquinas-herramienta, es decir, la alimentación y recogida de piezas en la siguiente secuencia:

- Recogida desde un palet.
- Espera hasta la finalización de la pieza que se está mecanizando.
- Toma y extracción de la pieza terminada.
- Carga de la siguiente pieza que mecanizar.
- Colocación de la pieza terminada sobre otro palet o transferencia a otra estación de mecanizado posterior.

Se llegó así a la disposición clásica del robot en el centro de las máquinas y estaciones de paletizado dispuestas circularmente.

Las piezas en bruto se introducen, por ejemplo, en la máquina para la mecanización de los extremos y luego, sucesivamente, se amarran en dos tornos, a continuación se recogen y se transportan a la taladradora, para seguidamente medirlas y, finalmente, apilarlas en los palets para piezas terminadas.

El número de máquinas alimentadas por un robot viene determinado por los tiempos de ciclo del mecanizado.





La productividad global de la célula de producción no debe verse perjudicada por la multiplicidad de tareas del robot.

Si el tiempo de ciclo por pieza es muy grande y la disposición circular de las máquinas en el área de trabajo del robot no es suficiente para la colocación de más máquinas, se pasará a la disposición lineal.

La guía de la trayectoria para el desplazamiento longitudinal del robot puede tanto estar colocada en el suelo como suspendida sobre las máquinas.

Si la cadencia de las máquinas-herramientas es demasiado corta para un robot industrial, podrían utilizarse más robots para la carga y descarga de las máquinas.

Además, cada robot podría disponer de dos pinzas en lugar de una, capaces de asir independientemente entre sí la pieza en bruto y la pieza terminada.

De este modo es posible una manipulación rápida en todas las máquinas de las piezas mecanizadas y sin mecanizar y se reduce el tiempo de ocupación del robot.

Los robots se utilizan también crecientemente para el **desbarbado de piezas mecanizadas**. Para esta tarea se han de cumplir **tres condiciones**:

- Una cinemática con **estabilidad mecánica** suficiente.
- Un **control de trayectoria** que garantice un desplazamiento permanente y sea programable **por aprendizaje**.
- Herramientas o pinzas que dispongan de una **elasticidad pasiva** limitada o bien que **se ladeen de modo controlado** durante el mecanizado con la ayuda de un sensor de fuerzas.

#### Crterios para la utilización de robot industriales

En muchos casos es deseable, por razones laborales o de rentabilidad, separar al hombre de la máquina a la que atiende y que le opone su ritmo .

Contemplado de modo realista, ello no significa otra cosa que la implantación de puestos de trabajo más humanos en un caso o la sustitución del ser humano, propenso al cansancio y a las indisposiciones, en el otro.

Si, por ejemplo, ya no es capaz de soportar el ritmo, incrementado a límites inhumanos, de la máquina o si las condiciones ambientales en el puesto de trabajo ya no son admisibles por calor,



vapores o peligros en general, ello podría ser una situación típica para la utilización de un robot industrial.

El ser humano queda liberado de tareas insanas, monótonas o peligrosas y los caros dispositivos de producción pueden ser utilizados con más eficiencia o no tienen que ser renovados para alcanzar la producción máxima.

La actividad en el taller vuelve a tener mayor valor para la persona y, al mismo tiempo, se incrementan las seguridad del puesto de trabajo y de la empresa en la competencia a nivel mundial.

El personal del taller prepara durante el turno de día las piezas y herramientas, repara piezas defectuosas o cambia piezas de repuesto, controla niveles de aceite, refrigerante y evacuación de virutas, y prepara el turno de noche sin personal.

Los ordenadores controlan el proceso completo de fabricación, verifican las dimensiones de las piezas fabricadas, ajustan automáticamente los valores de compensación de las herramientas y registran las incidencias acaecidas durante las 24 horas de la jornada de producción.

## ***El control de células de Fabricación***

Para que el conjunto de máquinas y elementos de manutención y transporte trabaje automáticamente, según unos ciclos de operaciones previstos, hace falta un sistema de coordinación y mando de toda la instalación.

Estas funciones de gobierno, es decir, de operación coordinada de todos y cada uno de los elementos, son las que se incluyen dentro del sistema de control formado por un conjunto de dispositivos electrónicos - hardware - unidos entre sí mediante una red de comunicaciones y una serie de programas - software - de las distintas secuencias de operaciones a efectuar.

Las funciones de automatización incluyen:

- Identificar las piezas y seleccionar en consecuencia los programas de mecanización, inspección, manipulación y transporte.
- Ordenar la ejecución de todas y cada una de las operaciones elementales de todas las máquinas, herramientas y aparatos de manutención y transporte.
- Monitorizar la producción recogiendo los datos necesarios de flujo de materiales, funcionamiento de máquinas, tiempos de operación, etc. que permiten conocer en todo instante el estado de la misma.
- Reaccionar ante las situaciones anormales (rotura de herramientas, averías, faltas de materiales, etc.) según los procedimientos previstos para minimizar los efectos de los mismos.

Los elementos de automatización son: actuadores y sensores conectados a equipos de control numérico, autómatas programables, equipos de identificación, microordenadores y terminales de visualización. Los programas de control contienen la secuencia de operaciones elementales a desarrollar por todos los elementos. Se registran también diferentes datos para ofrecer al operario información sobre CNC de las máquinas y los distintos sistemas informáticos.



### El control

Para el montaje de los SFF constituye una condición esencial disponer de CNC de gran capacidad. Cuando se instalaron los primeros SFF no se disponía aún de ningún CNC, pero la capacidad de estos sistemas iniciales no es comparable con la disponible en la actualidad.

Actualmente, los CNC adecuados para SFF han de disponer de varias funciones esenciales para cumplir las exigencias de un funcionamiento automático.

Entre ellas se encuentran:

- Una gran **capacidad**, ampliable, de la memoria del programa de piezas para poder disponer durante un tiempo limitado de independencia respecto del ordenador DNC. También los valores de corrección, subprogramas y tablas de herramientas precisan espacio de memoria.
- Una **gestión potente de los datos memorizados**. En cualquier momento ha de ser posible supervisar visualmente y examinar y corregir externamente por ordenador el banco de datos total almacenado.
- Para programas extremadamente largos, la memoria ha de poderse recargar a través del ordenador DNC en **funcionamiento tamponado de cambio**.
- Los programas memorizados han de ser invocables y arrancables automáticamente mediante una **orden externa**.
- El funcionamiento continuo requiere una **gestión de herramientas** interna del CNC para las herramientas de repuesto y equivalentes, con gestión del tiempo de vida útil restante y detección de roturas.
- Las piezas mecanizadas han de poderse controlar en la máquina mediante los adecuados palpadores y **ciclos de medición**.
- Según el resultado de la medición, el protocolo de medición ha de poder generar una señal bien/mal.
- Para la conexión al ordenador central es necesaria una potente **interfaz de datos**, la también llamada **interfaz de DNC**, en lo posible con intercambio de datos bidireccional entre ordenador central y CNC.
- Para el funcionamiento con DNC es válido, en principio, cualquier tipo de control, desde el sencillo control de trayectoria por puntos hasta el control de trayectorias complejo. Los controles CNC ofrecen además la posibilidad de incrementar, p. ej., la seguridad contra los daños en las piezas mediante elementos de software específicos (véase el capítulo CNC).

En el funcionamiento DNC se conserva también la posibilidad de la corrección del programa directamente en la máquina. Sin embargo, se ha de tener cuidado cuando la mecanización se realiza en distintas máquinas. La modificación de los programas debería tener lugar, en ese caso, de modo central y teniendo en cuenta todas las estaciones de mecanizado ya que, de otro modo, sería inevitable incurrir en errores.

Para el desarrollo de la fabricación automática es necesario alimentar constantemente con piezas cada máquina del SFF a través del **control del transporte de piezas**.

Para ello existen, por ejemplo para la circulación de palets dos posibilidades:

- **1-Invocación del programa por la pieza**

Un palet circulante busca una máquina libre, apropiada y dispuesta para funcionar, mediante la comparación de la codificación de los palets con el número de la máquina. Desde el momento de la entrada del palet en la estación de amarre de la máquina hasta la fijación del mismo (unos segundos), el programa debe estar disponible en la máquina, para evitar tiempos de espera. Por ello



es necesario un sistema DNC y el ordenador de procesos asume la tarea de "reconocer/buscar/preparar/transferir" el programa.

El problema de este principio radica en que no es posible adjudicar de forma definida una pieza a alguna de las máquinas-herramientas que se sustituyan. En particular, las correcciones necesarias de avance, velocidad de giro u otras funciones no pueden realizarse en el CN de las máquinas, sino que se han de memorizar de modo centralizado mediante el programa de control para tener validez en cualquiera de las máquinas utilizables. El ordenador de procesos ha de adjudicar además constantemente el programa de mecanizado a una máquina-herramienta distinta, ya que la elección de la máquina es, según este principio, aleatoria.

- **2-Invocación de la pieza por el programa**

Este principio parece la solución más sencilla en cuanto a técnica de control. En este caso el programa de mecanizado de una pieza, se transfiere completamente a la memoria del CNC de la máquina-herramienta prevista. Entonces el control lee los números de código de todos los palets que pasan, los compara con el número de programa memorizado y en caso de coincidencia conduce hacia la máquina, mediante los adecuados cambios de vía, el palet correspondiente. Antes de que el palet deje la máquina después del mecanizado, tiene lugar el borrado automático de la dirección, para evitar una nueva estancia en la misma estación de mecanizado.

Este tipo de control no sufre las desventajas del anterior y trabaja con un flujo de datos notablemente más reducido entre ordenador y control.

Los valores de corrección de la máquina, la herramienta o la pieza pueden introducirse directamente en el CN de la máquina, lo que es ventajoso en la utilización práctica.

#### Ordenador central de fabricación

La utilización de un ordenador en el sistema de fabricación flexible no sustituye ni modifica bajo ningún aspecto los controles numéricos de las máquinas-herramientas. Simplemente, las informaciones para el mecanizado ya no proceden de un dispositivo de memoria externa sino, mediante un cable, de la memoria del ordenador del DNC.

Los distintos controles independientes y autónomos permiten ocasionalmente el uso de cintas o disquetes, lo que, p. ej., evita el paro completo de una instalación si el ordenador central falla o se ha de detener por razones de mantenimiento.

El control numérico directo (DNC) ha de cuidar en primer lugar de la distribución sin problemas de los datos hacia las distintas máquinas-herramientas. El ordenador utilizado ofrece sin embargo, **adicionalmente**, la posibilidad de supervisar la circulación de palets a través de la instalación y registrar el estado de mecanización de cada pieza dentro del sistema, el número de piezas realizado o por realizar, y el nivel de aprovechamiento de la máquina. Además, se registran automáticamente los tiempos de trabajo y espera así como los motivos del paro.

Toda esta información de gestión se puede recuperar en cualquier momento en la pantalla o la impresora. Con ayuda del terminal de datos y del ordenador central del proceso se realizan también



correcciones menores de los programas. Para correcciones de más envergadura se recomienda la renovación completa del programa.

Si también se registran los tiempos de utilización de las distintas herramientas, se dispone de información sobre la necesidad de sustitución de herramientas. Otra pantalla o impresora proporciona los datos para la preparación de las herramientas, en qué máquina se ha alcanzado el límite de vida de la herramienta y cuándo se ha de realizar el recambio.

Dado el elevado número de herramientas utilizadas en sistemas de fabricación flexible, la supervisión automática de tiempos útiles es prácticamente una necesidad, puesto que en otro caso los costes de un control visual o mediante máquinas de medición podrían llegar a ser excesivos.

Las tareas que se trasladan al **ordenador central de fabricación** dependen de la disposición y del grado de automatización de la instalación. En ocasiones, se plantea la cuestión de si se han de asumir las tareas del ordenador central y del ordenador DNC en **ordenadores separados** o en un **ordenador común**.

Ello depende en primer lugar de la capacidad del ordenador y del software disponible para el mismo. En segundo lugar, es un tema de costes. La utilización general de varios ordenadores intercomunicados puede hacer que el sistema total sea más económico, flexible, supervisable y ampliable.

Veamos ahora independientemente de ello las **tareas correspondientes al ordenador central**.

Entre ellas están, por ejemplo:

- Recepción de las **órdenes de fabricación** necesarias con **número de unidades y plazos**
- Planificación o determinación de la **ocupación de las máquinas** (PPS = Sistema de planificación de la producción) como soporte para la preparación del trabajo
- **Asignación adecuada en el tiempo** de las piezas y herramientas a las máquinas
- Información al ordenador DNC para mantener invocables los programas de piezas necesarios
- Información para el sistema de gestión de herramientas relativa a las **herramientas** necesarias en las máquinas correspondientes
- Emisión al taller de una **lista de las distintas herramientas**, de la que se desprenden las herramientas que cambiar para cada máquina
- Llamada del almacén de los **dispositivos de amarre** necesarios
- Información al **sistema de transporte de piezas** sobre cuáles se han de trasladar y hacia dónde
- Preparación de los **programas de medición** correspondientes a la máquina de medición eventualmente integrada en el sistema
- **Información al personal del taller** sobre los trabajos a preparar, situación actual de los mismos, estrategias alternativas para el caso de paros de las máquinas, y muchas más.

Cuando se produce el para transitorio de una máquina, el ordenador central asigna las piezas a otras máquinas siguiendo una **estrategia para caso de paro** preparada, pone a disposición de estas máquinas los programas de sustitución necesarios y ofrece propuestas sobre cómo se podría evitar el cuello de botella producido. La decisión al respecto corresponde al personal.

Otra tarea es la **supervisión centralizada** de la instalación y de su estado con ayuda de la recopilación de datos de fabricación, cuya tarea consiste en reunir todos los datos esenciales de las máquinas y generar un **informe de situación**. Este sirve al personal para una mejor disposición y control de la producción, como base para el cálculo de costes y para la coordinación de la administración del material.



Entre las más importantes tareas de la recopilación de datos de fabricación se encuentran las siguientes informaciones:

- Máquina preparada para funcionar/no operativa
- Mecanizado ejecutable/detenido
- Palet en mecanizado/circulando
- Programas activos/programas ejecutables
- Piezas producidas
- Funcionamiento del sistema de transporte

## ***Selección de una célula flexible***

### Características técnicas a tener en cuenta en la selección

Características generales:

- Tipo de máquina
- N° de ejes
- N° de ejes controlados simultáneamente
- Velocidad de trabajo
- Potencias en cada eje
- Precisión y repetibilidad
- Volumen de trabajo

Características función herramienta:

- Capacidad del almacén
- Tiempo de cambio
- Detección de rotura
- Control de desgaste
- Identificación
- Acoplamientos

Características función pieza:

- Dimensiones y pesos manejables
- Tiempo de cambio
- Previsión del posicionado
- Capacidad del almacén
- Medición en máquina

Características de función auxiliares:

- Evacuación de viruta
- Evacuación de viruta
- Refrigeración
- Mantenimiento preventivo
- Autodiagnos
- Acceso a la máquina
- Seguridad



En un sistema de fabricación flexible disminuye el tiempo de espera de los materiales, aumenta el tiempo en uso de las máquinas, disminuye el tiempo de preparación máquina y aumenta el % de tiempo en que se está mecanizando.

En un sistema de fabricación flexible se reducen los tiempos por cambio de lotes, por cambios de piezas, por cambios de herramientas y utillajes, disminuyen los paros por problemas de organización, y consecuentemente queda más tiempo disponible para el mecanizado, y queda la posibilidad de dejar funcionando la célula prácticamente sola durante el tercer turno.

Situación de la fabricación flexible en cuanto al tamaño de lotes y variedad de piezas.

La fabricación flexible se sitúa en la zona de lotes medios de una fabricación con una variedad media de piezas. Es la zona en que se encuentran la mayoría de talleres que trabajan por subcontratación.

Valorando cualitativamente el tamaño de los lotes y la variedad de piezas, se puede establecer, en una primera aproximación, una cierta normativa sobre la adecuación del tipo de sistema de fabricación:

No obstante, en cada caso concreto conviene analizar la rentabilidad de las distintas posibilidades, en función de los costes en aquel momento, tanto de equipos como de mano de obra.

Comparación de los costes unitarios, capacidades de producción e inversión de los medios de producción actuales.

En los contratos con los proveedores se concierta una calidad, una cadencia de entregas y la paletización de las piezas

Grande: Tránsfer

Tránsfer Flexible

Medio: Tránsfer Flexible

G.S.F.F. (Grandes Sistemas de Fabricación Flexible)

C.F.F. (Células de Fabricación Flexible)

Centros de Mecanizado

Máquinas Individuales

La comparación presentada es generalista, y conviene en cada caso concreto analizar las distintas posibilidades, en función de los tipos de máquinas, características, tecnología y de los costes en aquel momento.

En general, un aumento de la flexibilidad significa una pérdida de productividad y un mayor coste unitario, sin embargo, las características del mercado condicionan a ir cada día más a un sistema de fabricación flexible. La premisa fundamental debe ser: diseñar un sistema productivo tan rígido como sea posible y tan flexible como sea necesario. La flexibilidad no es un objetivo en sí, sino un medio para conseguir la rentabilidad de la empresa.