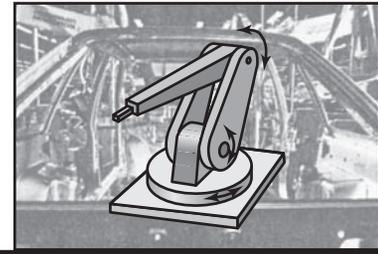


CAPÍTULO 37

Automatización de los procesos de manufactura



37.1	Introducción	1144
37.2	Automatización	1146
37.3	Control numérico	1153
37.4	Control adaptable	1161
37.5	Manejo y movimiento de materiales	1163
37.6	Robots industriales	1165
37.7	Tecnología de sensores	1171
37.8	Soportes Flexibles	1176
37.9	Sistemas de ensamble	1180
37.10	Consideraciones de diseño para soportes fijos, ensamble, desensamble y servicio	1183
37.11	Consideraciones económicas	1186

EJEMPLOS:

37.1	Origen histórico del control numérico	1154
37.2	Aplicaciones especiales de los sensores	1175

ESTUDIO DE CASO:

37.1	Desarrollo de un soporte fijo modular	1178
------	---------------------------------------	------

En este capítulo se describen el arte y la ciencia de la automatización en los procesos y las operaciones de manufactura. La capacidad de producir partes de manera confiable y económica con gran precisión y altas velocidades de producción se facilita sobre todo por el uso de la automatización. Los temas considerados incluyen:

- El uso de automatización rígida para líneas de producción muy grandes.
- El control numérico de máquinas para mejorar la productividad y aumentar la flexibilidad de la manufactura.
- Estrategias de control, incluyendo lazos abiertos, lazos cerrados y el control adaptable de procesos.
- El uso de robots industriales en diversas fases de las operaciones de manufactura.
- El impacto de la automatización en el diseño de los productos y en la economía de los procesos.

37.1 | Introducción

A principios de la década de 1950, la mayoría de las operaciones de manufactura en una planta común se realizaban en maquinaria tradicional, como tornos, fresadoras, taladros y diversos equipos de formado, moldeado y unión de materiales. Sin embargo, dicho equipo solía carecer de flexibilidad y requería considerable mano de obra calificada para producir partes con dimensiones y características aceptables. Cada vez que se manufacturaba un producto diferente, la maquinaria tenía que equiparse con herramental nuevo, prepararse los soportes fijos y arreglarse de nuevo el movimiento de materiales entre las distintas máquinas. El desarrollo de nuevos productos y partes con formas complejas exigía diversos intentos de prueba y error del operador a fin de establecer los parámetros adecuados de procesamiento en la máquina. Además, debido a la participación humana, era difícil, laborioso y costoso fabricar partes que fueran exactamente iguales.

En general, estas circunstancias ocasionaban que los métodos de procesamiento fueran ineficientes y los costos de mano de obra una parte significativa del costo general de producción. La urgencia de reducir esta última parte del costo de los productos se volvió cada vez más evidente, así como la necesidad de mejorar la eficiencia y flexibilidad de las operaciones de manufactura, en particular debido a la continua competencia interna y global.

La **productividad** también se convirtió en una mayor preocupación. En general, definida como “producción total por empleado por hora”, mide básicamente la eficiencia operativa. Por lo tanto, una operación eficiente optimiza el uso de todos los recursos, tales

como materiales, energía, capital, mano de obra, maquinaria y tecnología actualizada. Con los rápidos avances en ciencia y tecnología de la manufactura, la eficiencia de las operaciones de manufactura empezó a mejorar y, como resultado, el porcentaje de la mano de obra en el costo total empezó a declinar.

En el mejoramiento de la productividad, los elementos importantes han sido la *mecanización*, la *automatización* y el *control* del equipo y los sistemas de manufactura. La **mecanización** controla una máquina o un proceso mediante diversos dispositivos mecánicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos. Alcanzó su auge en la década de 1940. A pesar de sus beneficios, en las operaciones mecanizadas el trabajador sigue participando en un proceso específico directamente y debe verificar cada paso del desempeño de una máquina. Por ejemplo, si (a) una herramienta de corte se rompe durante el maquinado; (b) las partes se sobrecalientan durante el tratamiento térmico; (c) el acabado superficial empieza a deteriorarse en el rectificado, o (d) las tolerancias dimensionales se vuelven demasiado grandes en el formado de láminas metálicas, el operador debe intervenir, cambiar uno o más de los parámetros del proceso correspondiente y ajustar las máquinas, lo que requiere bastante experiencia.

El siguiente paso en la mejora de la eficiencia de las operaciones de manufactura fue la **automatización**. A mediados de la década de 1940, la industria automotriz en Estados Unidos propuso la palabra automatización para indicar el *manejo y proceso automáticos* de las partes entre las máquinas de producción. Aunque no existe una definición precisa, por lo general la automatización significa la metodología y el sistema de operación de una máquina o proceso por medios altamente *automáticos*; proviene del término griego *automatos*, que significa “de accionamiento propio”.

Existen diversos tipos y niveles (órdenes) de automatización. El orden se inicia con herramientas manuales simples y continúa con máquinas manuales, herramientas de potencia, máquinas automáticas de ciclo simple, máquinas de ciclos múltiples, líneas de transferencia, máquinas de control numérico y, finalmente, la implementación de sistemas expertos e inteligencia artificial, como se describe en el capítulo 39. Los rápidos avances en la automatización y las tecnologías de habilitación se han hecho posibles en gran medida gracias a los desarrollos en los **sistemas de control**, con la ayuda de computadoras y *software* cada vez más poderosos y sofisticados.

Este capítulo sigue la descripción esquemática de la figura 37.1. Primero se revisan la historia y los principios de la automatización y cómo ha ayudado a la integración de diversas operaciones y actividades clave en una planta de manufactura. Después, se introduce

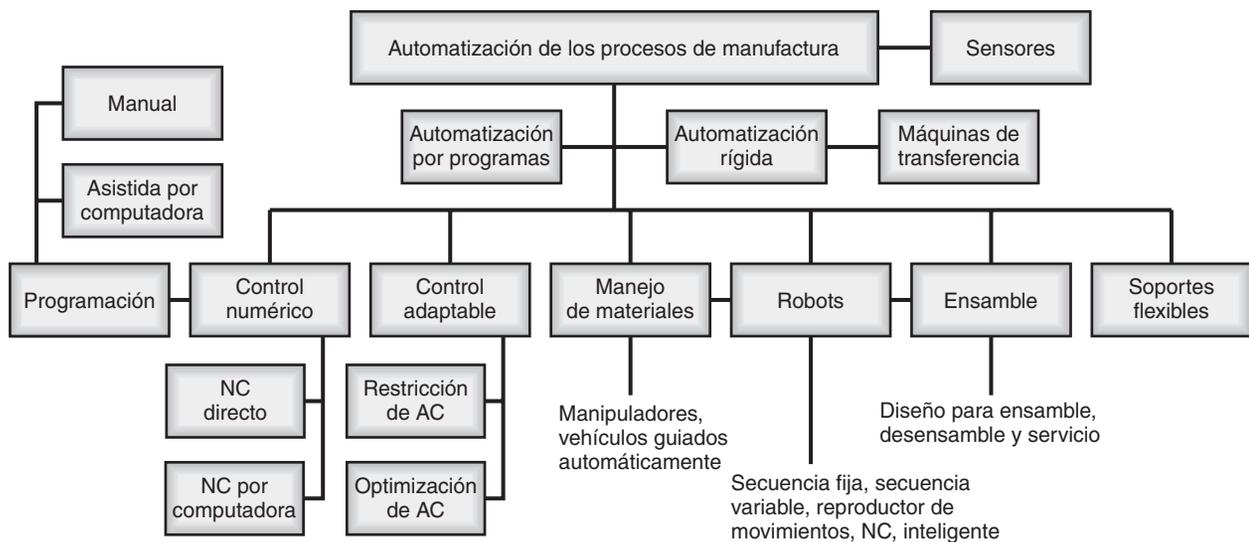


FIGURA 37.1 Diagrama de los temas comprendidos en el capítulo 37.

el concepto de control de máquinas y sistemas por medio de técnicas de *control numérico* y *control adaptable*. También se describe cómo se ha desarrollado la importante actividad del manejo y los movimientos de materiales en diversos sistemas, en particular los que incluyen el uso de *robots industriales* para mejorar la eficiencia del manejo.

Luego se describe el tema de la *tecnología de sensores*, que es fundamental en el control y la optimización de maquinaria, procesos y sistemas. También se abarcan desarrollos significativos en los *soportes flexibles* y las *operaciones de ensamble*. Estos métodos nos permiten aprovechar en su totalidad las tecnologías de manufactura avanzada, en particular los sistemas flexibles de manufactura. Este capítulo también trata los lineamientos para los *diseños de ensamble, desensamble y servicio* con recomendaciones específicas para mejorar la eficiencia de estas operaciones. El tema final describe los aspectos *económicos* de los procesos y las operaciones cubiertas en este capítulo.

37.2 | Automatización

Aunque pueden existir variaciones en la definición, la *automatización* suele definirse como el proceso de habilitación de las máquinas para seguir una secuencia predeterminada de operaciones con poca o ninguna mano de obra humana, utilizando equipo especializado y dispositivos que realizan y controlan los procesos de manufactura (tabla 37.1). La automatización total se logra mediante diversos dispositivos, sensores, actuadores, técnicas y equipo que tienen la capacidad de (*a*) supervisar todos los aspectos de la

TABLA 37.1

Desarrollo en la historia de la automatización de los procesos de manufactura	
Fecha	Desarrollo
1500-1600	Potencia hidráulica para el trabajo mecánico; molinos de laminación para cintas de acuñación.
1600-1700	Torno manual para madera; calculadora mecánica.
1700-1800	Torno de mandrinado, torneado y corte de tornillos; taladradoras de columna.
1800-1900	Torno de copiado, torno de torreta, fresadora universal; calculadoras mecánicas avanzadas.
1808	Tarjetas de lámina metálica con orificios troquelados para control automático de patrones de tejidos en telares.
1863	Piano automático (Pianola).
1900-1920	Torno engranado; máquina automática de tornillos; máquina automática de fabricación de botellas.
1920	Primer uso de la palabra <i>robot</i> .
1920-1940	Máquinas de transferencia; producción en masa.
1940	Primera máquina de cálculo electrónico.
1943	Primera computadora electrónica digital.
1945	Primer uso de la palabra <i>automatización</i> .
1947	Invención del transistor.
1952	Primer prototipo de máquina herramienta de control numérico.
1954	Desarrollo del lenguaje simbólico APT (Herramienta Programada Automáticamente); control adaptable.
1957	Máquinas herramienta NC comercialmente disponibles.
1959	Circuitos integrados; primer uso del término <i>tecnología de grupos</i> .
Década 1960	Robots industriales.
1965	Circuitos integrados a gran escala.
1968	Controladores lógicos programables.
1970	Primer sistema integrado de manufactura; soldadura por punto con robots para carrocerías automotrices.
Década 1970	Microprocesadores; robot controlado por minicomputadora; sistemas flexibles de manufactura; tecnología de grupos.
Década 1980	Inteligencia artificial; robots inteligentes; sensores inteligentes; celdas de manufactura sin atención de personal.
1990-2000	Sistemas integrados de manufactura; máquinas inteligentes y basadas en sensores; telecomunicaciones y redes globales de manufactura; dispositivos de lógica difusa; redes neuronales artificiales; herramientas de internet.

operación de manufactura; (b) tomar decisiones respecto de los cambios que deben hacerse en la operación, y (c) controlar todos sus aspectos.

La automatización es un concepto *evolutivo* más que revolucionario. En las plantas de manufactura, se ha implementado sobre todo en las siguientes áreas básicas de actividad:

- **Procesos de manufactura:** las operaciones de maquinado, forjado, extrusión en frío, fundición, metalurgia de polvos y rectificado son ejemplos principales de procesos que se han automatizado ampliamente.
- **Manejo y movimiento de materiales:** los materiales y las partes en diversas etapas de terminación se movilizan a través de una planta mediante equipo controlado por computadora, con poca o ninguna guía humana.
- **Inspección:** se inspeccionan automáticamente la precisión dimensional, el acabado superficial, la calidad y diversas características específicas de las partes mientras se fabrican (*inspección en proceso*).
- **Ensamble:** las partes manufacturadas individualmente y los componentes se ensamblan de manera automática como subensambles y ensambles para formar un producto.
- **Empaque:** los productos se empaquetan automáticamente para su envío.

37.2.1 Evolución de la automatización

Algunos de los procesos de trabajo mecánico se desarrollaron desde el año 4000 a.C., como se muestra en la tabla I.2 de la Introducción General. Sin embargo, no fue sino hasta el inicio de la Revolución Industrial, en la década de 1750 (también conocida como Primera Revolución Industrial), cuando se empezó a introducir la automatización en la producción de bienes. Las máquinas herramienta (como los tornos de torreta, las máquinas automáticas de tornillo y el equipo automático de fabricación de botellas) comenzaron a desarrollarse a finales del siglo XIX. Las técnicas de producción en masa y las máquinas de transferencia se desarrollaron en la década de 1920. Estas máquinas tenían mecanismos automáticos *fijos* y se diseñaron para fabricar productos *específicos*, bien representados por la industria automotriz, que producía vehículos de pasajeros a alta velocidad de producción y bajo costo.

La innovación más importante en la automatización se inició con el control numérico (NC) de las máquinas herramienta. A partir de este desarrollo histórico, ha habido un rápido avance en la automatización de la mayoría de los aspectos de manufactura. Estos desarrollos comprenden la introducción de computadoras en la automatización, control numérico computarizado (CNC), control adaptable (AC), robots industriales, diseño, ingeniería y manufactura asistidos por computadora (CAD/CAE/CAM) y sistemas de manufactura integrados por computadora (CIM).

La manufactura comprende diversos niveles de automatización, dependiendo de los procesos utilizados, el producto deseado y los volúmenes de producción. Los sistemas de manufactura, en orden creciente de automatización (ver fig. 37.2), incluyen las siguientes clasificaciones:

- **Trabajos de taller (*Job shops*):** en estas instalaciones se utilizan máquinas de propósito general y centros de maquinado con altos niveles de participación de mano de obra.
- **Producción autónoma de NC:** utiliza **máquinas de control numérico** (sección 37.3), pero con una interacción significativa operador/máquina.
- **Celdas de manufactura:** utilizan un conjunto diseñado de máquinas con control integrado por computadora y manejo flexible de materiales, a menudo con robots industriales (sección 37.6).
- **Sistemas flexibles de manufactura:** como se señala en la sección 39.3, utilizan control por computadora de todos los aspectos de la manufactura, incorporación simultánea de varias celdas de manufactura y sistemas automatizados de manejo de materiales.

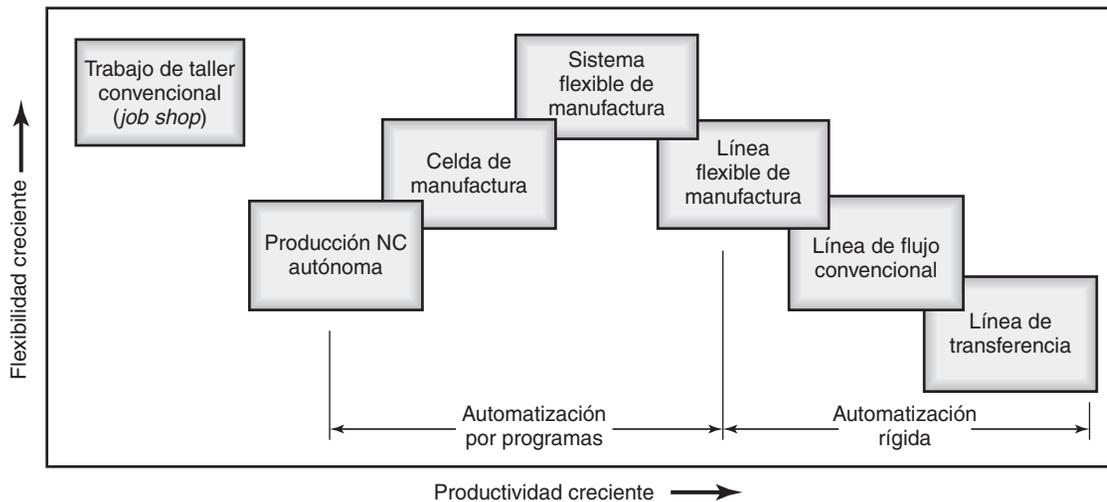


FIGURA 37.2 Flexibilidad y productividad de diferentes sistemas de manufactura. Obsérvese el traslape entre los sistemas; se debe a los diversos niveles de automatización y control por computadora que son posibles en cada grupo. Ver también el capítulo 39 para detalles.

- **Líneas flexibles de manufactura:** organizan la maquinaria controlada por computadora en líneas de producción en lugar de celdas. La transferencia de partes se efectúa mediante automatización rígida y el flujo de productos es más limitado que en los sistemas de manufactura flexibles, pero el rendimiento es mayor para cantidades de producción superiores.
- **Líneas de flujo y líneas de transferencia:** constan de agrupamientos organizados de maquinaria con manejo automatizado de materiales entre las máquinas. La línea de manufactura está diseñada con flexibilidad limitada o sin ella, ya que el objetivo es producir una sola parte.

37.2.2 Implementación de la automatización

La automatización tiene los siguientes objetivos principales:

- **Integrar** diversos aspectos de las operaciones de manufactura de manera que se mejoren la calidad y uniformidad de los productos, se minimicen los tiempos y esfuerzos de los ciclos y se reduzcan los costos de mano de obra.
- **Mejorar la productividad** reduciendo los costos de manufactura mediante un mejor control de la producción. Las partes se cargan, alimentan y descargan en las máquinas de modo más eficiente, las máquinas se utilizan de manera más efectiva y la producción se organiza en forma más eficaz.
- **Mejorar la calidad** utilizando procesos de mayor repetibilidad.
- **Reducir la participación humana**, el aburrimiento y de esta manera la posibilidad del error humano.
- **Reducir el daño de las piezas de trabajo** causado por el manejo manual de las partes.
- **Elevar el nivel de seguridad** del personal, sobre todo en condiciones de trabajo peligrosas.
- **Economizar el espacio de piso** en la planta arreglando las máquinas, el manejo y el movimiento de materiales y equipo auxiliar de manera más eficiente.

Automatización y cantidad de producción. La cantidad de producción es crucial al determinar el tipo de maquinaria y el nivel de automatización requeridos para elaborar partes de manera económica. La *cantidad total de producción* se define como el volumen total de partes a fabricar, el cual puede producirse en grupos o tandas individuales de varios *tamaños de lotes*. El tamaño del lote influye en gran medida en la economía de la producción.

TABLA 37.2

Cantidad aproximada de producción anual		
Tipo de producción	Cantidad producida	Productos comunes
Experimental o prototipo	1-10	Todos los productos.
Pieza o lote pequeño	10-5000	Aeronaves, misiles, maquinaria especial, matrices o dados, joyería e implantes ortopédicos.
Lote o alto volumen	5000-100,000	Camiones, maquinaria agrícola, motores de reacción, motores a diesel, componentes de computadoras y artículos deportivos.
Producción en masa	100,000 y más	Automóviles, electrodomésticos, sujetadores y contenedores para alimentos y bebidas.

La *capacidad de producción* se define como la cantidad de partes producidas por unidad de tiempo: por día, por mes o por año. En la tabla 37.2 se muestran intervalos aproximados, generalmente aceptados, de volumen de producción para algunas aplicaciones comunes. Como se esperaba, los productos experimentales o prototipos representan el volumen más bajo (ver también el capítulo 20).

Los **trabajos de taller** producen por lo común pequeñas cantidades por año (fig. 37.2) utilizando diversas máquinas herramienta estándar de propósito general (*máquinas autónomas*) o *centros de maquinado* (ver capítulo 25). Las operaciones realizadas suelen tener alta variedad de partes, lo que significa que pueden producirse diferentes partes en corto tiempo sin grandes cambios de herramientas y operaciones. Por otro lado, la maquinaria empleada en los trabajos de taller requiere por lo regular mano de obra calificada para funcionar, en tanto que las cantidades y capacidades de producción son bajas. Como resultado, el costo de producción por cada parte es elevado (fig. 37.3). Cuando las partes incluyen un componente grande de mano de obra, la producción se conoce como *intensiva en mano de obra*.

- Por lo general, la **producción de piezas y partes** considera cantidades muy pequeñas y es apropiada para talleres. La mayoría de la producción de piezas y partes comprende tamaños de lotes de 50 o menos.
- Comúnmente, las cantidades de **producción de grupos pequeños** van de 10 a 100, y el equipo utilizado consta de máquinas de propósito general y centros de maquinado con diversos controles por computadora.
- Por lo general, la **producción de grupos** comprende tamaños de lotes entre 100 y 5000. Utiliza maquinaria similar a la empleada para la producción de lotes pequeños, pero con aditamentos especialmente diseñados para tener mayor productividad.

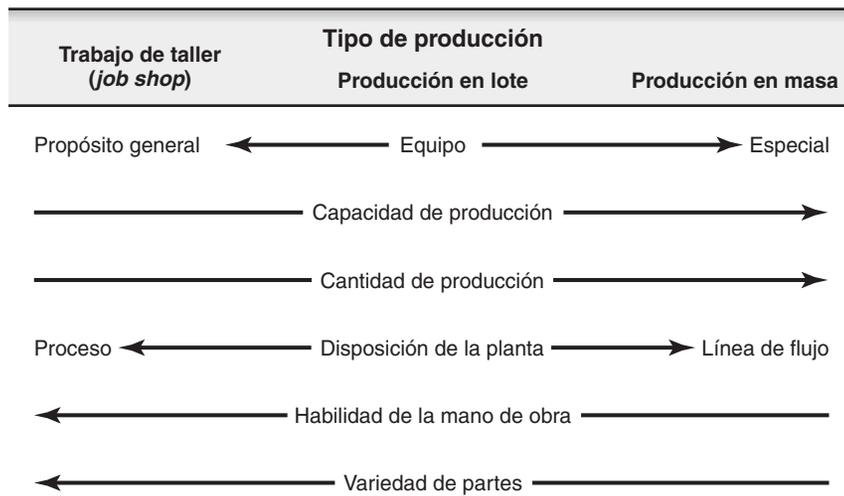


FIGURA 37.3 Características generales de tres tipos de métodos de producción: taller, por lote y producción en masa.

- La **producción en masa** a menudo comprende cantidades de alrededor de 100,000. Requiere maquinaria de propósito especial (conocida como *máquinas dedicadas*) y equipo automatizado para transferir materiales y partes en proceso. Aunque la maquinaria, el equipo y las herramientas especializadas son costosos, tanto la experiencia de la mano de obra requerida como sus costos son relativamente bajos. Estos sistemas de producción se organizan para un tipo específico de producto, de ahí que carezcan de flexibilidad.

37.2.3 Aplicaciones de la automatización

La automatización puede aplicarse a la manufactura de todo tipo de productos, desde materias primas hasta artículos terminados, y a la producción en general, desde talleres hasta grandes instalaciones de manufactura. La decisión de automatizar una instalación de producción nueva o existente requiere tomar en cuenta las siguientes consideraciones adicionales:

- Tipo de producto manufacturado.
- Cantidad y capacidad de producción requeridas.
- Fase particular de la operación de manufactura que se automatizará.
- Nivel de habilidad en la fuerza de trabajo disponible.
- Cualquier problema de confiabilidad y mantenimiento que pueda asociarse con los sistemas automatizados.
- Economía del proceso.

Debido a que la automatización generalmente comprende un alto costo inicial del equipo y requiere conocimiento sobre los principios de operación y mantenimiento, una decisión sobre el establecimiento de niveles —incluso bajos— de automatización debe incluir un estudio cuidadoso de las necesidades reales de una organización. En algunas situaciones, es más conveniente la **automatización selectiva** que la automatización total de una instalación. Como se advierte en el resto de la parte IX de este libro, existen diversos puntos importantes y complejos implícitos en la toma de decisiones acerca del nivel apropiado de automatización.

37.2.4 Automatización rígida (*Hard automation*)

En la *automatización rígida* o **automatización de posición fija**, las máquinas están diseñadas para producir un producto estándar, como un engrane, una flecha o un monobloque para motor. Aunque el tamaño del producto y los parámetros de procesamiento (como velocidad, avance y profundidad de corte) se pueden cambiar, estas máquinas son especializadas y carecen de flexibilidad. No es posible modificarlas para acomodar productos con diferentes formas y dimensiones (ver *tecnología de grupos*, sección 38.8). Debido a que es costoso diseñarlas y construirlas, su uso económico requiere la producción de partes en cantidades muy grandes. Por lo general, las máquinas utilizadas en aplicaciones de automatización rígida se construyen con base en el **principio modular (bloques de construcción)**. Se conocen como *máquinas de transferencia* (ver abajo) y constan de dos componentes principales: unidades de producción de cabezales de potencia y mecanismos de transferencia.

Unidades de producción de cabezales de potencia. Estas unidades, que constan de un bastidor o bancada, motores de accionamiento eléctrico, cajas de engranes y husillos para herramientas, son de tipo independiente. Sus componentes se consiguen en el mercado en diversos tamaños y capacidades estándar. Debido a su modularidad, pueden reagruparse fácilmente para producir una parte diferente y así tener cierta adaptabilidad y flexibilidad.

Máquinas de transferencia. Por lo regular con dos o más cabezales de potencia, estas máquinas pueden acomodarse en el piso del taller en modelos lineales, circulares o

en forma de U. El peso y la forma de las piezas de trabajo influyen en el arreglo seleccionado, que es importante para dar continuidad a la operación en caso de fallas de herramientas o rupturas de máquinas en una o más de las unidades. En estas máquinas se incorporan rasgos de *almacenamiento acumulativo*, a fin de permitir la operación continua en dicho caso.

Mecanismos de transferencia y líneas de transferencia. Los mecanismos de transferencia se utilizan para mover la pieza de trabajo de una estación a otra dentro de la máquina o de una máquina a otra, a fin de permitir la realización de diversas operaciones en la parte. Las piezas se transfieren mediante métodos que incluyen: (a) rieles, a lo largo de los cuales se empujan o jalan las partes (que suelen colocarse en tarimas [pallets]) mediante diversos mecanismos (fig. 37.4a); (b) mesas giratorias de indización (fig. 37.4b), y (c) transportadores o bandas transportadoras aéreas.

Por lo general, la transferencia de partes de una estación a otra se controla mediante sensores y otros dispositivos. Las herramientas en las máquinas de transferencia se pueden cambiar con facilidad utilizando portaherramientas con elementos de cambio rápido, en tanto que las máquinas pueden equiparse con diversos sistemas automáticos de calibrado e inspección. Estos sistemas se emplean entre operaciones para asegurar que las dimensiones de la parte producida en una estación estén dentro de las tolerancias aceptables antes de transferirla a la siguiente estación. Las máquinas de transferencia también se usan ampliamente en el ensamble automatizado, como se indica en la sección 37.9.

En la figura 37.5 se muestran **líneas de transferencia** o **líneas de flujo** en un sistema muy grande para producir cabezas de cilindros de monobloques o monoblocks para motores, que constan de varias máquinas de transferencia. Este sistema tiene la capacidad de producir 100 cabezas de cilindros por hora. Obsérvese las diversas operaciones de maquinado realizadas: fresado, taladrado, rimado, mandrinado, machueado, honeado, lavado y calibrado.

37.2.5 Automatización por programación

Ya hemos visto que la automatización rígida por lo general comprende máquinas de producción en masa que carecen de flexibilidad. En la *automatización por programación* (también conocida como **automatización flexible** o **programable**), se logra mayor flexibilidad mediante el uso del control por computadora de la máquina y sus funciones; por lo tanto, se pueden producir partes de formas complejas. La automatización por programación es un desarrollo importante, debido a que la máquina puede reprogramarse con facilidad y de inmediato para producir una parte con forma o dimensiones diferentes a la producida antes. Avances adicionales en la automatización flexible incluyen el uso extensivo de computadoras modernas que llevan al desarrollo de los **sistemas flexibles de manufactura** (sección 39.3), con altos niveles de eficiencia y productividad.

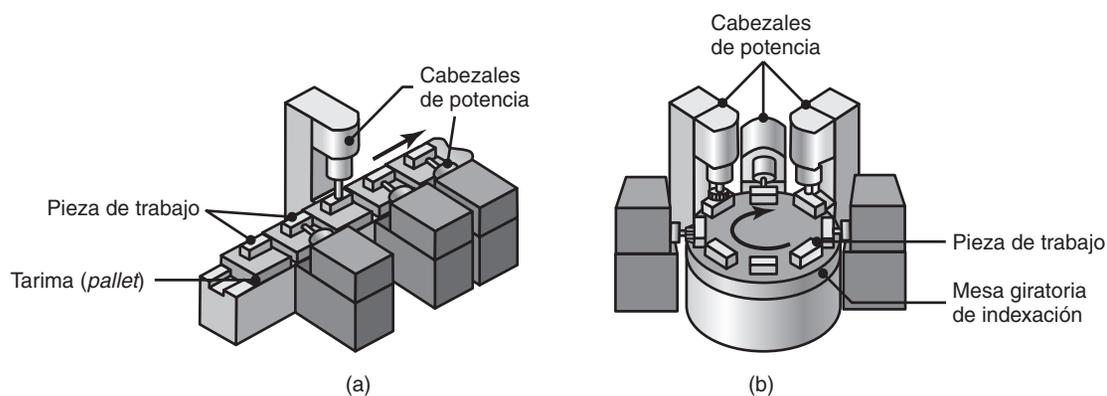


FIGURA 37.4 Dos tipos de mecanismos de transferencia: (a) rieles rectos, y (b) patrones circulares o rotatorios.

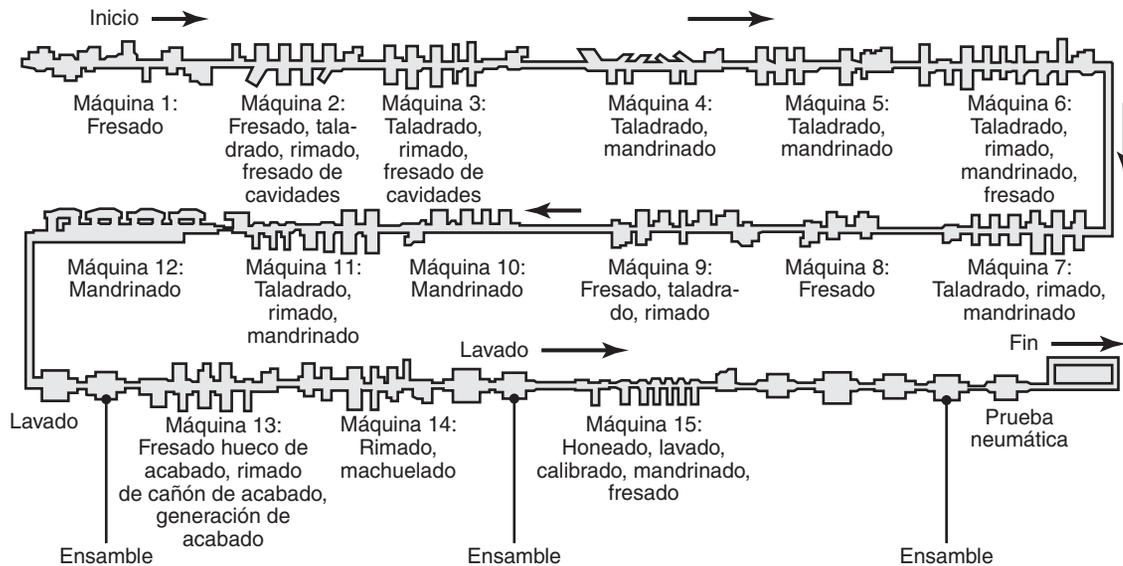


FIGURA 37.5 Línea de transferencia grande a fin de producir monobloques para motor y cabezas de cilindros. *Fuente:* Cortesía de Ford Motor Company.

37.2.6 Controladores lógicos programables

Tradicionalmente, el control de un proceso de manufactura en la secuencia apropiada (en particular uno que comprenda grupos de máquinas y equipo de manejo de material) se realiza mediante temporizadores, interruptores, relevadores, contadores y dispositivos similares cableados que se basan en principios mecánicos, electromecánicos y neumáticos. A principios de 1968 se introdujeron los *controladores lógicos programables* (PLC, *Programmable Logic Controllers*) para reemplazar estos dispositivos de cableado.

La National Electrical Manufacturers Association (NEMA) ha definido el controlador lógico programable como “un aparato electrónico de operación digital que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones a fin de implementar funciones específicas como lógica, secuenciación, tiempo, conteo y aritmética para controlar, mediante módulos de entrada y salida, digitales o analógicos, diversos tipos de máquinas o procesos”. Se considera que una computadora digital, que se emplea para controlar las funciones de un controlador programable, se ubica dentro de este alcance.

Debido a que los PLC eliminan la necesidad de tableros de control de relevadores, pueden reprogramarse y ocupan menos espacio, se han adoptado extensamente en sistemas y operaciones de manufactura. Sus funciones básicas son: (a) encendido y apagado; (b) movimiento; (c) secuencia de operaciones, y (d) control de retroalimentación. Los PLC también se utilizan para controlar sistemas con capacidades de comunicación y procesamiento digital de alta velocidad. Se comportan de manera confiable en ambientes industriales y mejoran la eficiencia general de la operación. Los PLC se han vuelto cada vez menos populares en instalaciones nuevas debido a los avances en las máquinas de control numérico, pero siguen representando una base de instalación muy grande. Las microcomputadoras se utilizan con amplitud porque son menos costosas que los PLC y fáciles de programar y conectar en red.

37.2.7 Mantenimiento total productivo

La administración y el mantenimiento de una amplia variedad de máquinas, equipos y sistemas se encuentran entre los aspectos importantes que afectan la productividad de una organización de manufactura. Los conceptos de *mantenimiento total productivo* (TPM, por sus siglas en inglés) y *administración total del equipo productivo* (TPEM, por sus siglas en inglés) incluyen análisis continuos de factores como (a) descompostura y otros problemas de equipo; (b) supervisión y mejora de la productividad del equipo; (c) implantación de mantenimiento preventivo y predecible; (d) reducción del tiempo de preparación, tiempo muerto y tiempo de ciclo; (e) utilización total de maquinaria y equipo y mejora de su efectividad, y (f) reducción de defectos de los productos. El equipo de trabajo es un componente básico de esta actividad y comprende la cooperación total de los operadores de máquinas, el personal de mantenimiento, los ingenieros y la administración de la organización. (Ver también **kaisen**, sección 36.1).

37.3 | Control numérico

El *control numérico* (NC, por sus siglas en inglés) es un método que controla los movimientos de los componentes de una máquina, insertando instrucciones codificadas en forma de números y letras directamente en el sistema. Éste interpreta en forma automática esos datos y los convierte en señales de salida. A su vez, dichas señales controlan diversos componentes de las máquinas, como la activación y desactivación de la rotación de husillos, cambio de herramientas, movimiento de la pieza de trabajo o de las herramientas a lo largo de trayectorias específicas, y activación y desactivación de fluidos de corte.

Para apreciar la importancia del control numérico de las máquinas, revisemos brevemente la forma en que se efectúa un proceso como el maquinado tradicional. Después de estudiar los planos de trabajo de una parte, el operador establece los parámetros apropiados del proceso (como velocidad y profundidad de corte, avance, fluido de corte y así sucesivamente), determina la secuencia de las operaciones de maquinado por realizar, sujeta la pieza de trabajo en un dispositivo portapiezas y procede con el maquinado de la parte.

Por lo general, dependiendo de la forma de la parte y de la precisión dimensional especificada, este método requiere operadores calificados. El procedimiento de maquinado puede depender del operador específico y, dadas las posibilidades de error humano, tal vez las partes producidas por el mismo operador no sean idénticas. Por lo tanto, la calidad de la parte depende de un operador específico o incluso del mismo operador en cierto día de la semana u hora del día. Debido a la necesidad de mejorar la calidad de los productos y reducir los costos de manufactura, dicha variabilidad en el desempeño, y sus efectos sobre la calidad de los productos, no son ya aceptables. Esta situación puede eliminarse mediante el control numérico de la operación de maquinado.

La importancia del control numérico puede ilustrarse con mayor detalle mediante el siguiente ejemplo. Supóngase que se van a taladrar varios orificios en una parte en las posiciones mostradas en la figura 37.6.

En el método manual de maquinado tradicional de esta parte, el operador coloca la broca para barrenar respecto de la pieza de trabajo, utilizando puntos de referencia proporcionados mediante cualquiera de los tres métodos mostrados en la figura. Después procede a taladrar los orificios. Primero supongamos que se van a taladrar 100 partes, todas exactamente con la misma forma y precisión dimensional. Es obvio que esta operación va a ser tediosa, debido a que el operador tiene que pasar de manera repetida por los mismos movimientos. Además, es alta la probabilidad de que, por diversas razones, algunas de las partes maquinadas sean diferentes a otras.

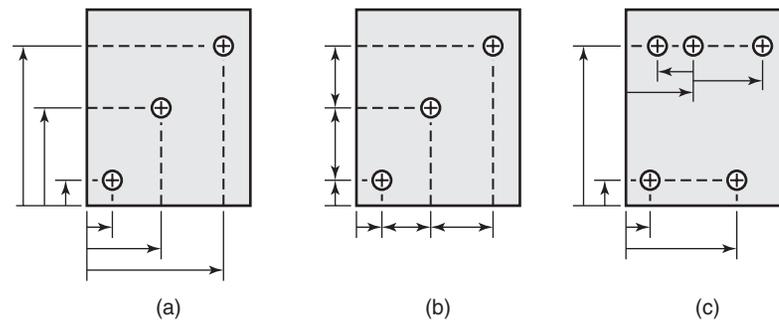


FIGURA 37.6 Posiciones de orificios taladrados en una pieza de trabajo. Se muestran tres métodos de medición: (a) dimensionamiento absoluto con referencia a un punto en la esquina inferior izquierda de la parte; (b) dimensionamiento incremental en secuencia de un orificio a otro, y (c) dimensionamiento mixto: combinación de ambos métodos.

Ahora supongamos que durante esta corrida de producción cambia el orden de las partes y 10 de ellas requieren orificios en diferentes posiciones. Entonces el maquinista tiene que posicionar de nuevo la mesa de trabajo; esta operación consume tiempo y está sujeta a errores. Dichas operaciones se pueden realizar con facilidad mediante máquinas de control numérico, que tienen la capacidad de producir partes de manera repetida y con precisión, y de manejar partes diferentes simplemente cargando diversos programas de partes.

En las operaciones de control numérico, los datos que se relacionan con todos los aspectos de la operación de maquinado (como localizaciones de herramientas, velocidades, avances y flujos de corte) se almacenan en discos duros. Con base en la información de entrada, se pueden activar relevadores y otros dispositivos (*controles cableados*) para obtener la configuración deseada de la máquina. Se realizan con facilidad operaciones complejas (como el torneado de una parte que tiene diversos contornos o el estampado de dados o matrices en una fresadora). Las máquinas de NC se utilizan mucho en la producción de cantidades pequeñas y medianas (por lo general, 500 partes o menos) de una amplia variedad de partes, tanto en tiendas pequeñas como en grandes instalaciones de manufactura.

EJEMPLO 37.1 Origen histórico del control numérico

Al parecer, el concepto básico detrás del control numérico se implantó a principios del siglo XIX, cuando se utilizaban orificios perforados en tarjetas de lámina metálica para controlar en forma automática los movimientos de las máquinas tejedoras. Con la detección de la presencia o ausencia de un orificio en la tarjeta se activaban agujas. A esta invención le siguieron los pianos mecánicos automáticos (*pianolas*), cuyas teclas se activaban mediante el flujo de aire a través de orificios troquelados en un rodillo perforado de papel.

J. Parsons (1913-) concibió por primera vez el principio de controlar numéricamente los movimientos de las máquinas herramienta en un intento por maquinar aspas complejas de helicópteros. La primera máquina prototipo de NC se construyó en 1952 en el Massachusetts Institute of Technology. Era una fresadora copiadora de husillo vertical, de dos ejes equipados con servomotores, y las operaciones de maquinado realizadas consistían en fresado frontal y fresado lateral de una placa de aluminio gruesa.

Los datos numéricos a troquelar en las cintas de papel se generaban mediante una computadora digital, otra invención que se estaba desarrollando al mismo tiempo

en el MIT. En los experimentos, se maquinaban partes con éxito, precisión y de manera repetida sin intervención del operador. Con base en este éxito, la industria de las máquinas herramienta empezó a diseñar, construir y comercializar las máquinas herramienta NC. Posteriormente, estas máquinas se equiparon con controles numéricos computarizados (CNC, por sus siglas en inglés), produciendo mayor flexibilidad, precisión, versatilidad y facilidad de operación. Los últimos desarrollos son los *centros de maquinado*, cuyos principios se describen en el capítulo 25.

37.3.1 Control numérico por computadora

El siguiente paso en el desarrollo del control numérico se produjo cuando el equipo de control (montado en la máquina NC) se convirtió en un control por computadora local mediante *software*. Se desarrollaron dos tipos de sistemas computarizados: control numérico directo y control numérico por computadora.

- En el **control numérico directo** (DNC, por sus siglas en inglés), se controlan diversas máquinas directamente (paso a paso) mediante una computadora de unidad de procesamiento central. En este sistema, el operador tiene acceso a la computadora central a través de una terminal computarizada. Con el DNC, el estatus de todas las máquinas en una instalación de manufactura se puede monitorear y determinar desde una computadora central. Sin embargo, el DNC tiene una desventaja crucial: si la computadora se apaga, todas las máquinas se vuelven inoperables.

Una definición más reciente del DNC es el **control numérico distribuido**, en el que una computadora central sirve como sistema de control para varias máquinas CNC individuales que tienen microcomputadoras incorporadas. Este sistema proporciona gran memoria e instalaciones computacionales y ofrece flexibilidad, al tiempo que supera la desventaja del control numérico directo.

- El **control numérico por computadora** (CNC) es un sistema en el que una microcomputadora de control es parte integral de una máquina (*computadora integrada*). El operador de la máquina puede programar las computadoras integradas, modificar los programas en forma directa, prepararlos para diferentes partes y almacenarlos. En la actualidad, se utilizan ampliamente sistemas CNC debido a la disponibilidad de (a) pequeñas computadoras con gran memoria; (b) controladores programables y microprocesadores de bajo costo, y (c) capacidades de edición de programas.

37.3.2 Principios de las máquinas NC

En la figura 37.7 se muestran los elementos y la operación básicos de una máquina NC común. A continuación se describen los elementos funcionales del control numérico y los componentes implicados.

- **Entrada de datos:** la información numérica se lee y almacena en la memoria de la computadora.
- **Procesamiento de datos:** los programas son leídos en la unidad de control de la máquina para su procesamiento.
- **Salida de datos:** esta información se traduce en comandos (por lo general, comandos por pulsos) al servomotor (fig. 37.8). Después éste mueve la mesa de trabajo (en la que se monta la pieza de trabajo) a posiciones específicas por medio de movimientos lineales o giratorios usando motores paso a paso, tornillos de avance y otros dispositivos similares.

Tipos de circuitos de control. Una máquina NC se puede controlar mediante dos tipos de circuitos: lazo abierto y lazo cerrado. En el sistema de **lazo abierto** (fig. 37.8a), las señales se envían al servomotor mediante el controlador, pero en los movimientos y las

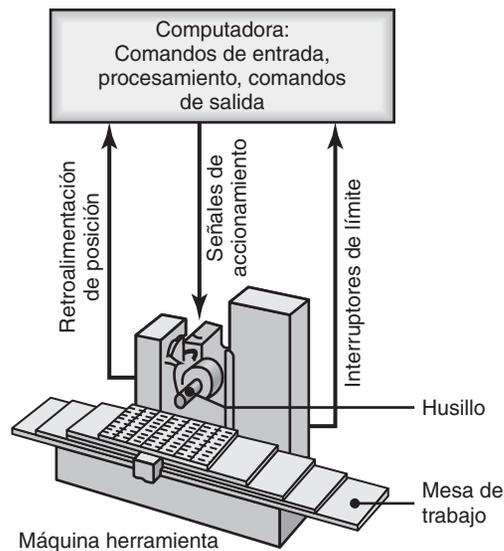


FIGURA 37.7 Esquema de los principales componentes de control de posición en una máquina herramienta de control numérico.

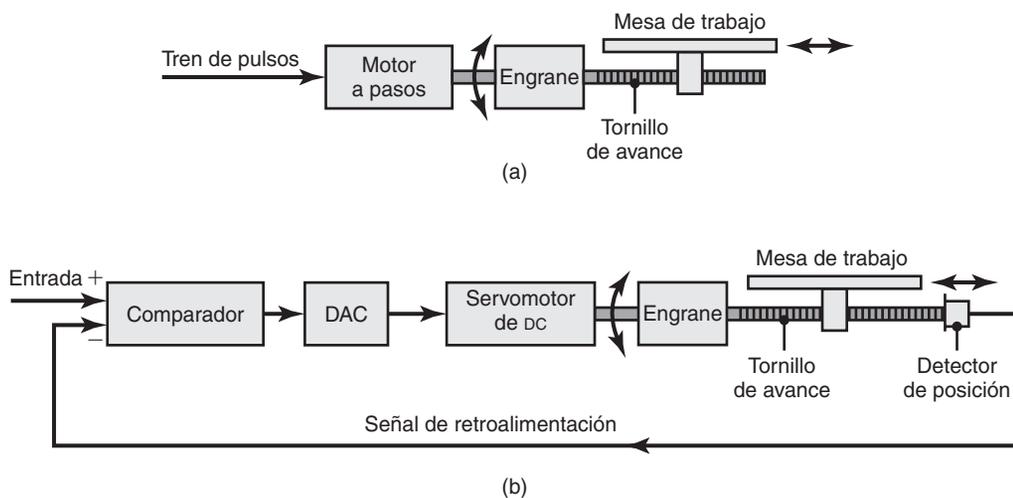


FIGURA 37.8 Esquema de los componentes de un sistema de control: (a) de lazo abierto, y (b) de lazo cerrado, para una máquina de control numérico. DAC significa “convertidor digital a analógico” (iniciales en inglés).

posiciones finales de la mesa de trabajo no se verifica la precisión. El sistema de **lazo cerrado** (fig. 37.8b) está equipado con diversos transductores, sensores y contadores que miden de manera precisa la posición de la mesa de trabajo. Mediante el **control de retroalimentación**, la posición de dicha mesa se compara con la señal, y los movimientos de la tabla terminan cuando se alcanzan las coordenadas adecuadas.

La **medición de posición** en las máquinas NC se realiza por medio de métodos indirectos o directos (fig. 37.9). En los *sistemas de medición indirecta*, los *codificadores (encoders) rotatorios o reductores (resolvers)* convierten el movimiento rotatorio en movimiento de traslación. Sin embargo, la zona muerta (el juego entre dos dientes de engranes de acoplamiento adyacente) puede afectar la precisión de la medición de manera significativa. Los mecanismos de retroalimentación de posición utilizan diversos sensores que se basan principalmente en principios magnéticos y fotoeléctricos. En los *sistemas de*

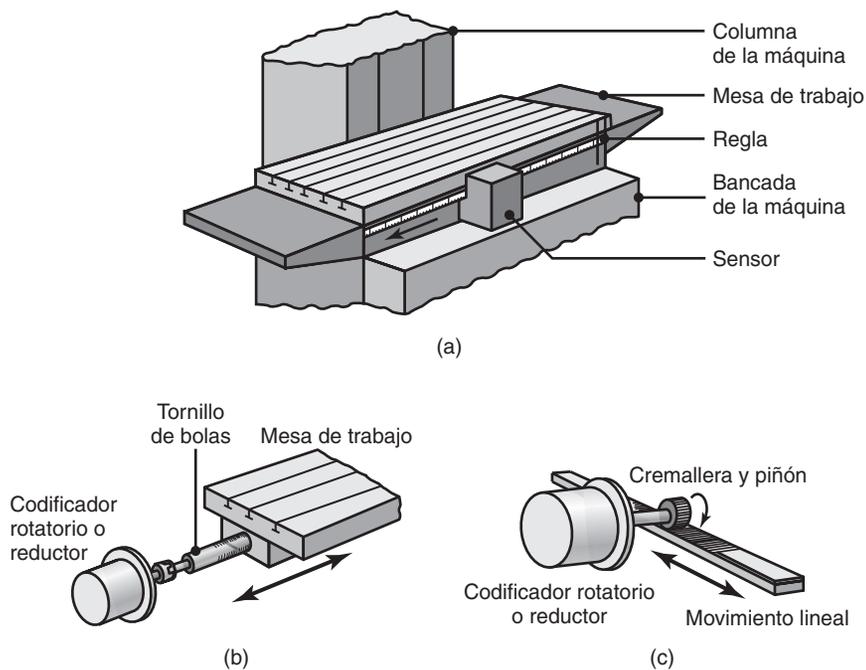


FIGURA 37.9 (a) Medición directa del desplazamiento lineal de la mesa de trabajo de una máquina herramienta. (b) y (c) Métodos de medición indirecta.

medición directa, un dispositivo de detección lee una regla graduada en la mesa de la máquina o en la corredera para producir un movimiento lineal (fig. 37.9c). Este sistema es el más preciso debido a que la regla se integra en la máquina y la zona muerta en los mecanismos no es significativa.

37.3.3 Tipos de sistemas de control

En el control numérico existen dos tipos básicos de sistemas de control: punto a punto y contornoado.

1. En un **sistema punto a punto** (también conocido como *sistema de posicionamiento*), cada uno de los ejes de la máquina se acciona por separado mediante tornillos de avance y a diferentes velocidades, dependiendo del tipo de operación. La máquina se mueve al principio a máxima velocidad para reducir el tiempo no productivo, pero se desacelera cuando la herramienta se aproxima a su posición definida numéricamente. Por lo tanto, en una operación como el taladrado de un orificio, posicionamiento y taladrado ocurren en secuencia (fig. 37.10a).

Después de que se taladra el orificio, la herramienta se retira hacia arriba y se mueve con rapidez a la siguiente posición, donde la operación se repite. La trayectoria continua, de una posición a otra es importante sólo en un aspecto: debe seleccionarse para minimizar el tiempo de recorrido a fin de tener un mejor rendimiento. El sistema punto a punto se utiliza principalmente en las operaciones de taladrado, punzonado y fresado.

2. En un **sistema de contornoado** (también conocido como *sistema de trayectoria continua*), tanto el posicionamiento como las operaciones se realizan a lo largo de trayectorias controladas, pero a diferentes velocidades. Debido a que la herramienta actúa conforme avanza a lo largo de una trayectoria prescrita (fig. 37.10b), es importante el control preciso y la sincronización de velocidades y movimientos. Por lo general, el sistema de contornoado se utiliza en tornos, fresadoras, rectificadoras, soldadoras y centros de maquinado.

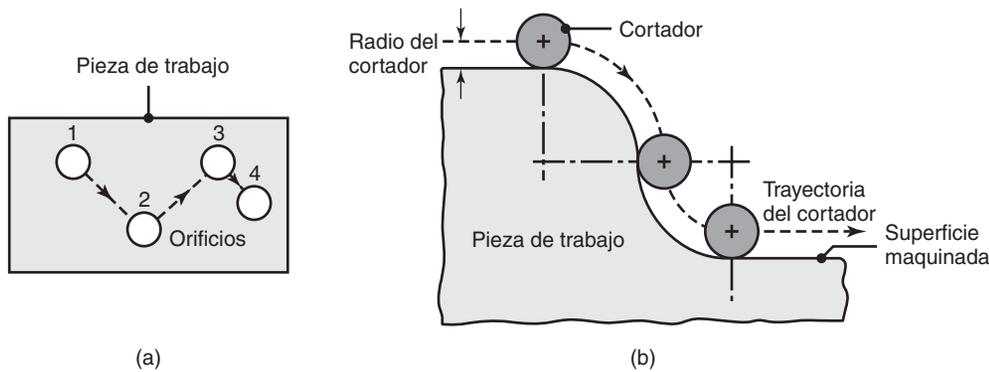


FIGURA 37.10 Movimiento de las herramientas en el maquinado de control numérico. (a) Punto a punto, en el que la broca perfora un orificio en la posición 1, se retrae y mueve a la posición 2 y así sucesivamente. (b) Trayectoria continua de una fresadora. Obsérvese que la trayectoria de la fresadora se compensa por el radio del cortador. Esta trayectoria también puede compensarse por desgaste del cortador.

Interpolación. El movimiento a lo largo de la trayectoria (*interpolación*) ocurre de manera progresiva mediante uno de los siguientes métodos (fig. 37.11). En la figura 37.12 se muestran ejemplos de trayectorias reales en las operaciones de taladrado, mandrinado y fresado. En todas las interpolaciones, la trayectoria controlada es la del *centro de rotación* de la herramienta. La compensación de diferentes tipos de herramientas, para distintos diámetros de herramientas o para desgaste de la herramienta durante el maquinado, puede realizarse en el programa NC.

- En la **interpolación lineal**, la herramienta se mueve en línea recta desde el inicio hasta el fin (fig. 37.11a) a lo largo de dos o tres ejes. En teoría, mediante este método se pueden fabricar todos los tipos de perfiles produciendo pequeños aumentos entre los puntos (fig. 37.11b). Sin embargo, se tiene que procesar una gran cantidad de datos para hacerlo.
- En la **interpolación circular** (fig. 37.11c), las entradas requeridas para la trayectoria son las coordenadas de los puntos finales, las coordenadas del centro del círculo y su radio y la dirección de la herramienta a lo largo del arco.
- En la **interpolación parabólica** o **interpolación cúbica**, la trayectoria se aproxima mediante curvas usando ecuaciones matemáticas de orden superior. Este método es efectivo en máquinas de cinco ejes y es útil en operaciones de estampado de dados o matrices, para formado de láminas de carrocerías automotrices. Estas interpolaciones también se emplean para los movimientos de los robots industriales, como se trata en la sección 37.6.

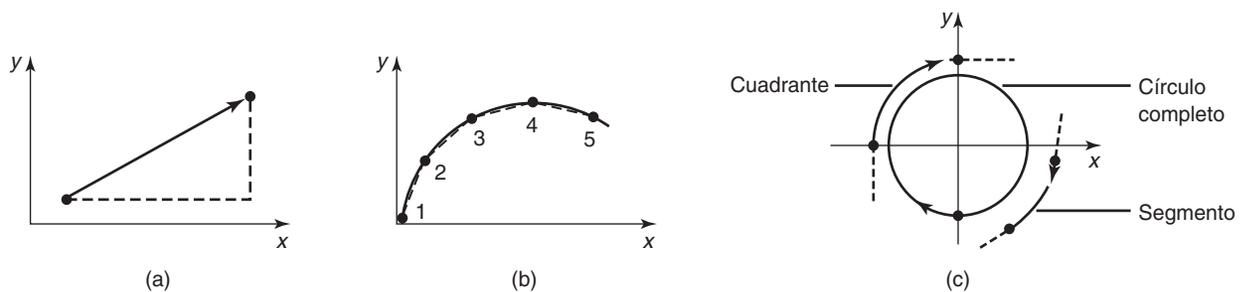


FIGURA 37.11 Tipos de interpolación en control numérico: (a) lineal, (b) trayectoria continua aproximada mediante líneas rectas adicionales, y (c) circular.

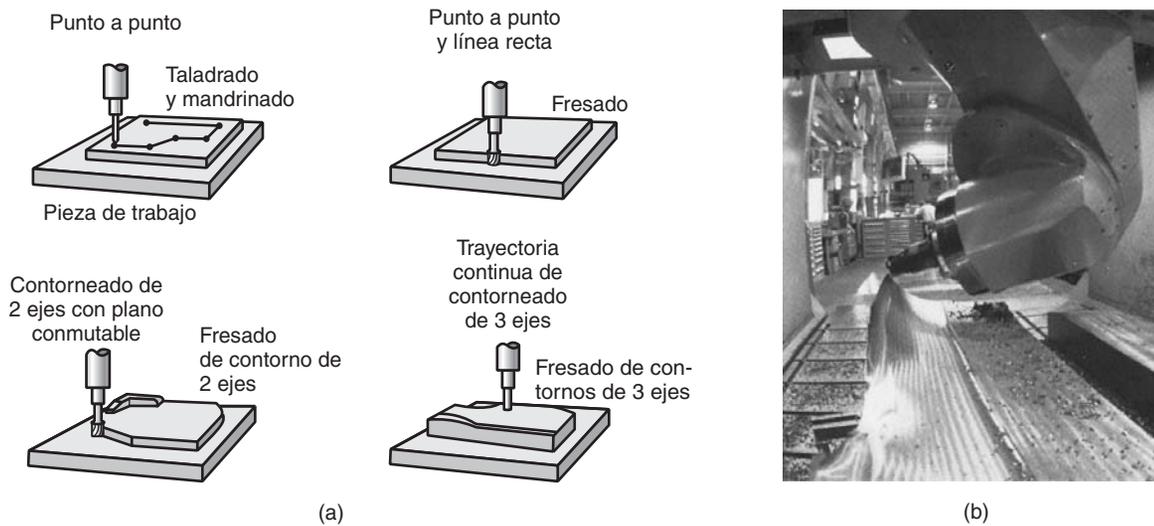


FIGURA 37.12 (a) Esquema de taladrado, mandrinado y fresado con diversas trayectorias. (b) Maquinado de una superficie esculpida en una máquina de control numérico de cinco ejes. Fuente: Cortesía de The Ingersoll Milling Machine Co.

37.3.4 Precisión en el control numérico

La *precisión del posicionamiento* en las máquinas de control numérico se define por la precisión con que la máquina puede posicionarse hasta cierto sistema de coordenadas. La *precisión de repetición* se define como la concordancia de los movimientos de posición repetidos en las mismas condiciones operativas de la máquina. La *resolución* (también llamada *sensibilidad*) es el incremento más pequeño de movimiento de los componentes de la máquina.

La *rigidez* de la máquina herramienta y el *juego* en los engranes transmisores y tornillos de avance son importantes para lograr la precisión dimensional. El juego en las máquinas modernas se elimina utilizando tornillos de bola precargados. Además, la rápida respuesta a las señales de los comandos requiere que se minimicen la fricción en las guías y la inercia; esto último se puede lograr reduciendo la masa de los componentes en movimiento de la máquina, como el uso de materiales de peso ligero, incluyendo cerámicos.

37.3.5 Ventajas y limitaciones del control numérico

El control numérico tiene las siguientes ventajas sobre los métodos convencionales de control de las máquinas:

- Se mejora la flexibilidad de la operación, así como la capacidad de producir formas complejas con buena precisión dimensional, buena repetibilidad, reducción en la pérdida por desperdicios, altas velocidades de producción, productividad y calidad de los productos.
- Se reducen los costos del herramental, debido a que no se requieren plantillas ni otros soportes fijos.
- Se facilita el ajuste de las máquinas.
- Se pueden realizar más operaciones con cada configuración y el tiempo requerido para el inicio y maquinado es menor en comparación con los métodos convencionales.
- Se pueden elaborar programas con rapidez y es posible reutilizarlos en cualquier momento mediante microprocesadores.
- Es posible producir prototipos con rapidez.
- La experiencia requerida del operador es menor que la de un maquinista calificado y aquél tiene más tiempo para atender otras tareas en el área de trabajo.

Las limitaciones principales del NC son el costo inicial relativamente alto del equipo, la necesidad y el costo del tiempo de programación y la computadora y el mantenimiento especial requerido. Debido a que estas máquinas son sistemas complejos, las descomposturas pueden ser costosas, así que el mantenimiento preventivo es fundamental.

37.3.6 Programación del control numérico

El programa de control numérico consta de una secuencia de direcciones que hace que una máquina NC realice cierta operación, siendo el maquinado el proceso más común. La *programación NC* se puede realizar (a) en un departamento de programación interna; (b) en el taller, o (c) comprarla de una fuente externa.

El programa contiene instrucciones y comandos. Las *instrucciones geométricas* corresponden a movimientos relativos entre la herramienta y la pieza de trabajo. Las *instrucciones de procesamiento* tienen que ver con las velocidades del husillo, avances, herramientas de corte, fluidos de corte y otros similares. Las *instrucciones de avance* corresponden al tipo de interpolación y a la velocidad de movimiento de la herramienta o la mesa de trabajo. Las *instrucciones de conmutación* se relacionan con la posición del encendido y apagado del suministro de refrigerante, dirección o falta de rotación del husillo, cambios de herramientas, avances de la pieza de trabajo, sujeción y otros similares.

La *programación manual de partes* consiste primero en calcular las relaciones dimensionales de la herramienta, la pieza de trabajo y la mesa de trabajo con base en los planos de ingeniería de la parte (incluyendo CAD), las operaciones de manufactura por realizar y su secuencia. Después se elabora una hoja de programa, detallando la información necesaria a fin de realizar la operación específica. Luego se prepara el programa de la parte con base en esta información. Sin embargo, el trabajo comprendido es tedioso, consume mucho tiempo y es poco económico. Por consiguiente, la programación manual se utiliza en su mayoría en aplicaciones simples de punto a punto. Con la disponibilidad más amplia de *software* de manufactura, la programación manual de partes cada vez se vuelve menos común.

La *programación de partes asistida por computadora* comprende *lenguajes de programación* simbólicos especiales que determinan los puntos de coordenadas de esquinas, bordes y superficies de la parte. Un **lenguaje de programación** es un medio de comunicación con la computadora; comprende el uso de caracteres simbólicos. El programador describe en este lenguaje el componente que se va a procesar y la computadora convierte dicha descripción en comandos para la máquina NC. Están disponibles comercialmente diversos lenguajes.

Las partes complejas se maquinan utilizando programas de maquinado basados en gráficos y asistidos por computadora. La trayectoria de una herramienta se crea en un ambiente muy gráfico que es similar a un programa de CAD. El programa crea en forma automática el código de la máquina (**Código G**). Este código es valioso para comunicar instrucciones de maquinado al *hardware* CNC, pero es difícil de editar y resolver problemas sin interpretadores de *software*. Cuando se encuentran dificultades menores, como (a) el uso de diámetros de fresas diferentes a los originalmente programados, o (b) el cambio de la velocidad de corte para evitar vibración; el operador de la máquina necesita modificar el programa, lo que es difícil utilizando el Código G.

En la *programación de piso de taller*, el *software* de programación CNC se utiliza directamente en el controlador de la máquina herramienta. Esto permite enviar geometría de nivel superior e información de procesamiento al controlador CNC en lugar del código G. Después se desarrolla este código mediante la computadora dedicada, bajo control del operador de la máquina. La ventaja es que cualquier cambio que se realice al programa de maquinado se envía de nuevo al grupo de programación, se almacena en una iteración de diseño probada en taller y puede reutilizarse o estandarizarse para las partes. Antes de iniciar la producción, se deben verificar los programas, ya sea viendo una simulación del proceso en un monitor o produciendo primero la parte con un material poco costoso, como aluminio, madera, cera o plástico.

37.4 | Control adaptable

El *control adaptable* (AC, por sus siglas en inglés) es básicamente un sistema de retroalimentación dinámica en el que los parámetros operativos se adaptan en forma automática para ajustarse a nuevas circunstancias. Las reacciones humanas ante sucesos de la vida diaria también contienen un control de retroalimentación dinámica. Por ejemplo, conducir un auto en un camino sin obstáculos es, hasta cierto punto, fácil y se necesita hacer pocos ajustes (si existe alguno). Sin embargo, en un camino accidentado, quizá se tenga que conducir para evitar los baches observando continuamente la condición del camino. Además, nuestro cuerpo siente los movimientos bruscos y vibraciones del auto, por lo que reaccionamos cambiando la dirección o la velocidad del vehículo para minimizar los efectos del camino sinuoso y mejorar la comodidad del recorrido.

Un **controlador adaptable** verifica en forma continua las condiciones del camino, adapta un perfil de frenado apropiado y deseado (por ejemplo, un sistema de frenos antibloqueo y control de tracción) y después utiliza retroalimentación para implantarlo. El control adaptable es una extensión lógica de los sistemas de control numérico por computadora. Como se describe en la sección 37.3, el programador de partes establece los parámetros de procesamiento con base en el conocimiento existente acerca del material de la pieza de trabajo y diversos datos sobre el proceso específico de manufactura. En las máquinas CNC, estos parámetros se mantienen constantes durante un ciclo del proceso en particular. Por otro lado, en el control adaptable (AC), el sistema tiene la capacidad de ajustes automáticos *durante* el procesamiento mediante el control de retroalimentación de lazo cerrado (fig. 37.13). En el comercio existen disponibles diversos sistemas de control adaptables para una variedad de aplicaciones.

Control adaptable en la manufactura. La aplicación de AC en la manufactura es particularmente importante en situaciones en las que las dimensiones de la pieza de trabajo y la calidad no son uniformes, como en una fundición deficiente o una parte sometida de manera inapropiada a tratamiento térmico. Los propósitos principales del control adaptable en la manufactura son (a) optimizar la capacidad de producción; (b) optimizar la calidad de los productos, y (c) minimizar el costo de producción.

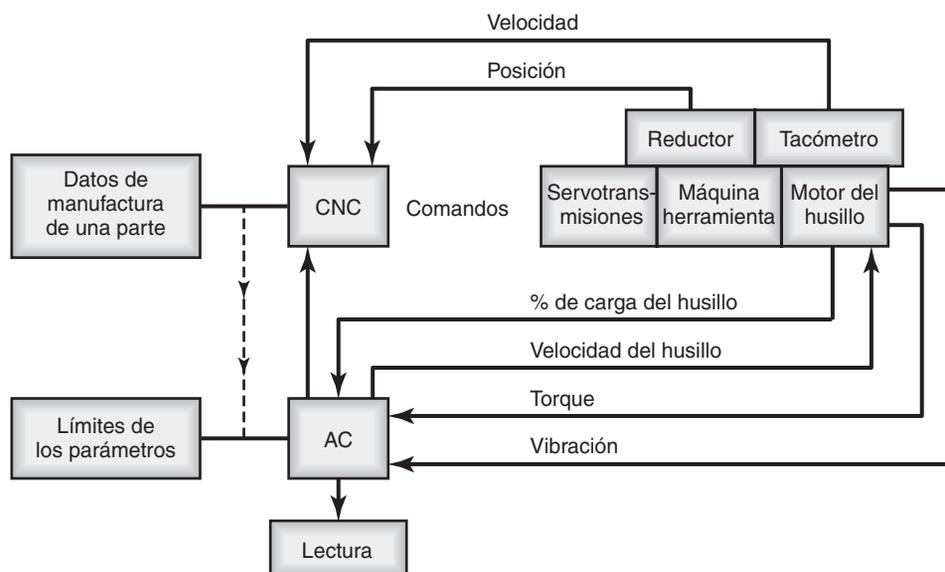


FIGURA 37.13 Esquema de la aplicación de control adaptable (AC) a una operación de torneado. El sistema supervisa parámetros como la fuerza de corte, torque y vibraciones. Si estos parámetros son excesivos, modifica las variables del proceso (como avance y profundidad de corte) para llevarlos nuevamente a niveles aceptables.

Como un ejemplo de control adaptable, considérese una operación de maquinado como el torneado en un torno. El sistema de control adaptable detecta parámetros *en tiempo real*, como fuerzas de corte, torque del husillo, temperatura, velocidad de desgaste de las herramientas, condición de las herramientas y acabado superficial de la pieza de trabajo. El sistema convierte esta información en comandos que después modifican los parámetros del proceso en la máquina herramienta a fin de mantenerlos constantes, dentro de ciertos límites, u optimizar la operación de maquinado.

Dichos sistemas, que ocupan una restricción en una variable del proceso (como fuerza, torque o temperatura), se conocen como sistemas de *restricción de control adaptable* (ACC, por sus siglas en inglés). Por lo tanto, si la fuerza de empuje y la fuerza de corte (y, por lo tanto, el torque) aumentan en forma excesiva (como por la presencia de una región dura en una pieza de trabajo fundida), el sistema cambia la velocidad o el avance para reducir la fuerza de corte a un nivel aceptable (fig. 37.14). Sin control adaptable o la intervención directa del operador (como es el caso en operaciones tradicionales de maquinado), las altas fuerzas de corte pueden provocar la falla en las herramientas o hacer que la pieza de trabajo se doble o distorsione en exceso. Como resultado, la precisión dimensional y el acabado superficial de la pieza de trabajo empiezan a deteriorarse. Los sistemas que optimizan una operación se conocen como sistemas de *optimización de control adaptable* (ACO, por sus siglas en inglés). La optimización puede comprender la maximización de la velocidad de remoción de material entre cambios de herramienta o mejorar el acabado superficial.

El tiempo de respuesta debe ser corto para que el AC sea efectivo, sobre todo en operaciones de maquinado de alta velocidad (ver sección 25.5). Por ejemplo, supóngase que se está realizando una operación de torneado en un torno a una velocidad de husillo de 1000 rpm y la herramienta se rompe de repente, afectando de manera adversa el acabado superficial y la precisión dimensional de la parte. Para que el sistema de AC sea efectivo, el sistema detector debe responder dentro de un tiempo muy corto, de lo contrario el daño a la pieza de trabajo puede ser extenso.

Para que el control adaptable sea efectivo en operaciones de manufactura, deben establecerse y guardarse relaciones cuantitativas en el *software* de la computadora como modelos matemáticos. Por ejemplo, si la velocidad de desgaste de la herramienta en una operación de maquinado es excesiva, la computadora debe tener la capacidad de decidir cuánto cambio es necesario en la velocidad o el avance (y si aumentarla o disminuirla) a fin de reducir la velocidad de desgaste a un nivel aceptable. El sistema también debe tener la capacidad de compensar cambios dimensionales en la pieza de trabajo debido a causas como desgaste de la herramienta y aumento de la temperatura (fig. 37.15).

Por ejemplo, si la operación es rectificado, el *software* de la computadora debe reflejar las relaciones cuantitativas deseadas entre las variables independientes del proceso (como velocidades del disco y trabajo, avance y tipo de disco) y parámetros dependientes (como desgaste del disco, desafilado de los granos abrasivos, fuerzas de rectificado,

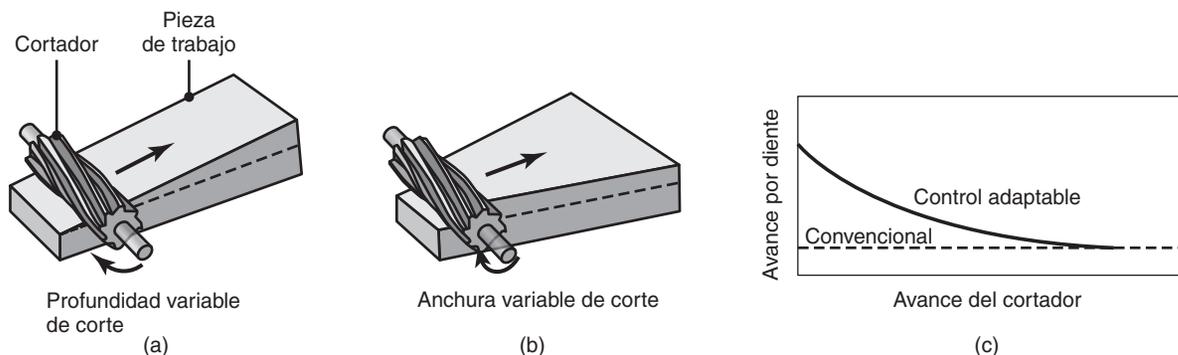


FIGURA 37.14 Ejemplo de control adaptable en fresado. Al aumentar (a) la profundidad de corte, o (b) la anchura de corte, las fuerzas de corte y el torque se incrementan. El sistema detecta este aumento y reduce automáticamente el avance (c) para evitar fuerzas excesivas o la ruptura de la herramienta y mantener la eficiencia del corte. Fuente: Y. Koren.

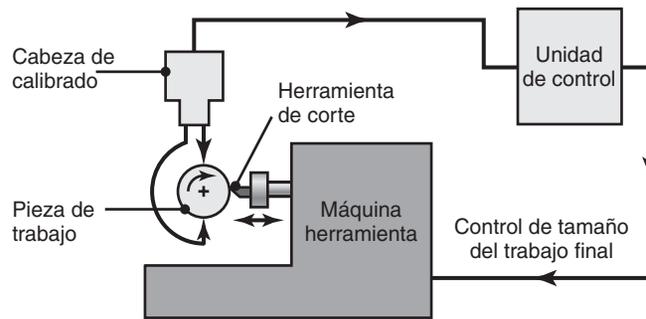


FIGURA 37.15 Inspección en proceso del diámetro de la pieza de trabajo en una operación de torneado. El sistema ajusta automáticamente la posición radial de la herramienta de corte para producir el diámetro correcto.

temperatura, acabado superficial y deflexiones de las partes). De manera similar, para el doblado de una lámina en una matriz o dado en V, los datos sobre la dependencia de la recuperación elástica respecto de la carrera del troquel y a otras variables de materiales y del proceso deben almacenarse en la memoria de la computadora.

En comparación con los demás parámetros comprendidos en las operaciones de manufactura, se ha encontrado que las fuerzas de corte y el torque del husillo en el maquinado son las más fáciles de supervisar mediante control adaptable. Están disponibles comercialmente diversos controles de potencia de estado sólido, en los que se indica la potencia o hace interfaz con sistemas de adquisición de datos. Acoplados con CNC, el control adaptable es una herramienta poderosa en la optimización de operaciones de manufactura.

37.5 | Manejo y movimiento de materiales

Durante una operación común de manufactura, las materias primas y partes en proceso se mueven del almacén a las máquinas, de máquina a máquina, de inspección a ensamble e inventario y, por último, a embarque. Por ejemplo, (a) las piezas de trabajo se colocan en las máquinas, como la forja que se monta en la bancada de una fresadora para procesamiento adicional; (b) la lámina metálica se alimenta a una prensa para estampado; (c) las partes se retiran de una máquina y se colocan en otra (como una forja maquinada que se rectifica luego para mejorar el acabado superficial y la precisión dimensional), y (d) las partes terminadas se ensamblan en un producto final.

De manera similar, herramientas, moldes, matrices y muchos otros equipos y soportes fijos también se mueven dentro de las plantas de manufactura. Las herramientas de corte se montan en tornos, las matrices o dados se colocan en prensas o martillos, los discos de rectificado se montan en husillos y las partes se montan en soportes fijos especiales para medición dimensional e inspección.

Estos materiales deben moverse manualmente o por algunos medios mecánicos y requiere tiempo transportarlos de un lugar a otro. El **manejo de materiales** se define como las funciones y los sistemas asociados con la transportación, el almacenaje y el control de materiales y partes en el ciclo total de manufactura de un producto. El tiempo total requerido para la manufactura real depende del tamaño y la forma de la parte, así como de la configuración de las operaciones por realizar. También cabe hacer notar que el tiempo muerto o de ocio y el tiempo requerido para transportar materiales pueden constituir la mayoría del tiempo consumido.

La **distribución de la planta** es un aspecto importante del flujo ordenado de los materiales y los componentes a lo largo del ciclo de manufactura. Deben minimizarse el tiempo y las distancias requeridos para mover materias primas y partes, y tienen que organizarse de manera apropiada las áreas de almacenamiento y los centros de servicio. En el caso de las partes que requieren operaciones múltiples, el equipo debe agruparse

alrededor del operador o de un robot o robots industriales (ver *manufactura celular*, sección 39.2).

El manejo de los materiales debe ser una parte integral de la planeación, implantación y control de las operaciones de manufactura. Además, dicho manejo tiene que ser repetible y predecible. Por ejemplo, considérese qué sucedería si una parte o pieza de trabajo se alimenta de manera inapropiada en una matriz o dado para forja, un mandril o *chuck*, o una boquilla en un torno. Las consecuencias de tal acción bien podrían ser partes que quedaran fuera de la tolerancia dimensional, matrices y herramientas rotos y partes fabricadas en forma inadecuada. Esta acción también puede presentar riesgos de seguridad.

Métodos de manejo de materiales. Al seleccionar un método adecuado de manejo de materiales para una operación específica de manufactura, se tienen que considerar diversos factores:

1. Forma, peso y características de las partes.
2. Tipos y distancias de movimientos, posición y orientación de las partes durante el movimiento y al final de su destino.
3. Condiciones de la trayectoria a lo largo de la cual se transportan las partes.
4. Grado de automatización, nivel de control deseado e integración con otros sistemas y equipo.
5. Habilidad requerida del operador.
6. Consideraciones económicas.

En caso de operaciones de manufactura de lotes pequeños, las materias primas y partes se pueden manejar y transportar en forma manual, pero por lo común este método es costoso. Además, debido a que comprende la participación humana, esta práctica puede ser impredecible y poco confiable. Incluso sería insegura para el operador debido al peso y la forma de las partes a mover y los factores ambientales (como calor y humo) en fundidoras y plantas de forja. Es usual que en las plantas de manufactura automatizadas se implante el flujo de material y partes controlado por computadora. Estos cambios producen una mejor repetibilidad y, por supuesto, menores costos de mano de obra.

Equipo. Se pueden utilizar diversos tipos de equipo para mover materiales, como transportadores o bandas transportadoras, rodillos, monorrieles con impulso propio, carros, montacargas y diversos dispositivos y manipuladores mecánicos, eléctricos, magnéticos, neumáticos e hidráulicos. Los *manipuladores* se pueden diseñar para que los controle directamente el operador, o bien automatizarlos para operaciones repetitivas (como la carga y descarga de partes en máquinas herramienta, prensas y hornos). Los manipuladores tienen la capacidad de sujetar y mover partes pesadas y orientarlas según se requiera entre las operaciones de manufactura y ensamble. Con frecuencia, las máquinas se usan en una secuencia, de manera que las piezas de trabajo se transfieren en forma directa de máquina a máquina. A las combinaciones de maquinaria que tienen la capacidad de transportar partes sin el uso de aparatos adicionales de manejo de materiales se les llama *dispositivos integrales de transferencia*.

El manejo y movimiento flexible de materiales con control de tiempo real se ha convertido en una parte integral de la manufactura moderna. Los robots industriales, tarimas (*pallets*) especialmente diseñadas, y los **vehículos guiados automáticamente** (AGV, por sus siglas en inglés) se utilizan en gran medida en los sistemas flexibles de manufactura para mover partes y orientarlas según se requiera (fig. 37.16).

Los vehículos guiados automáticamente (que son el último desarrollo en el movimiento de materiales en plantas) operan de manera automática a lo largo de trayectorias con cableado en el piso (o con cintas para reconocimiento óptico) sin intervención del operador. Este sistema de transporte tiene alta flexibilidad y la capacidad de distribuir en forma aleatoria a diferentes estaciones de trabajo. Optimiza el movimiento de materiales y partes en casos de congestión alrededor de las estaciones de trabajo, descompostura de máquinas (tiempo muerto) o la falla de una sección del sistema.

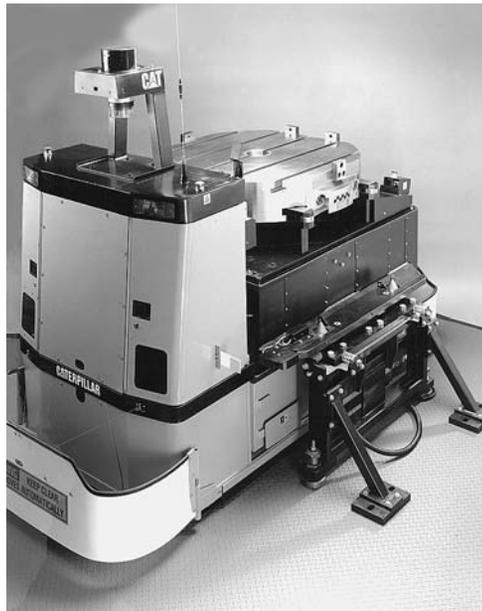


FIGURA 37.16 Vehículo autoguiado (Caterpillar Modelo SGC-M) que porta una tarima (*pallet*) de maquinado. El vehículo se alinea junto a una plataforma en el piso. En lugar de seguir una trayectoria de cable o cinta en el piso de la fábrica, este vehículo calcula su propia trayectoria y corrige automáticamente cualquier desviación. *Fuente:* Cortesía de Caterpillar Industrial, Inc.

Los movimientos de los AGV se planean de manera que se combinen con los **sistemas de almacenamiento y recuperación** (AS/AR, por sus siglas en inglés) para utilizar el espacio del almacén de manera eficiente y reducir los costos de mano de obra. Sin embargo, en la actualidad, estos sistemas se consideran inconvenientes debido al enfoque actual en pos del inventario mínimo y los métodos de producción *justo a tiempo* (ver sección 39.5.)

A continuación se resumen los sistemas de codificación que se han desarrollado para localizar e identificar partes por medio del sistema de manufactura y transferirlas a sus estaciones apropiadas:

- Los **códigos de barras** son el sistema más utilizado y el menos costoso.
- Las **cintas magnéticas** constituyen el segundo sistema de codificación más común.
- Las **etiquetas de RF** (radiofrecuencia) son populares. Aunque costosas, no necesitan la clara línea de visión que requieren los dos sistemas anteriores, tienen un amplio alcance y se pueden reescribir.
- Otros sistemas de identificación se basan en **ondas acústicas**, **reconocimiento de caracteres ópticos** y **sistemas mecánicos de visión**.

37.6 | Robots industriales

En 1920, el autor checo K. Capek acuñó el término **robot** en su obra *R.U.R.* (Robots Universales de Rossum). Se deriva de la palabra checa *robota*, que significa “trabajador”. La International Organization for Standardization (ISO) describe a un **robot industrial** como una “máquina formada por un mecanismo que incluye varios grados de libertad,

que a menudo tiene la apariencia de uno o varios brazos que terminan en una muñeca con la capacidad de sujetar una herramienta, una pieza de trabajo, o un dispositivo de inspección”. En particular, su unidad de control debe utilizar un dispositivo de memorización y en algunas ocasiones puede usar dispositivos de detección o adaptación a fin de considerar el ambiente y las circunstancias. Por lo general, estas máquinas de propósito múltiple están diseñadas para realizar una función repetitiva y se pueden adaptar a otras operaciones.

Los primeros robots industriales se introdujeron a principios de la década de 1960. Los robots controlados por computadora se comercializaron una década después y el primer robot controlado por una microcomputadora apareció en 1974. Los robots industriales se utilizaron por primera vez en operaciones de riesgo (para el manejo de materiales tóxicos y radioactivos, por ejemplo) y la carga y descarga de piezas de trabajo calientes de hornos y en fundidoras. Aplicaciones simples, empíricas de robots son las “tres D” (por sus siglas en inglés, *dull, dirty and dangerous*: tareas *aburridas, sucias y peligrosas*, incluyendo *degradantes*, pero necesarias) y las tres H (por sus siglas en inglés, *hot, heavy and hazardous*: *calientes, pesadas y riesgosas*).

Los robots industriales se han convertido en componentes básicos en los procesos y sistemas de manufactura. Han ayudado a mejorar la productividad y calidad de los productos y han reducido de manera significativa los costos de mano de obra. Algunos robots modernos son *los antropomorfos*, lo que significa que se asemejan a los humanos en cuanto a forma y movimiento. Estos mecanismos complejos se hacen posibles mediante poderosos procesadores de computadoras y motores rápidos que pueden mantener el equilibrio de un robot y el control preciso de los movimientos.

37.6.1 Componentes de un robot

Para apreciar las funciones de los componentes de un robot y sus capacidades, se pueden observar de manera simultánea la flexibilidad y capacidad de diversos movimientos de nuestro propio brazo, muñeca, mano y dedos para alcanzar y sujetar un objeto en un estante, para utilizar una herramienta manual o para operar un automóvil o una máquina. A continuación se describen los componentes básicos de un robot industrial (fig. 37.17).

Manipulador. También conocido como **brazo y muñeca**, el *manipulador* es una unidad mecánica que proporciona movimientos (trayectorias) similares a las de un brazo y mano humanos. El extremo de la muñeca puede alcanzar un punto en el espacio que tiene un conjunto específico de coordenadas y en una orientación específica. La mayoría de los robots tienen seis articulaciones giratorias. También existen con siete grados de libertad o robots *redundantes* para aplicaciones especiales.

Efecto final. El extremo de la muñeca en un robot está equipado con un *efecto final*, que también se conoce como *herramienta de extremo del brazo*. Dependiendo del tipo de operación, los efectores finales convencionales pueden equiparse con lo siguiente (fig. 37.18):

- Sujetadores (*grippers*), ganchos, paletas, electroimanes, copas de vacío y dedos adhesivos para manejo de materiales.
- Pistolas de rocío de pintura.
- Accesorios para soldadura por puntos y por arco y para corte por arco.
- Herramientas de potencia (como taladros, llaves de tuercas y rebabeadoras).
- Instrumentos de medición.

Por lo general, los efectores finales se fabrican a la medida para satisfacer requisitos específicos de manejo. Es más común utilizar sujetadores mecánicos, que están equipados con dos o más dedos. Se usan *efectores finales compatibles* para manejar materiales frágiles o facilitar el ensamble. Estos efectores finales pueden emplear mecanismos elásticos para limitar la fuerza que es posible aplicar a la pieza de trabajo, o diseñarse con la rigidez

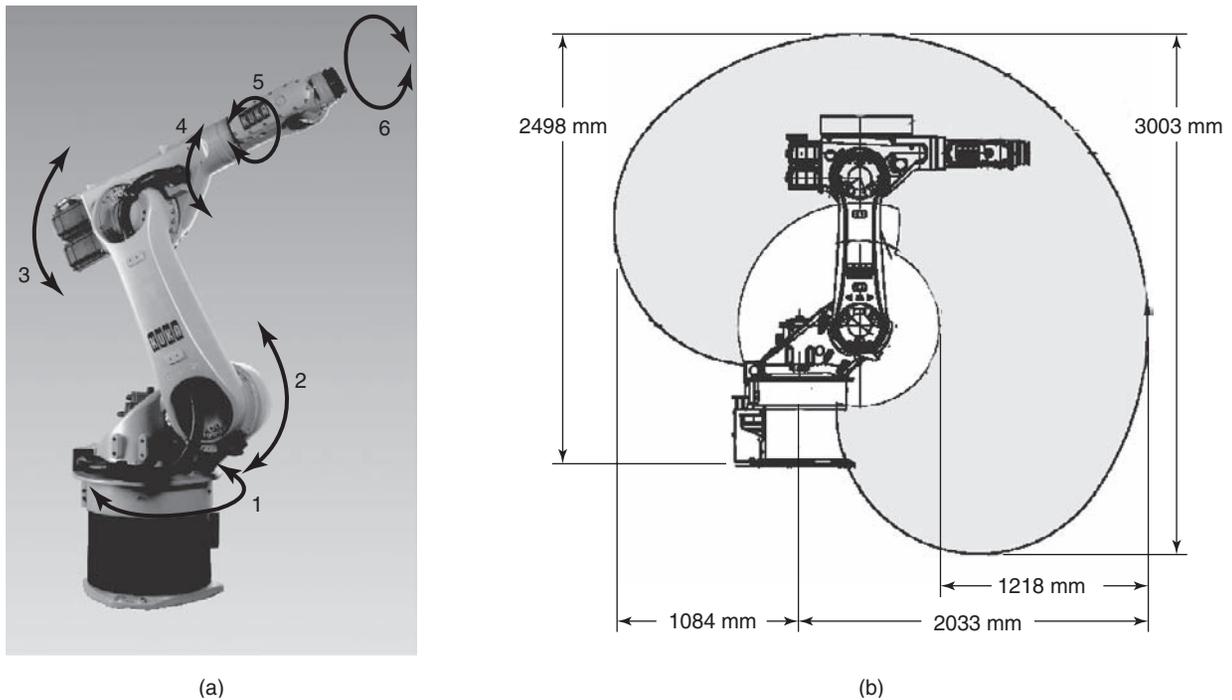


FIGURA 37.17 (a) Esquema de un robot de 6 ejes KR-30 KUKA. La carga útil en la muñeca es de 30 kg y la repetibilidad es ± 0.15 mm (± 0.006 pulg). El robot tiene frenos mecánicos en todos sus ejes, que se acoplan directamente. (b) Envolvente del robot, vista lateral. Fuente: Cortesía de KUKA Robotics Corp.

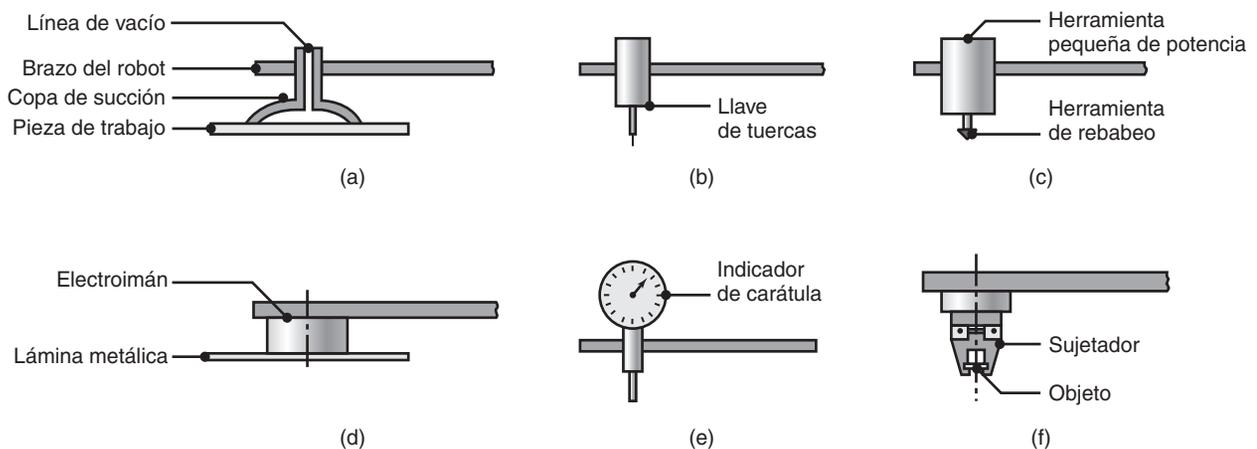


FIGURA 37.18 Tipos de dispositivos y herramientas sujetos a efectores finales para realizar una variedad de operaciones.

deseada. La selección de un efector final apropiado para una aplicación específica depende de factores como la carga útil, el ambiente, la confiabilidad y el costo.

Fuente de potencia. Cada movimiento del manipulador (lineal o rotacional) se controla y regula mediante actuadores independientes que utilizan una fuente de potencia eléctrica, neumática o hidráulica. Cada fuente de energía y cada tipo de motor tiene sus propias características, ventajas y limitaciones.

Sistema de control. También conocido como *controlador*, el sistema de control es el sistema de comunicaciones y procesamiento de información que proporciona comandos para los movimientos del robot. Se trata del cerebro del robot y almacena datos para iniciar y terminar movimientos del manipulador. El sistema de control también funciona como *nervios* del robot; sirve de interfaz con las computadoras y otros equipos, como celdas de manufactura y sistemas de ensamble.

Los *dispositivos de retroalimentación* (como los transductores) son parte importante del sistema de control. Los robots con una serie fija de movimientos tienen *control de lazo abierto*. En este sistema, se proporcionan comandos y el brazo del robot realiza los movimientos. A diferencia de la retroalimentación en los *sistemas de lazo cerrado*, no se supervisa la precisión de los movimientos. Por consiguiente, este sistema no tiene capacidad de autocorrección.

Como en las máquinas de control numérico, los tipos de control en robots industriales son punto a punto o de trayectoria continua. Dependiendo de la tarea en particular, la repetibilidad del posicionamiento requerido puede ser hasta de 0.050 mm (0.002 pulgada), como en operaciones de ensamble para circuitos impresos electrónicos. Los robots especializados pueden alcanzar dicha precisión. La precisión y repetibilidad varían en gran medida con la carga útil y la posición dentro del envoltorio de trabajo y, como tales, son difíciles de cuantificar para la mayoría de los robots.

37.6.2 Clasificación de los robots

Los robots se pueden clasificar por tipo básico de la siguiente manera (fig. 37.19):

- a. Cartesiano o rectilíneo.
- b. Cilíndrico.
- c. Esférico o polar.
- d. Articulado, de revolución, de geometría unida, o antropomorfo.

Los robots se pueden sujetar de manera permanente al piso de la planta de manufactura, moverse a lo largo de rieles aéreos (*robots de pórtico o gantry robots*), o equiparse con ruedas para moverlos por el piso de la fábrica (*robots móviles*). Sin embargo, una clasificación más amplia de robots actualmente en uso es la más útil para nuestro propósito aquí, como se describe a continuación.

Robots de secuencia fija y variable. El robot de secuencia fija (también conocido como *robot de selección y colocación, pick and place robot*) se programa para una secuencia específica de operaciones. Sus movimientos son de punto a punto y el ciclo se repite de manera continua. Estos robots son simples y relativamente poco costosos. El robot de secuencia variable puede programarse para una secuencia específica de operaciones, pero también es posible reprogramarlo para formar otra secuencia de operaciones.

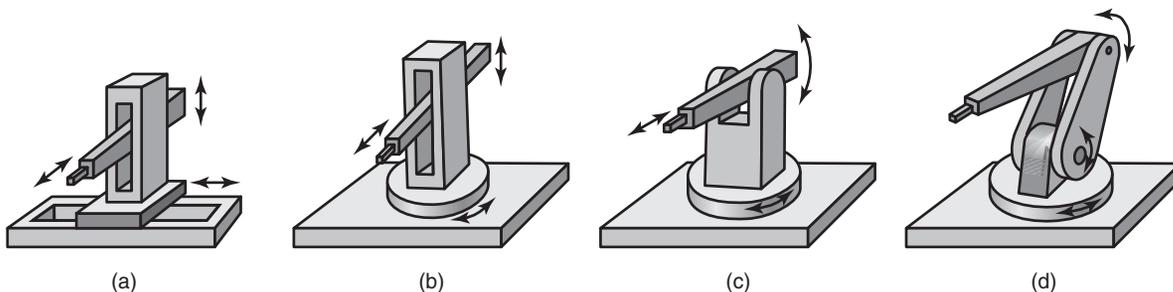


FIGURA 37.19 Cuatro tipos de robots industriales: (a) cartesiano (rectilíneo); (b) cilíndrico; (c) esférico (polar), y (d) articulado (de revolución, geometría unida, o antropomorfo).

Robot reproductor de movimientos. Un operador conduce o hace que un robot reproductor de movimientos y su efector final recorran la trayectoria deseada; en otras palabras, el operador enseña al robot mostrándole qué hacer. El robot registra la trayectoria y la secuencia de movimientos y puede repetirlos de manera continua sin ninguna otra acción o guía por parte del operador. Otro tipo es el de **terminal de control remoto** (*teach pendant*), el cual utiliza botoneras manuales que se conectan al tablero de control; se usan para controlar y guiar al robot y sus herramientas a través del trabajo por realizar. Después, estos movimientos se registran en la memoria del controlador y el robot los ejecuta de manera automática siempre que se requiere.

Robot controlado numéricamente. El robot controlado numéricamente se programa y acciona más como una máquina controlada numéricamente. El robot se servocontrola mediante datos digitales y se puede cambiar su secuencia de movimientos con relativa facilidad. Como en las máquinas NC, existen dos tipos básicos de controles: punto a punto y trayectoria continua.

Los robots de *punto a punto* se pueden controlar con facilidad y tienen mayor capacidad de transporte de carga y un **envolvente de trabajo** más grande, que es la máxima extensión o alcance de la mano del robot o herramienta de trabajo en todas las direcciones (fig. 37.20). Los robots de trayectoria continua tienen mayor precisión que los que son punto a punto, pero su capacidad de transporte de carga es menor. Los robots avanzados tienen un sistema complejo de control de trayectoria, ejecutando movimientos de alta velocidad con mayor precisión.

Robot inteligente (sensorial). El robot inteligente tiene la capacidad de efectuar algunas de las funciones y tareas realizadas por humanos. Está equipado con varios sensores con capacidades *visuales* (*visión por computadora*) y *táctiles o de contacto* (ver sección 37.7). De manera muy similar a los humanos, el robot observa y evalúa el ambiente inmediato y su proximidad a otros objetos, en particular maquinaria, por percepción y reconocimiento de patrones. Después toma las decisiones apropiadas para el siguiente movimiento y procede en forma apropiada. Debido a que su operación es más compleja, se requieren computadoras poderosas para controlar este tipo de robot.

Algunos desarrollos en robots inteligentes incluyen:

- Comportarse como humanos, efectuar tareas como moverse entre una variedad de máquinas y equipo en el piso de un taller y evitar colisiones.

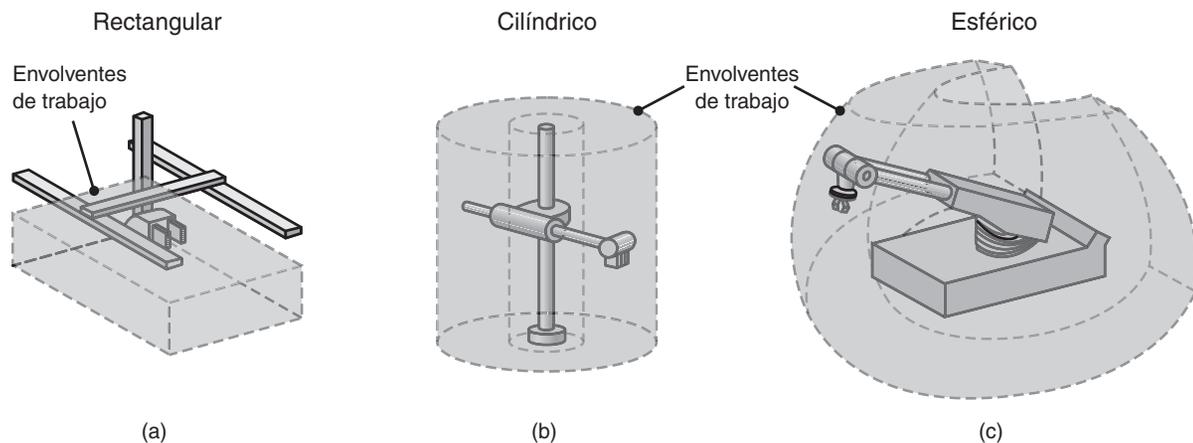


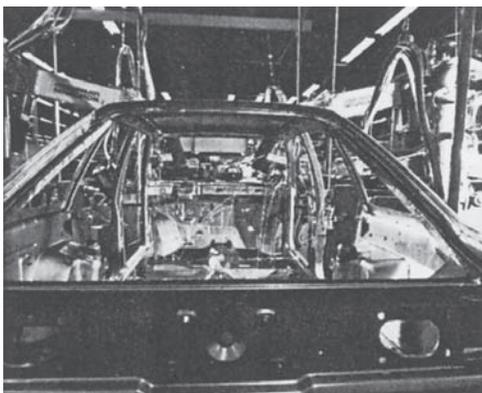
FIGURA 37.20 Envoltorios de trabajo de tres tipos de robots. La elección depende de la aplicación específica. (Ver también fig. 37.17b.)

- Reconocer, seleccionar y sujetar apropiadamente la materia prima o pieza de trabajo correcta.
- Transportar la parte a una máquina para procesamiento adicional o inspección.
- Ensamblar los componentes como subensambles o un producto final.

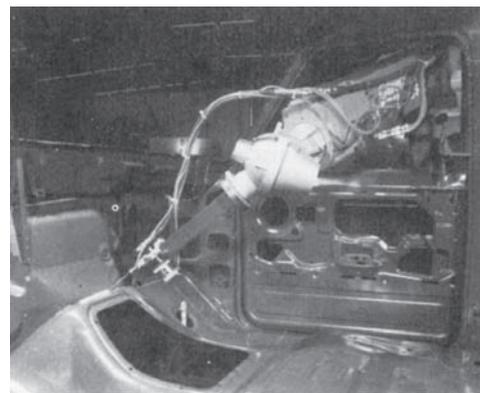
37.6.3 Aplicaciones y selección de robots

Las principales aplicaciones de los robots industriales incluyen las siguientes:

- Manejo de materiales, consistente en la carga, descarga y transferencia de piezas de trabajo en las instalaciones de manufactura. Estas operaciones se pueden realizar de manera confiable y repetida con robots, mejorando así la calidad y reduciendo pérdidas por desperdicios. Algunos ejemplos son: (a) operaciones de fundición y moldeado en las que el metal fundido, las materias primas, los lubricantes y las partes en diversas etapas de terminación se manejan sin la interferencia del operador; (b) operaciones de tratamiento térmico, en las que las partes se cargan y descargan de los hornos y baños de enfriamiento; (c) operaciones de formado, en las que las partes se cargan y descargan de prensas y muchos otros tipos de maquinaria para trabajo mecánico.
- La soldadura por puntos en carrocerías para automóviles y camiones, produciendo soldaduras de buena calidad (fig. 37.21a). Los robots también efectúan otras operaciones similares, como soldadura por arco, corte por arco y remachado.
- Se pueden realizar operaciones como rebabeo, rectificado y pulido utilizando herramientas apropiadas sujetas a los efectores finales.
- Aplicación de adhesivos y selladores, como en el chasis automovilístico mostrado en la figura 37.21b.
- Las operaciones de limpieza y pintado por rociado (en particular de formas complejas) son aplicaciones frecuentes, porque los movimientos de una pieza se repiten de manera precisa para la siguiente pieza.
- Ensamble automatizado (fig. 37.22).
- Inspección y calibración a velocidades mucho más altas que las que pueden lograr los humanos.



(a)



(b)

FIGURA 37.21 Ejemplos de aplicaciones de robots industriales. (a) Soldadura por puntos de carrocerías automotrices con robots industriales. (b) Uniones de sellado de una carrocería automotriz con un robot industrial. *Fuente:* Cortesía de Cincinnati Milacron, Inc.

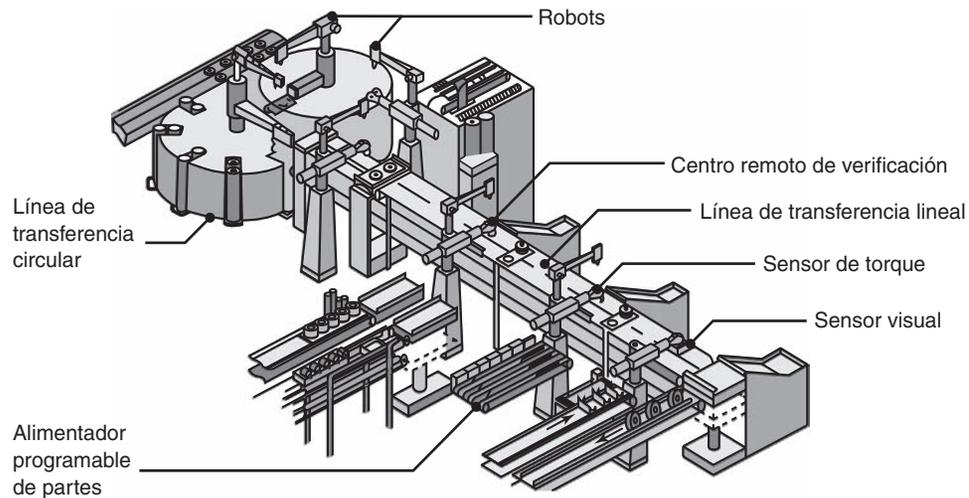


FIGURA 37.22 Operaciones de ensamblado automatizado utilizando robots industriales y líneas de transferencia circulares y lineales.

Selección de robots. Los factores que influyen en la selección de robots en la manufactura son los siguientes:

- Capacidad de transporte de carga.
- Velocidad de movimiento.
- Confiabilidad.
- Repetibilidad
- Configuración de los brazos.
- Grados de libertad.
- Sistema de control.
- Memoria del programa.
- Envoltorio o volumen de trabajo (ver fig. 37.17b).

Economía. Además de los factores técnicos, las consideraciones de costos y beneficios también son aspectos significativos en la selección y el uso de robots. La capacidad y confiabilidad crecientes y los costos reducidos de robots sofisticados e inteligentes han tenido un impacto económico importante en las operaciones de manufactura. Dichos robots están desplazando gradualmente la mano de obra humana.

Seguridad del robot. Dependiendo del tamaño del envoltorio de trabajo, la velocidad y la proximidad del robot a los humanos, son importantes las consideraciones de seguridad en el ambiente del robot, sobre todo para los programadores y el personal de mantenimiento que se encuentran en interacción física directa con los robots. Además, el movimiento del robot respecto de otra maquinaria exige un alto nivel de confiabilidad para evitar colisiones y daños al equipo. Sus actividades de manejo de materiales requieren el aseguramiento apropiado de las materias primas y partes en el sujetador (*gripper*) del robot en diversas etapas en la línea de producción.

37.7 | Tecnología de sensores

Un *sensor* es un dispositivo que produce una señal en respuesta a su detección, o medición, de una propiedad, como posición, fuerza, torque, presión, temperatura, humedad,

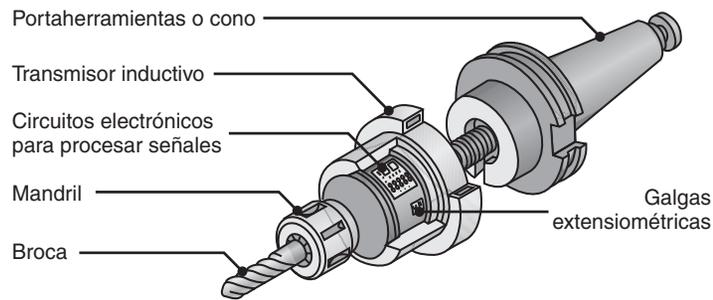


FIGURA 37.23 Portaherramientas equipado con sensores de fuerza de empuje y torque (portaherramientas inteligente), con la capacidad de supervisar de manera continua la operación de corte. Dichos portaherramientas son necesarios para el control adaptable de operaciones de manufactura. Fuente: Cortesía de Cincinnati Milacron, Inc.

velocidad, aceleración, o vibración. Tradicionalmente, se han utilizado sensores (como actuadores e interruptores) para establecer límites en el desempeño de las máquinas. Ejemplos comunes son (a) los topes en las máquinas herramienta para restringir los movimientos de la mesa de trabajo; (b) los calibradores de presión y temperatura con características de paro automático, y (c) gobernadores de motores para evitar exceso de velocidad en la operación. La tecnología de los sensores se ha vuelto un aspecto importante de los procesos y sistemas de manufactura. Es fundamental para la adquisición apropiada de datos y la supervisión, comunicación y control por computadora de máquinas y sistemas (fig. 37.23).

Debido a que convierten una cantidad a otra, con frecuencia a los sensores se les llama *transductores*. Los *sensores analógicos* producen una señal, como voltaje, que es proporcional a la cantidad medida. Los *detectores digitales* tienen salidas numéricas o digitales que se pueden transferir directamente a las computadoras. Existen **convertidores analógicos a digitales** (ADC, por sus siglas en inglés) para interfaces de sensores analógicos con computadoras.

37.7.1 Clasificación de los sensores

En general, los sensores que son de interés en la manufactura se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Los sensores **mecánicos** miden cantidades como posición, forma, velocidad, fuerza, torque, presión, vibración, deformación y masa.
- Los sensores **eléctricos** miden voltaje, corriente, carga y conductividad.
- Los sensores **magnéticos** miden campo magnético, flujo y permeabilidad.
- Los sensores **térmicos** miden temperatura, flujo, conductividad y calor específico.
- Otros tipos son los *acústicos*, *ultrasónicos*, *químicos*, *ópticos*, *de radiación*, *láser* y *fibra óptica*.

Dependiendo de su aplicación, un sensor puede constar de materiales metálicos, no metálicos, orgánicos o inorgánicos, además de fluidos, gases, plasmas o semiconductores. Utilizando las características especiales de estos materiales, los sensores convierten la cantidad o propiedad medida a salida analógica o digital. Por ejemplo, la operación de un termómetro ordinario de mercurio se basa en la diferencia entre la dilatación térmica de ese metal y la del vidrio.

De manera similar, se puede detectar parte de una máquina, una obstrucción física o una barrera en un espacio, rompiendo el haz de luz cuando se capta por medio de una celda fotoeléctrica. Un *sensor de proximidad* (que detecta y mide la distancia entre éste y un objeto o miembro móvil de una máquina) se puede basar en la acústica, magnetismo, capacitancia, u óptica. Otros actuadores entran en contacto con el objeto y toman la

acción apropiada (por lo general, medios electromecánicos). Los sensores son fundamentales para controlar los robots inteligentes y se están desarrollando con capacidades que se asemejan a las de los humanos (*sensores inteligentes*, ver lo siguiente).

Detección táctil. La detección táctil es la detección continua de fuerzas variables de contacto, por lo común mediante una variedad de sensores. Dicho sistema es capaz de funcionar dentro de un espacio arbitrario tridimensional. Se pueden manejar partes frágiles (como botellas de vidrio y dispositivos electrónicos) mediante robots con *efectores finales compatibles (inteligentes)* (fig. 37.24). Estos efectores pueden detectar la fuerza aplicada al objeto que se está manejando mediante dispositivos piezoeléctricos, calibradores de deformación, inducción magnética, sistemas ultrasónicos y ópticos de fibras ópticas y diodos emisores de luz.

La fuerza detectada se supervisa y controla mediante dispositivos de retroalimentación de lazo cerrado. Los sujetadores compatibles que tienen retroalimentación de fuerza y percepción sensorial son complicados y requieren computadoras poderosas. Los *efectores finales antropomorfos* están diseñados para simular la mano y los dedos humanos y tener la capacidad de detectar el tacto, la fuerza y el movimiento. El detector táctil ideal también debe percibir el *deslizamiento*; una capacidad de los dedos y la mano humanos que tiende a pasarse por alto.

Detección visual. (*visión de la máquina, visión de la computadora*). En la detección visual, las cámaras detectan ópticamente la presencia y forma del objeto (fig. 37.25). Después un microprocesador procesa la imagen (por lo general, en menos de un segundo), la mide y las mediciones se digitalizan (**reconocimiento de imágenes**). Existen dos sistemas básicos de visión de la máquina: arreglo lineal y arreglo matricial.

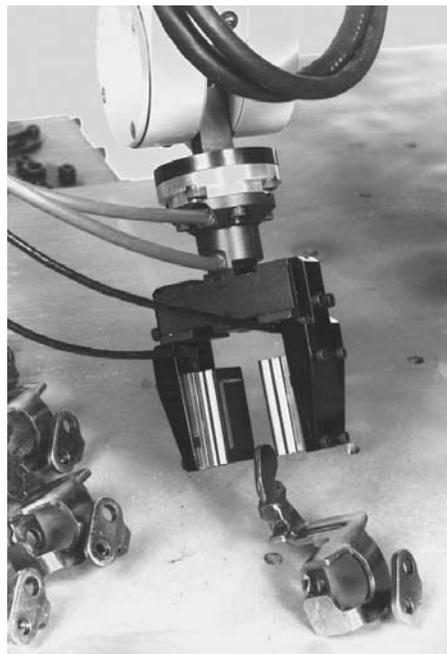


FIGURA 37.24 Sujetador robótico con detectores táctiles o de contacto. A pesar de sus capacidades, los detectores táctiles o de contacto se utilizan con menos frecuencia debido a su alto costo y baja durabilidad en ambientes industriales. *Fuente:* Cortesía de Lord Corporation.

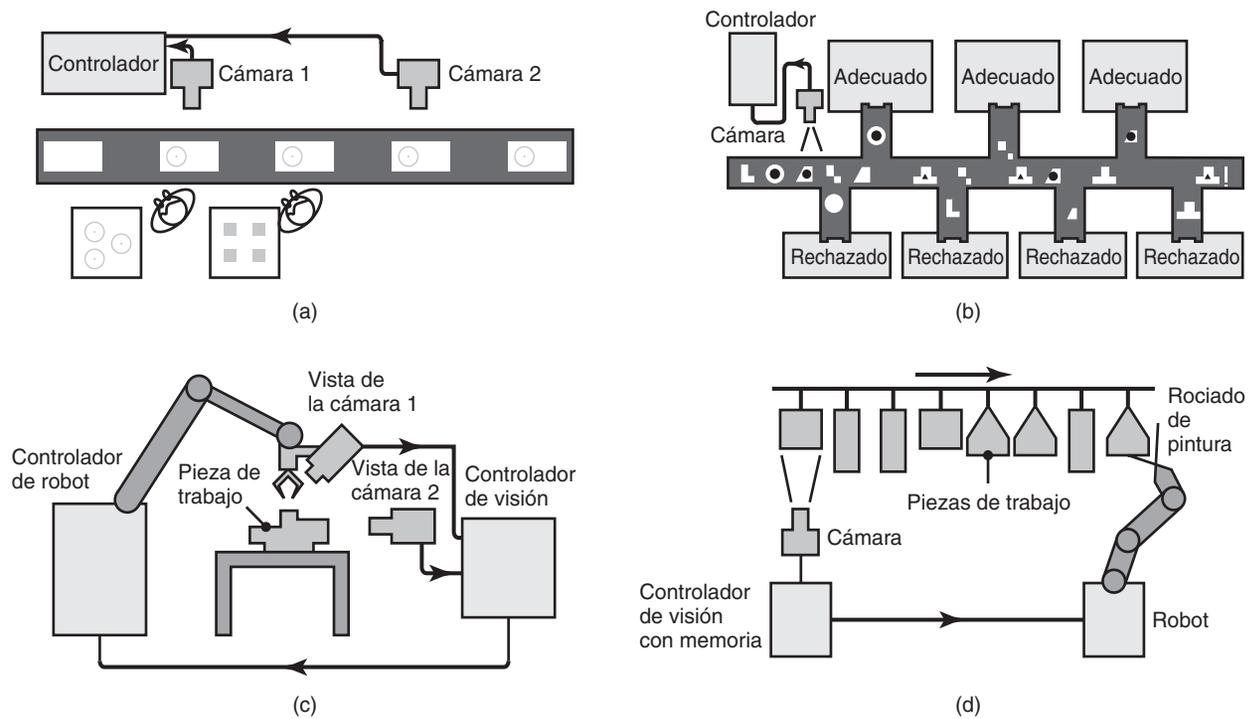


FIGURA 37.25 Ejemplos de aplicaciones de visión de una máquina. (a) Inspección en línea de las partes. (b) Identificación de partes con diversas formas e inspección y rechazo de partes defectuosas. (c) Uso de cámaras para proporcionar la posición inicial a un robot en relación con la pieza de trabajo. (d) Pintado de partes que tienen diferentes formas por medio de la entrada de una cámara. La memoria del sistema permite que el robot identifique la forma específica a pintar y proceda con los movimientos correctos de rociado de pintura sujeto al efecto final.

En el *arreglo lineal*, sólo se detecta (sensa) una dimensión, como la presencia de un objeto o algún rasgo sobre su superficie. Los *arreglos matriciales* detectan dos o incluso tres dimensiones, por ejemplo, un componente insertado de manera apropiada en un circuito impreso o una unión de soldadura realizada en forma adecuada (verificación de ensamble). Cuando se utilizan en sistemas de inspección automatizados, estos sensores también pueden detectar grietas y defectos.

La visión de la máquina es adecuada sobre todo para partes inaccesibles, en ambientes de manufactura hostiles, a fin de medir una gran cantidad de pequeños rasgos y en situaciones en las que el contacto físico con la parte puede provocar daño. Las aplicaciones de visión de la máquina incluyen: (a) inspección en línea de tiempo real en líneas de estampado de lámina metálica, y (b) sensores para máquinas herramienta que pueden detectar la compensación de la herramienta y la ruptura de la misma, verificar la colocación y fijación de las partes y supervisar el acabado superficial.

La visión de la máquina tiene la capacidad de identificación en línea e inspección de partes y de rechazo de las defectuosas. En la figura 37.25 se muestran diversas aplicaciones de visión de la máquina en la manufactura. Con capacidades de detección visual, los efectores finales tienen la habilidad de recoger partes y sujetarlas en la orientación y ubicación apropiadas.

La selección de un sensor para una aplicación específica depende de factores como (a) la cantidad específica a medir o detectar; (b) la interacción del sensor con otros componentes en el sistema; (c) la vida de servicio esperada; (d) el nivel requerido de sofisticación; (e) las dificultades asociadas con su uso; (f) la fuente de alimentación, y (g) costo. Una consideración importante en la selección de sensores es el ambiente en que se van a utilizar. Se han desarrollado *sensores robustos* para soportar extremos de temperatura, impacto y vibración, humedad, corrosión, polvo y diversos contaminantes, fluidos, radiación electromagnética y otras interferencias.

Sensores inteligentes. Estos sensores tienen la capacidad de efectuar una función lógica, para realizar comunicación de dos vías, tomar decisiones y emprender las acciones apropiadas. La entrada necesaria y el conocimiento requerido para tomar una decisión pueden incorporarse en un sensor inteligente. Por ejemplo, es posible programar chips de computadora con sensores para apagar una máquina herramienta en caso de falla en la herramienta de corte. De manera similar, un sensor inteligente puede evitar que un robot móvil o un brazo de robot entre en contacto por accidente con un objeto o personas detectando cantidades como distancia, calor y ruido.

37.7.2 Fusión de sensores

La *fusión de sensores* comprende básicamente la integración de múltiples sensores, de manera que los datos individuales de cada uno de ellos (como fuerza, vibración, temperatura y dimensiones) se combinan para proporcionar un mayor nivel de información y confiabilidad. Una aplicación común de la fusión de sensores ocurre cuando alguien bebe una taza de café caliente. Aunque se considera como un suceso diario, puede verse de inmediato que este proceso comprende la entrada de datos de los ojos, labios, lengua y manos de la persona. A través de nuestros sentidos básicos de vista, oído, olfato, gusto y tacto, existe una supervisión de tiempo real de movimientos, posiciones y temperaturas relativas. Por lo tanto, si el café está demasiado caliente, el movimiento que realiza la mano para llevar la taza hacia los labios se controla y ajusta de manera adecuada.

Las primeras aplicaciones de fusión de sensores ocurrieron en el control de movimientos de robots, rastreo de vuelos de misiles y aplicaciones militares similares, principalmente debido a que estas actividades comprenden movimientos que imitan el comportamiento humano. Otro ejemplo de fusión de sensores es una operación de maquinado en la que una serie de sensores diferentes pero integrados supervisa: (a) las dimensiones y el acabado superficial de la pieza de trabajo, (b) las fuerzas, vibraciones y desgaste de las herramientas, (c) las temperaturas en diversas regiones del sistema de herramienta y pieza de trabajo, y (d) la potencia del husillo.

Un aspecto importante en la fusión de sensores es la *validación de sensores*. La falla de un sensor específico se detecta de manera que el sistema de control mantiene una alta confiabilidad. Para esta aplicación, es fundamental la recepción de datos redundantes de diferentes sensores. La recepción, integración y procesamiento de todos los datos de diversos sensores puede ser un problema complejo.

Con los avances en el tamaño, la calidad y la tecnología de los sensores y el desarrollo progresivo en los sistemas de control por computadora, la inteligencia artificial, los sistemas expertos y las redes neuronales artificiales (todo lo cual se describe en el capítulo 39), la fusión de sensores se ha vuelto práctica y disponible a un costo relativamente bajo.

EJEMPLO 37.2 Aplicaciones especiales de los sensores

En este ejemplo se describen tres aplicaciones especiales de los sensores.

1. Se están desarrollando sensores de fibra óptica para motores de turbinas de gas. Del tamaño de la cabeza de un alfiler, estos sensores se colocan en instalaciones críticas y supervisan las condiciones en el interior del motor, como temperatura, presión y flujo de gases. La supervisión continua de las señales de estos sensores ayuda a detectar posibles problemas de los motores y proporciona los datos necesarios para mejorar su eficiencia. *Fuente:* Cortesía de Prime Research.
2. Se ha determinado que, en Estados Unidos, más de la cuarta parte de las llantas de los vehículos de pasajeros se encuentran infladas de manera deficiente; una condición que puede producir la separación de la llanta y que ésta se ponche. Se han desarrollado e instalado sensores remotos de presión de llantas en algunos automóviles. Las llantas con poco aire pueden calentarse debido a la flexión y fricción interna excesivas. Con base en esta observación, se ha desarrollado un hule especial

que cambia su color de negro a rojo cuando su temperatura aumenta arriba de 77°C (170°F). Por lo tanto, puede integrarse una pequeña cinta de este material en las paredes laterales de las llantas, que sería visible como un anillo rojo cuando la llanta se torna demasiado caliente. *Fuente:* F. Kelley y B. Rosenbaum.

3. Se han desarrollado sensores electrónicos para distinguir sabores básicos, como la acidez de la leche y cuán amargos son los medicamentos. Sin embargo, el café tiene variaciones sutiles de sabor que son difíciles de detectar mediante estos sensores, incluyendo características de detección como acidez, acritud, amargura y nivel de cafeína. Cada año se venden hasta \$70 mil millones de dólares de café alrededor del mundo y, tradicionalmente, catadores humanos son lo que verifican y garantizan la calidad de los granos de café.

Un nuevo detector es “una lengua electrónica” desarrollada en forma conjunta por la Universidad de Pennsylvania y la Agencia de Investigación Embrapa en Brasil. El sensor consta de 10 electrodos de oro cubiertos con películas delgadas de un polímero conductor eléctrico. Se sumerge en café líquido y estas películas absorben diversas moléculas del mismo, cambiando sus propiedades eléctricas. Se dice que el sensor es 1000 veces más sensible y el costo es de la mitad de otros disponibles.

Fuente: L. H. Mattoso y *Technology Review*.

37.8 | Soportes flexibles

Al describir los *dispositivos de sujeción de piezas* (también llamados *portapiezas*) para las operaciones de manufactura en este libro, se han utilizado con frecuencia las palabras prensa, plantilla y soporte fijo de manera intercambiable y en algunas ocasiones en pares, como plantillas y soportes fijos. Las **prensas** son dispositivos de sujeción de piezas multifuncionales y las **plantillas** tienen diferentes superficies y puntos de referencia para alineación precisa de partes y herramientas. Por lo general, los **soportes fijos** están diseñados con propósitos específicos. Otros dispositivos de sujeción de piezas también incluyen *chucks* o *plato de sujeción*, *boquillas* y *mandriles*, muchos de los cuales se accionan manualmente. Los dispositivos de sujeción de piezas también están diseñados y operados a diversos niveles de mecanización y automatización (como los *chucks* de potencia) y se accionan por medios mecánicos, hidráulicos o eléctricos.

Por lo general, los dispositivos de sujeción de piezas tienen intervalos específicos de capacidad. Por ejemplo, (a) una boquilla específica puede aceptar barras sólo dentro de cierto intervalo de diámetros; (b) los *chucks* de cuatro mordazas pueden aceptar piezas de trabajo cuadradas o prismáticas que tienen ciertas dimensiones, y (c) muchos otros dispositivos y soportes fijos están diseñados y fabricados para formas y dimensiones específicas de piezas de trabajo y para tareas específicas, conocidos como *soportes fijos dedicados*. Si la parte tiene superficies curvadas, es posible formar las propias superficies de contacto de las mordazas maquinándolas (*mordazas maquinables*) para que se adapten a las superficies de la pieza de trabajo.

El surgimiento de los sistemas flexibles de manufactura ha necesitado del diseño y uso de dispositivos y soportes de sujeción o portapiezas que tienen una *flexibilidad incorporada*. Existen diversos métodos de *soportes flexibles* con base en diferentes principios que también se conocen como **sistemas inteligentes de fijación**. Estos dispositivos tienen la capacidad de aceptar con rapidez una gama de formas y dimensiones de partes sin necesidad de grandes cambios, ajustes o que requieran intervención del operador, lo que afectaría la productividad de manera adversa.

Soportes modulares. Con frecuencia se utilizan soportes modulares para tamaños de lotes pequeños o moderados, en particular cuando el costo de los soportes dedicados y el tiempo requerido para producirlos son difíciles de justificar. Las piezas de trabajo complejas

pueden localizarse dentro de las máquinas mediante soportes producidos rápidamente a partir de componentes estándar y se pueden desensamblar cuando se termina una corrida de producción. Los soportes modulares suelen basarse en placas o bloques de herramientas configurados con orificios de rejilla o ranuras T sobre los cuales se construye un soporte.

Se pueden montar varios componentes estándar (como pasadores de localización, topes ajustables, soportes de la pieza de trabajo, bloques en V, prensas y resortes) en la placa o bloque base para producir con rapidez un soporte. Mediante la planeación de soportes fijos asistida por computadora para aplicaciones específicas, dichos soportes se pueden ensamblar y modificar utilizando robots industriales. En comparación con los soportes dedicados, se ha demostrado que los soportes modulares son de bajo costo, tienen menor tiempo de entrega, es más fácil reparar componentes dañados y poseen más flexibilidad intrínseca de aplicación.

Dispositivo de cama de clavos. Este soporte consta de una serie de pasadores accionados por aire que se adaptan a la forma de las superficies externas de la parte. Cada pasador se mueve según sea necesario para adaptarse a la forma en su punto de contacto con la parte. Después los pasadores se bloquean mecánicamente contra la parte. El dispositivo es compacto, tiene alta rigidez y es reconfigurable.

Prensa de fuerza ajustable. En la figura 37.26 se muestra un esquema de dicho sistema. La galga extensiométrica montada en la prensa detecta la magnitud de la fuerza de sujeción. Después el sistema ajusta esta fuerza para mantener la pieza de trabajo firmemente sujeta para la aplicación específica. También puede evitarse el exceso de fuerzas de sujeción que, de otra manera, podría dañar la superficie de la pieza de trabajo, en particular si es blanda o delgada.

Materiales de cambio de fase. Existen dos métodos mediante los cuales es posible sostener piezas de trabajo de formas irregulares o curvadas en un medio distinto a los herramientas duros. En el primero y más antiguo, se utiliza un *metal con punto de fusión bajo* como medio de sujeción. Por ejemplo, una pieza de trabajo de forma irregular se sumerge en plomo fundido y se deja solidificar (como una varita de madera en una paleta; un proceso similar al *moldeo de insertos*). Después de solidificarse, el bloque de plomo se sujeta en un soporte simple. Debe considerarse el efecto posiblemente adverso de dichos materiales, como el plomo sobre la pieza de trabajo a sujetar (*fragilización líquido-metal*).

En el segundo método, el medio de soporte es un *fluido magnetoreológico (MR)* o *electroreológico (ER)*. En la aplicación MR, las partículas son ferromagnéticas o paramagnéticas, de μm de tamaño, así como utilizando nanopartículas y en un fluido no magnético. Se agregan tensoactivos para evitar que las partículas se sedimenten. Luego de sumergir la pieza de trabajo en el fluido, se aplica un campo magnético externo, por medio

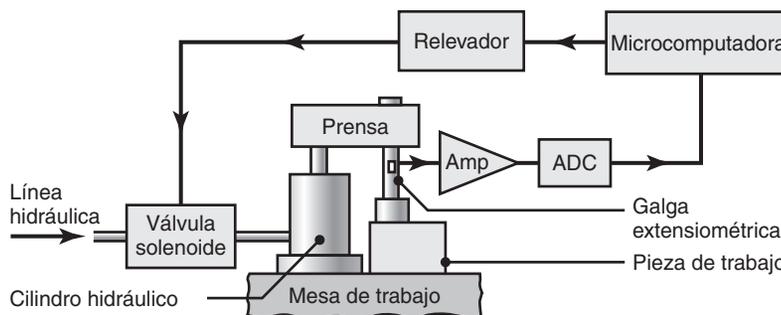


FIGURA 37.26 Esquema de un sistema de sujeción de fuerza ajustable. La fuerza de sujeción se detecta mediante una galga extensiométrica y el sistema ajusta automáticamente esta fuerza. Fuente: P. K. Wright.

del cual las partículas se polarizan y el comportamiento del fluido cambia de líquido a sólido. Después, la pieza se retrae retirando el campo magnético externo. El proceso es apropiado sobre todo para partes metálicas no ferrosas. En la aplicación de ER, el fluido es una suspensión de partículas dieléctricas finas en un líquido de constante dieléctrica baja. Tras la aplicación de un campo eléctrico, el líquido se vuelve sólido.

ESTUDIO DE CASO 37.1 | Desarrollo de un soporte fijo modular

En la figura 37.27 se muestra una carcasa redonda de hierro fundido que requiere un soporte fijo para fresar el plano de dicha carcasa, el contramandrinado del orificio central, el taladrado de cuatro orificios en las esquinas y el maquinado del área circular de montaje. Estas operaciones se realizan en tamaños de lotes moderados en una fresadora CNC; por lo tanto, se requiere un soporte fijo que localice de manera precisa y consistente la pieza de trabajo. La dimensión del lote no es suficientemente grande para justificar el diseño y la fabricación de soportes fijos dedicados; en consecuencia, se construye un soporte modular a partir de los componentes ilustrados en la figura 37.28.

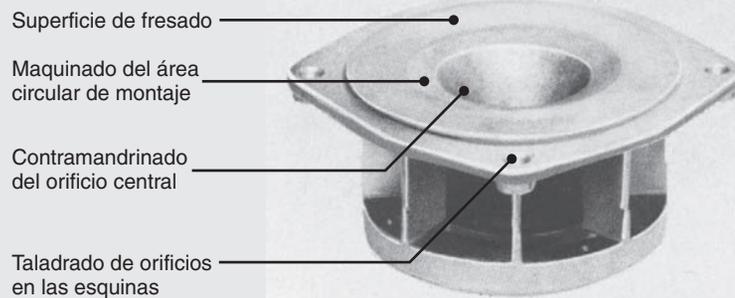


FIGURA 37.27 Carcasa de hierro fundido y operaciones requeridas de maquinado.

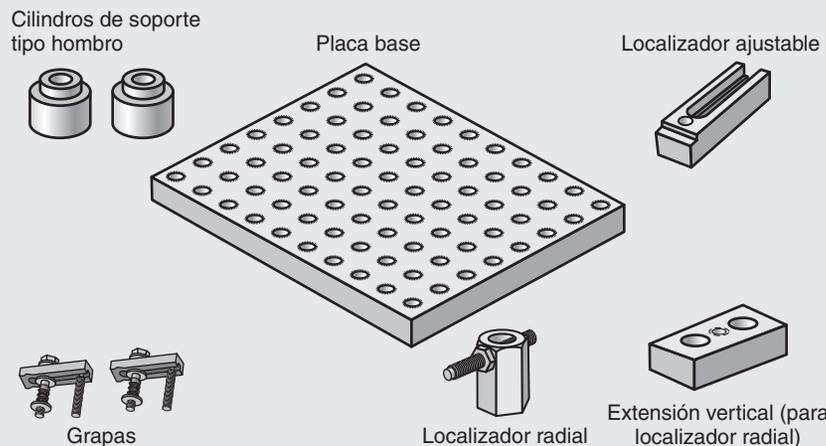


FIGURA 37.28 Componentes modulares utilizados para construir el soporte para maquinado CNC de la carcasa de hierro fundido ilustrada en la figura 37.27.

El primer paso en el diseño de dicho soporte es seleccionar una placa de herramientas. Las placas de herramientas con ranuras T u orificios en rejilla son las opciones más comunes para los soportes modulares. En este caso, se selecciona una placa rectangular con orificios en rejilla, que tiene un área superficial suficientemente grande para aceptar la pieza de trabajo y los elementos de fijación.

La pieza de trabajo no debe sujetarse en la superficie que se va a maquinar; sin embargo, existe una brida inferior que es adecuada para la sujeción. Por lo general, esta sujeción se logra ejerciendo una fuerza con una prensa contra un botón de localización. Por razones de estabilidad, esta pieza de trabajo redonda debe localizarse en la brida inferior en tres puntos y espaciarse a unos 120° de distancia. Los primeros elementos de localización seleccionados son cilindros de soporte tipo hombro. La brida descansa sobre los hombros y los cilindros soportan el diámetro de la pieza de trabajo y también elevan ésta por encima de la placa de herramientas. Este método tiene la ventaja de eliminar los efectos adversos de las virutas (del maquinado) en la placa de herramientas que puede interferir en la orientación de la pieza de trabajo.

Los cilindros de soporte se montan en la placa de herramientas utilizando tornillos de localización. Después se monta un soporte de extensión ajustable a la placa de herramientas en una posición en la que se establezca el diámetro correcto entre los tres localizadores. El soporte de extensión se posiciona para contactar sólo el borde inferior de la pieza de trabajo y se permite espacio suficiente de manera que el localizador no quede en contacto con la carcasa en el diámetro de localización.

La pieza de trabajo debe orientarse de manera consistente para mantener las tolerancias dimensionales requeridas en los orificios de las esquinas. Se utiliza un tope ajustable para localizar la pieza de trabajo. Este tope emplea un botón roscado localizado, el cual se ajusta para orientar la pieza de trabajo. Se usa un soporte de extensión de manera que el tope se localice en forma vertical, directamente debajo de la superficie a maquinar.

Después se utilizan grapas para sujetar la pieza de trabajo en su lugar. Los resortes y las rondanas en el espárrago de sujeción permiten que la grapa se eleve en forma automática al soltarse, de modo que la prensa no caiga al extraer la pieza de trabajo. En la figura 37.29 se muestra el soporte modular con la pieza de trabajo en su lugar. Obsérvese que las localizaciones planares, concéntricas y radiales se definen de manera precisa mediante el soporte.

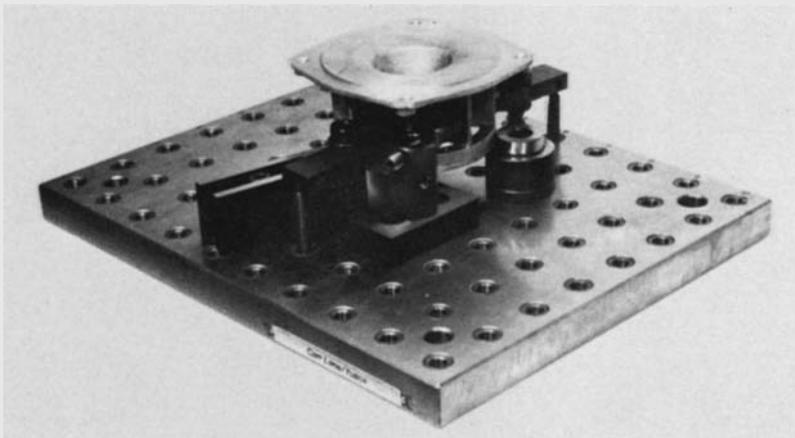


FIGURA 37.29 Soporte modular terminado con la carcasa de hierro fundido en su lugar, como se ensamblaría para uso en un centro de maquinado o fresadora CNC. *Fuente:* Cortesía de Carr Lane Manufacturing Company.

37.9 | Sistemas de ensamble

Las partes y los componentes individuales producidos por diversos procesos de manufactura se **ensamblan** como artículos terminados mediante diversos métodos. Algunos productos son simples y sólo tienen dos o tres componentes a ensamblar. Las operaciones que se pueden realizar con relativa facilidad son un lápiz ordinario con goma de borrar, una sartén con mango o una lata de aluminio para bebidas. Sin embargo, la mayoría de los productos constan de diversas partes y su ensamble requiere considerable planeación.

Tradicionalmente, el ensamble comprende mucho trabajo manual y, por lo tanto, ha contribuido de manera significativa al costo de los productos. En general, la operación total de ensamble se divide en operaciones individuales de ensamble (*subensambles*) con un operador asignado para realizar cada paso. Los costos de ensamble son comúnmente de 25% a 50% del costo total de manufactura, con el porcentaje de trabajadores comprendidos en las operaciones de ensamble que van de 20% a 60%. En las industrias de la electrónica, suele pagarse de 40% a 60% de los salarios totales a trabajadores de ensamble.

Al aumentar los costos de producción y las cantidades de los productos a ensamblar, la necesidad de ensamble automatizado se vuelve obvia. Iniciando con el ensamble manual de mosquetes a finales del siglo XVIII y principios del XIX, con *partes intercambiables*, los métodos de ensamble se han mejorado en gran medida con los años. La primera aplicación de un ensamble eficiente a gran escala fue el ensamble del magneto volante (*flywheel*) para el modelo Ford T. Esta experiencia condujo al final a la producción en masa de todo el automóvil. La elección de un método y sistema de ensamble depende de la capacidad de producción requerida, la cantidad total a producir, el ciclo de vida del producto, la disponibilidad de mano de obra y el costo. El **ensamble automatizado** puede reducir de manera efectiva el costo total del producto.

Como hemos visto, las partes se manufacturan dentro de ciertos intervalos de tolerancias dimensionales. Si tomamos los rodamientos de bolas como ejemplo, se sabe que aunque todos tienen las mismas dimensiones nominales, algunas bolas en un lote son más pequeñas que otras por una magnitud muy pequeña. De igual manera, algunas pistas de rodamientos son más pequeñas que otras en el lote. Existen dos métodos de ensamble para productos de alto volumen: aleatorio y selectivo.

En el **ensamble aleatorio**, los componentes se unen seleccionándolos al azar de los lotes producidos. En el **ensamble selectivo**, las bolas y pistas se clasifican por grupos de tamaños (de más pequeños a más grandes). Después se seleccionan las partes para acoplarlas en forma apropiada. Así, las bolas de diámetro más pequeño se acoplan con pistas interiores que tienen el diámetro exterior más grande y, de igual manera, con pistas exteriores que tienen los diámetros internos más pequeños.

Métodos y sistemas de ensamble. Existen tres métodos básicos de ensamble: manual, automático de alta velocidad y robótico. Estos métodos se pueden utilizar por separado o, como en el caso de la mayoría de las aplicaciones en la práctica, en combinación. Primero debe hacerse un análisis del diseño de los productos (fig. 37.30) respecto del método apropiado y económico de ensamble.

1. El **ensamble manual** utiliza herramientas relativamente simples y, por lo general, es económico para lotes pequeños. Debido a la agilidad de la mano y los dedos humanos y su capacidad de retroalimentación a través de los diferentes sentidos, los trabajadores pueden ensamblar en forma manual partes incluso complejas sin mucha dificultad. A pesar del uso de mecanismos sofisticados, robots y controles por computadora, la alineación y colocación de una simple espiga cuadrada dentro de un orificio también cuadrado que comprende holguras pequeñas puede ser difícil en el ensamble automatizado, mientras que la mano humana tiene la capacidad de hacer esta simple operación con relativa facilidad.

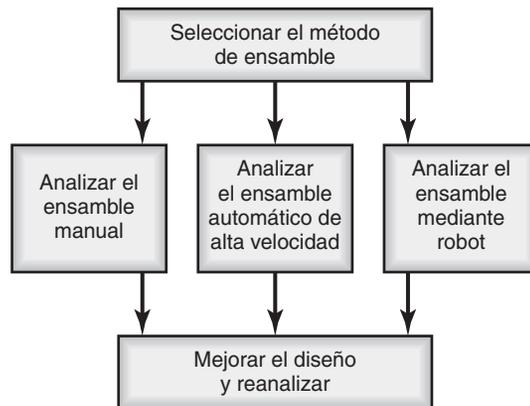


FIGURA 37.30 Etapas en el análisis de diseño para ensamble. Fuente: G. Boothroyd y P. Dewhurst.

2. El **ensamble automatizado de alta velocidad** utiliza *mecanismos de transferencia* diseñados especialmente para el ensamble. En la figura 37.31 se muestran dos ejemplos de dicho ensamble, en el que el ensamble individual se realiza en productos que se indexan para posicionarlos de manera adecuada durante el ensamble.
3. En el **ensamble robótico**, uno o dos robots de propósito general operan en una sola estación de trabajo (fig. 37.32), o los robots operan en un sistema de ensamble de estaciones múltiples.

Existen tres tipos básicos de sistemas de ensamble: síncronos, asíncronos y continuos.

Sistemas síncronos. También conocidos como *de indexación*, las partes y componentes individuales se suministran y ensamblan a una velocidad constante en estaciones individuales fijas. La rapidez de movimiento se basa en la estación que consume el mayor tiempo en completar su porción del ensamble. Este sistema se utiliza principalmente en el ensamble de alto volumen y alta velocidad de productos pequeños. Los sistemas de transferencia mueven los ensambles parciales de una estación de trabajo a otra por varios medios mecánicos. En la figura 37.32 se muestran dos sistemas comunes de transferencia (*indexación rotatoria* e *indexación en línea*). Estos sistemas pueden operar en un modo totalmente automático o semiautomático. Sin embargo, una descompostura en una estación detiene toda la operación de ensamble.

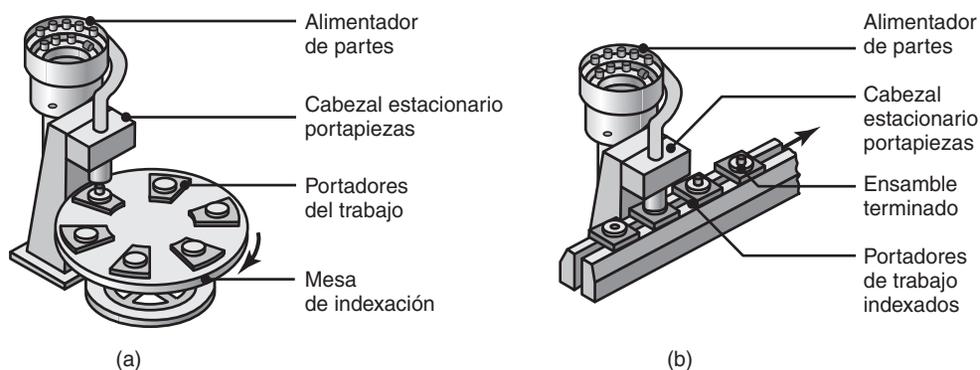


FIGURA 37.31 Sistemas de transferencia para ensamble automatizado: (a) máquina rotatoria de indexación, y (b) máquina de indexación en línea. Fuente: G. Boothroyd.

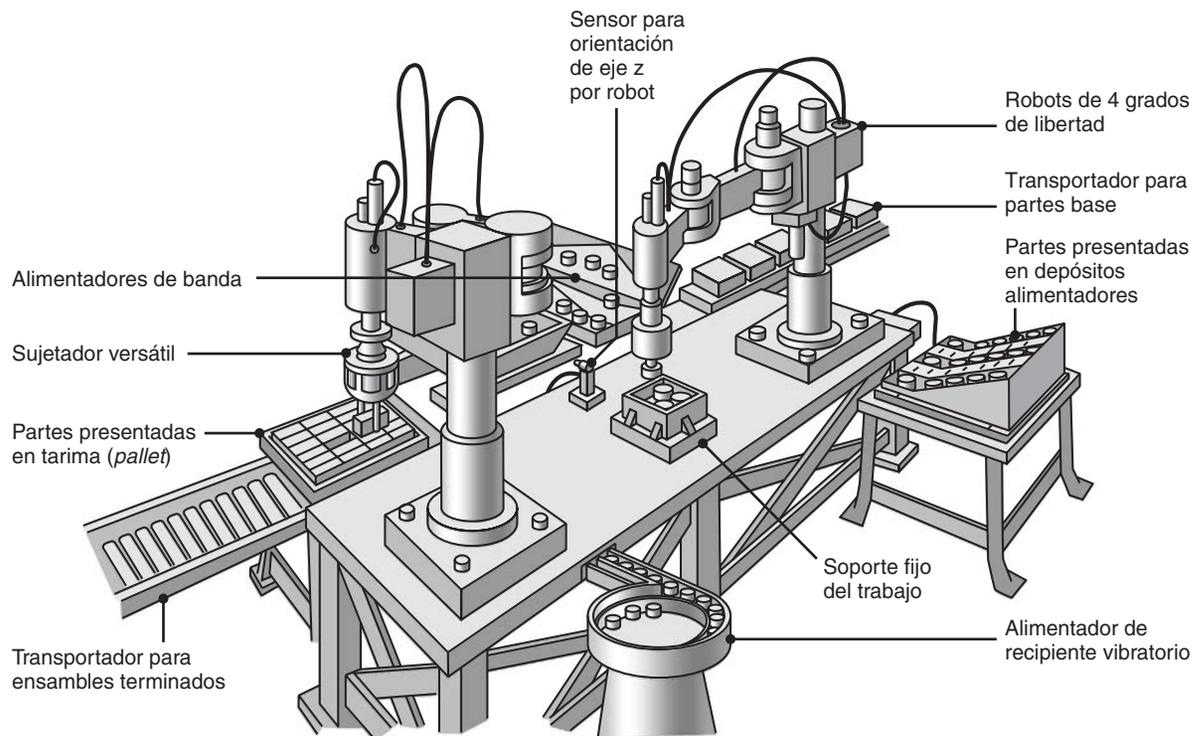


FIGURA 37.32 Estación de ensamblaje de robot de dos brazos. Fuente: *Product Design for Assembly*, edición de 1989, de G. Boothroyd y P. Dewhurst. Reproducida con permiso.

Los alimentadores de partes suministran las partes individuales a ensamblar y las colocan en otros componentes, que se sujetan en carros de trabajo o soportes fijos. Los alimentadores mueven dichas partes por medios vibratorios u otros, a través de tolvas de entrega y aseguran su orientación apropiada por varios medios ingeniosos (fig. 37.33). Es fundamental orientar las partes de manera adecuada y evitar congestionamientos en todas las operaciones de ensamblaje automatizadas.

Sistemas asíncronos. Cada estación opera de manera independiente y cualquier desequilibrio se ajusta en el almacenaje (*acumulador intermedio*) entre estaciones. La estación continúa operando hasta que el siguiente acumulador intermedio está lleno o el acumulador intermedio anterior está vacío. Además, si una estación deja de funcionar por alguna razón, la línea de ensamblaje sigue operando hasta que se hayan utilizado todas las partes en el acumulador intermedio. Los sistemas asíncronos son adecuados para ensamblajes grandes con muchas partes a ensamblar. Si los tiempos requeridos para las operaciones individuales de ensamblaje varían de manera significativa, la producción se ve restringida por la estación más lenta.

Sistemas continuos. El producto se ensambla mientras se mueve a una velocidad constante sobre tarimas (*pallets*) o portadores similares de la pieza de trabajo. Las partes a ensamblar se llevan al producto mediante varios cabezales de trabajo y sus movimientos se sincronizan con el movimiento continuo del producto. Aplicaciones comunes de este sistema ocurren en las plantas de embotellado y empaquetado, aunque también se ha utilizado el método de líneas de producción en masa para los automóviles y los aparatos eléctricos.

Sistemas flexibles de ensamblaje. Por lo general, se instalan sistemas de ensamblaje para una línea específica de producción. Sin embargo, pueden modificarse para aumentar la flexibilidad y ensamblar líneas de producción que tienen una amplia variedad de

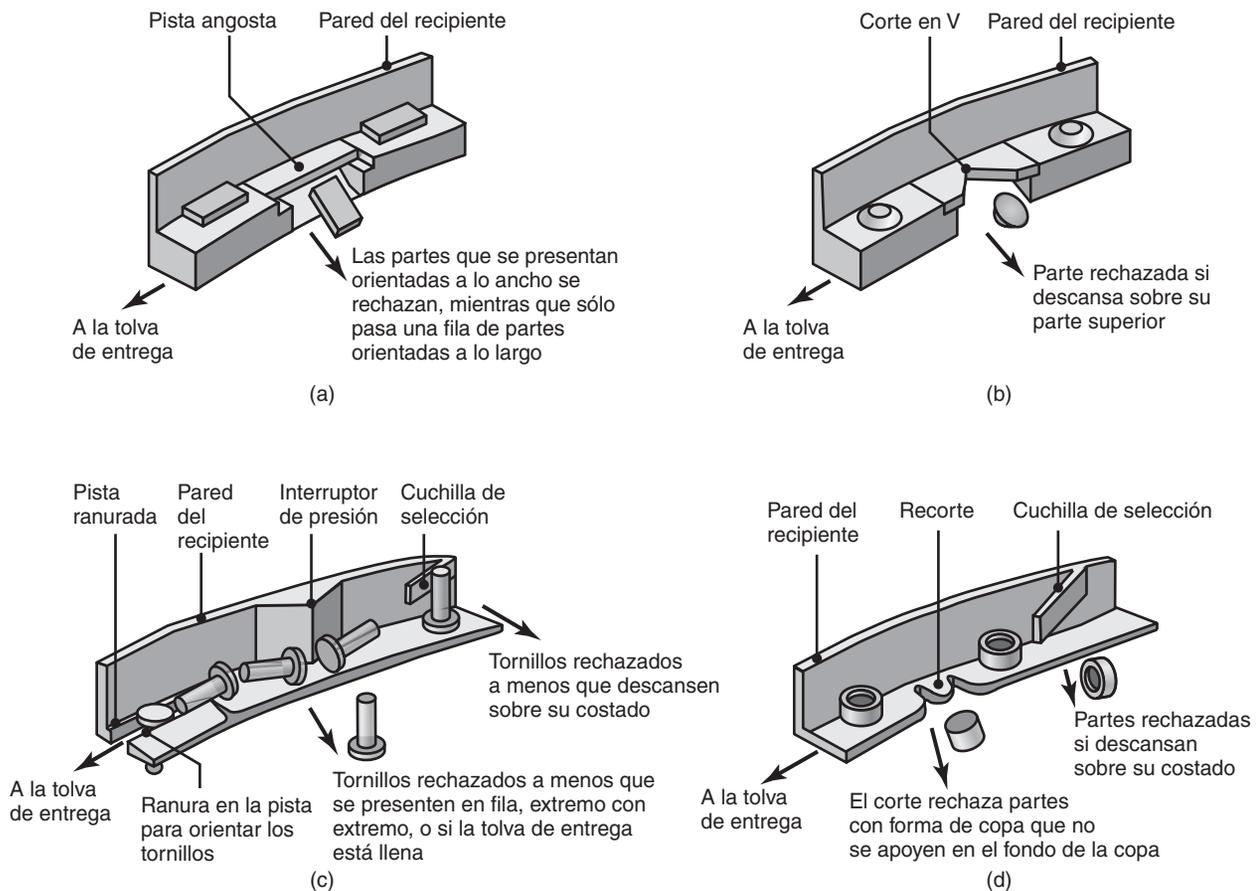


FIGURA 37.33 Ejemplos de guías para asegurar que las partes estén orientadas apropiadamente para ensamble automatizado. Fuente: G. Boothroyd.

modelos de productos. Dichos *sistemas flexibles de ensamble* (FAS, por sus siglas en inglés) utilizan controles computarizados, cabezales intercambiables y programables y dispositivos de avance, tarimas (*pallets*) codificadas y dispositivos guiados automáticamente. Por ejemplo, la planta de General Motors para el automóvil subcompacto Saturn está diseñada con un sistema flexible de ensamble, el cual tiene la capacidad de ensamblar hasta una docena de diferentes combinaciones de transmisiones, motores, dirección hidráulica y unidades de aire acondicionado.

37.10 Consideraciones de diseño para soportes fijos, ensamble, desensamble y servicio

Como en muchos aspectos de los procesos y sistemas de manufactura, también el diseño es una parte integral de los temas descritos en este capítulo. Estos temas requieren consideraciones especiales de diseño, como se describe a continuación.

37.10.1 Diseño de soportes fijos

El diseño, la construcción y la operación apropiados de los dispositivos flexibles sujetadores de piezas o portapiezas y soportes fijos es fundamental para la operación y eficiencia de los sistemas avanzados de manufactura. A continuación se describen los principales aspectos de diseño correspondientes.

- Los dispositivos sujetadores de piezas o portapiezas deben posicionar la pieza de trabajo de manera automática y precisa; mantener su localización con exactitud y con la suficiente fuerza de sujeción para soportar la operación específica de manufactura. Los soportes fijos también deben ser capaces de aceptar partes de manera repetitiva en la misma posición.
- Los soportes fijos deben tener suficiente rigidez para resistir (sin excesiva distorsión) los esfuerzos normales y de cizallado desarrollados en las interfaces de la pieza de trabajo y el soporte fijo.
- La presencia de virutas sueltas y otros desechos entre las superficies de localización de la pieza de trabajo y el soporte fijo puede ser un problema grave. Es muy probable que las virutas de las operaciones de maquinado y rectificado estén presentes en los casos en que se utilizan fluidos de corte, ya que tienden a adherirse a las superficies húmedas debido a las fuerzas de tensión superficial.
- Un soporte fijo flexible debe aceptar partes a fabricar mediante diferentes procesos, unos con dimensiones y características superficiales que varían de parte a parte. Estas consideraciones son incluso más importantes cuando la pieza de trabajo (*a*) es frágil o está hecha de un material quebradizo; (*b*) está hecha de un material relativamente blando y flexible (como partes de plástico o goma), o (*c*) tiene un recubrimiento casi blando en sus superficies de contacto.
- Las prensas y los soportes fijos deben tener perfiles bajos para evitar una colisión con las herramientas de corte. Evitar la colisión también es un factor importante en las trayectorias de programación de las herramientas en las operaciones de maquinado.
- Los soportes fijos flexibles también deben cumplir requisitos especiales de las celdas y los sistemas flexibles de manufactura. Por ejemplo, el tiempo necesario para cargar y descargar partes en la maquinaria moderna debe ser mínimo para reducir el tiempo de los ciclos.
- Deben diseñarse piezas de trabajo que permitan la localización y sujeción dentro del soporte fijo; incorporarse salientes, planos u otras superficies de localización en el diseño para simplificar el diseño de los soportes fijos y ayudar a la transferencia de partes a la maquinaria.

37.10.2 Diseño para ensamble, desensamble y servicio

Diseño para ensamble. Aunque durante algún tiempo las funciones de un producto y su diseño para la manufactura han sido aspectos de interés principal, el *diseño para ensamble* (DFA, por sus siglas en inglés) ha atraído atención especial (en particular el diseño para ensamble automatizado), debido a la necesidad de reducir los costos de ensamble. En el **ensamble manual**, una ventaja importante es que los humanos pueden escoger con facilidad las partes correctas similares o diferentes del montón (como de un cubo cercano) y los sentidos humanos pueden guiar las manos para obtener el ensamble apropiado. Sin embargo, en el **ensamble automatizado de alta velocidad**, el manejo automático requiere por lo general que las partes se separen del montón, se transporten con tolvas o alimentadores vibratorios (ver fig. 37.31) y se ensamben en sus localizaciones y orientaciones apropiadas.

A continuación se resumen los lineamientos generales del diseño para ensamble:

1. Reducir la cantidad y variedad de partes en un producto. Simplificar el diseño del producto e incorporar múltiples funciones en una sola parte. Utilizar partes comunes tanto como sea posible. Considerar los subensambles que servirían como módulos.
2. Las partes deben tener un alto grado de simetría (redonda o cuadrada) o un alto grado de asimetría (oval o rectangular) de manera que no puedan instalarse incorrectamente o no requieran localización, alineación o ajuste. Diseñar partes para facilitar su inserción.
3. Los diseños deben permitir que las partes se ensamben sin obstrucciones. Tiene que haber una línea directa de visión. Los ensambles no deben voltearse para insertar partes.

4. Considerar métodos como montajes instantáneos y evitar la necesidad de sujetadores como tornillos, tuercas y pernos. Si se utilizan, debe minimizarse la variedad de sujetadores y espaciarse y localizarse de manera que las herramientas puedan usarse sin obstrucción.
5. Los diseños de partes deben considerar factores como tamaño, forma, peso, flexibilidad, abrasión y posible enredo con otras partes.
6. Las partes deben insertarse desde una sola dirección, de preferencia verticalmente (desde arriba) a fin de aprovechar la gravedad. Puede ser difícil ensamblar en dos o más direcciones.
7. Se deben diseñar productos o rediseñar los ya existentes de manera que no existan obstrucciones físicas al libre movimiento de las partes durante el ensamble. Por ejemplo, es necesario reemplazar las esquinas puntiagudas internas y externas con chaflanes, conos o radios.
8. Deben utilizarse códigos de colores en las partes que parezcan similares pero que sean diferentes.

Ensamble robótico. Los lineamientos de diseño para el ensamble robótico incluyen los siguientes:

- Las partes deben diseñarse de manera que se puedan sujetar y manipular mediante un sujetador o efector final (*gripper*) del robot. Dicho diseño evita la necesidad de diferentes sujetadores. Las partes deben quedar disponibles para el sujetador en la orientación apropiada.
- El ensamble que comprende sujetadores roscados (pernos, tuercas y tornillos) puede ser difícil para los robots. Una excepción es el uso de tornillos de autorroscado para láminas metálicas, plásticos y partes de madera. Además, considérese que los robots pueden manejar con facilidad montajes instantáneos de presión, remaches, soldaduras y adhesivos.

El desarrollo de efectores finales compatibles y manipuladores diestros ha hecho que el ensamble robótico sea aún más atractivo.

Diseño para desensamble. La manera y facilidad con que un producto se puede separar para darle mantenimiento o para reemplazar sus partes es otra consideración importante en el diseño de los productos. Por ejemplo, nótese las dificultades que se tienen para extraer ciertos componentes debajo del cofre de algunos automóviles. Existen dificultades similares en el desensamble de muchos otros productos. El enfoque general del diseño para desensamble exige la consideración de factores similares a los ya indicados para el ensamble. En general, el análisis de modelos por computadora o físicos de productos y sus componentes respecto del desensamble indica algún problema potencial, como obstrucciones, tamaño de conductos, falta de línea de visión y dificultad para sujetar y guiar con firmeza los objetos.

Un aspecto importante del diseño para desensamble es cómo, después de su ciclo de vida, se separa un producto para *reciclaje*, en particular los componentes más valiosos. Por ejemplo, considérese que dependiendo de (a) su diseño y localización; (b) el tipo de herramientas utilizadas, y (c) si se emplean herramientas manuales o de potencia, es posible que se requiera más tiempo para retirar los remaches que los tornillos o montajes de presión, y que una capa unida de material valioso en un componente sería muy difícil (si no es que imposible) de retirar para reciclaje o reutilización. Es obvio que cuanto más tiempo tarde la separación de los componentes, más elevado será el costo de hacerlo. Así que, es posible que este costo se vuelva prohibitivo. En consecuencia, se ha estudiado y medido el tiempo requerido para desensamble. Aunque depende de la manera en que se realiza, algunos ejemplos son: corte de cable en 0.25 segundos; desconexión de cable en 1.5 segundos; montajes instantáneos de presión y *clips* en 1 a 3 segundos; y tornillos y pernos en 0.15 a 0.6 segundos por revolución.

Diseño para servicio. El diseño para ensamble y desensamble incluye tomar en cuenta la facilidad con que se puede dar servicio a un producto y, si es necesario, repararlo. Básicamente, el diseño para servicio estriba en el concepto de que los elementos que tienen más probabilidad de requerir servicio estén en las capas exteriores del producto. De esta manera, las partes individuales son más fáciles de alcanzar y dar servicio sin necesidad de extraer muchas otras para hacerlo.

Evaluación de la eficiencia del ensamble. Se han dirigido esfuerzos significativos hacia el desarrollo de herramientas analíticas y basadas en computadoras para calcular la eficiencia de las operaciones de ensamble. Estas herramientas proporcionan una base para comparaciones de diseños y la selección objetiva de atributos de diseño que hacen que el ensamble sea más fácil.

Para valorar la eficiencia del ensamble, se evalúan las características de cada uno de sus componentes que puedan afectar dicho ensamble, así como un tiempo estimado de línea base requerido para incorporar la parte al ensamble. (Esto también se puede aplicar a los productos ya existentes). La eficiencia del ensamble, η , se obtiene mediante:

$$\eta = \frac{Nt}{t_{\text{tot}}} \quad (37.1)$$

donde N es el número de partes, t_{tot} el tiempo total de ensamble y t el tiempo de ensamble ideal de una parte pequeña que no presenta dificultades en el manejo, orientación o ensamble y comúnmente se considera como tres segundos. Utilizando la ecuación 37.1, los diseños en competencia pueden evaluarse respecto del diseño para ensamble. Debe observarse que, en general, los productos que necesitan ser rediseñados para facilitar el ensamble tienen una eficiencia de ensamble de alrededor de 5% a 10%, en tanto que las partes bien diseñadas poseen eficiencias de ensamble de alrededor de 25%. Cabe destacar que, en la práctica, existen pocas probabilidades de obtener eficiencias de ensamble aproximadas al 100%.

37.11 | Consideraciones económicas

Como se describe con más detalle en el capítulo 40, y como ya vimos a lo largo de muchos capítulos en este libro, existen diversas consideraciones comprendidas en la determinación de la economía general de las operaciones de producción. Debido a que todos los sistemas de producción son fundamentalmente una combinación de máquinas y personas, algunos factores importantes que influyen en las decisiones finales incluyen el tipo y costo de maquinaria, equipo y herramental; costo de las operaciones; nivel de experiencia y la cantidad de mano de obra requerida, y el total de producción. Ya se vio que el tamaño del lote y la capacidad de producción influyen en gran medida en la economía de la producción.

En los talleres se pueden manufacturar cantidades pequeñas al año. Sin embargo, en general, el tipo de maquinaria existente en los talleres requiere mano de obra calificada para la operación; además, la cantidad y capacidad de producción son bajas. Como resultado, el costo por parte puede ser elevado. En el otro extremo, existe la producción de partes en cantidades muy grandes utilizando líneas de flujo convencionales y líneas de transferencia, que comprenden maquinaria de propósito especial, equipo, herramental especializado y sistemas de control computarizado. Aunque todos estos componentes constituyen inversiones importantes, tanto el nivel requerido de mano de obra calificada como los costos de ésta son relativamente bajos debido al alto nivel de automatización incorporada. Sin embargo, estos sistemas de producción se organizan para un tipo específico de producto y, por lo tanto, carecen de flexibilidad.

Debido a que la mayoría de las operaciones de manufactura se encuentran entre estos dos extremos, es necesario tomar una decisión apropiada en relación con el nivel conveniente de automatización a implantar. En muchas situaciones, se ha encontrado que la automatización selectiva, y no la automatización total de una instalación, es efectiva en costo. Por lo general, cuanto mayor es el nivel de habilidad disponible en la fuerza de

trabajo, menor será la necesidad de automatización, siempre que se justifiquen costos de mano de obra superiores y que existan suficientes trabajadores calificados disponibles. Por el contrario, si ya se ha automatizado una instalación de manufactura, el nivel de habilidad requerido es relativamente más bajo.

Además, algunos productos tienen gran componente de mano de obra; por lo tanto, su producción es intensiva. Éste es particularmente el caso con productos que requieren mucho ensamble. Ejemplos de productos intensivos en mano de obra son: aeronaves, *software*, bicicletas, pianos, mobiliario, juguetes, zapatos, textiles y prendas de vestir. Ésta es la razón principal por la que hoy en día tantos productos domésticos y de alta tecnología se fabrican o ensamblan en países donde los costos de mano de obra son bajos, como China, India, México y los países de la Cuenca del Pacífico (ver tabla I.4). Sin embargo, en Estados Unidos, por ejemplo, la mejora en los diseños de productos y la disponibilidad, confiabilidad, costo reducido y uso de robots industriales están teniendo un impacto económico importante en las operaciones de manufactura, reduciendo de manera significativa la necesidad de mano de obra.

RESUMEN

- La automatización se ha implantado en procesos de manufactura, manejo de materiales, inspección, ensamble y empaque en proporciones crecientes. Existen diversos niveles de automatización, que van de la automatización simple de máquinas hasta celdas de manufactura sin atención del personal.
- La verdadera automatización se inició con el control numérico de las máquinas, que tiene la capacidad de flexibilizar la operación, reducir los costos y facilitar la fabricación de diferentes partes con menos habilidad del operador. La cantidad y capacidad de producción son factores importantes en la determinación de los niveles económicos de la automatización.
- Las operaciones de manufactura se optimizan aún más (en calidad y costo) mediante técnicas de control adaptable, que supervisan de manera continua la operación y hacen los ajustes necesarios en los parámetros de procesamiento.
- Se han realizado avances importantes en el manejo de materiales, en particular con la implantación de robots industriales y vehículos guiados automáticamente.
- Los sensores son fundamentales en la implantación de estas modernas tecnologías; se ha desarrollado e instalado una amplia variedad de sensores basados en diversos principios.
- Otros avances incluyen los soportes fijos flexibles y las técnicas de ensamble automatizado, que reducen la necesidad de intervención del trabajador y disminuyen los costos de manufactura. La implantación efectiva y económica de estas técnicas requiere que el diseño para ensamble, desensamble y servicio se reconozca como un factor importante en el proceso total de diseño y manufactura.
- La eficiencia e implementación económica de esas técnicas requiere esos diseños para ensamblar y desensamblar, y el servicio es reconocido como un factor importante en los procesos de diseño y manufactura.

TÉRMINOS CLAVE

Acumulación intermedia	Contorneado	Control numérico computarizado
Automatización	Control adaptable	Controlador lógico programable
Automatización por <i>software</i>	Control de lazo abierto	Controles de cableado
Automatización rígida	Control de lazo cerrado	Detección táctil
Automatización selectiva	Control numérico	Detección visual

Efecto final	Mantenimiento total productivo	Robot inteligente
Efectores finales compatibles	Máquinas autónomas	Sensores
Ensamble	Máquinas dedicadas	Sensores inteligentes
Ensamble aleatorio	Mecanización	Sistemas de control
Ensamble selectivo	Posicionamiento	Sistemas flexibles de ensamble
Envoltorio o volumen de trabajo	Precisión de repetición	Soportes flexibles
Fusión de sensores	Productividad	Trayectoria continua
Interpolación	Programación de partes	Unidades de producción de cabezal de potencia
Lenguaje de programación	Resolución	Vehículo guiado automáticamente
Líneas de transferencia	Retroalimentación	Visión de computadora
Manejo de materiales	Robot	Visión de máquina
Manipuladores	Robot industrial	

BIBLIOGRAFÍA

- Amic, P. J., *Computer Numerical Control Programming*, Prentice Hall, 1996.
- Asfahl, C. R., *Robots and Manufacturing Automation*, 2a. ed., Wiley, 1992.
- Astrom, K. J. y Wittenmark, B., *Adaptive Control*, 2a. ed., Addison-Wesley, 1994.
- Bolhouse, V., *Fundamentals of Machine Vision*, Robotic Industries Association, 1997.
- Boothroyd, G., *Assembly Automation and Product Design*, Marcel Dekker, 1989.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P. y Knight, W., *Product Design for Manufacture and Assembly*, 2a. ed., Marcel Dekker, 2001.
- Brooks, R. R. y Iyengar, S., *Multi-Sensor Fusion: Fundamentals and Applications with Software*, Prentice Hall, 1997.
- Burke, M., *Handbook of Machine Vision Engineering*, Chapman & Hall, 1999.
- Busch-Vishniac, I., *Electromechanical Sensors and Actuators*, Springer, 1999.
- Chow, W., *Assembly Line Design: Methodology and Applications*, Marcel Dekker, 1990.
- Coiffet, P. y Chizouze, M., *Introduction to Robot Technology*, McGraw-Hill, 1993.
- Fraden, J., *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*, 2a. ed., Springer-Verlag, 1996.
- Galbiati, L. J., *Machine Vision and Digital Image Processing Fundamentals*, Prentice Hall, 1997.
- Gibbs, D. y Crandell, T., *CNC: An Introduction to Machining and Part Programming*, Industrial Press, 1991.
- Ioannu, P. A., *Robust Adaptive Control*, Prentice Hall, 1995.
- Jain, R. (ed.), *Machine Vision*, Prentice Hall, 1995.
- Lynch, M., *Computer Numerical Control for Machining*, McGraw-Hill, 1992.
- Molloy, O., Warman, E. A. y Tilley, S., *Design for Manufacturing and Assembly: Concepts, Architectures and Implementation*, Kluwer, 1998.
- Myler, H. R., *Fundamentals of Machine Vision*, Society of Photo-optical Instrumentation Engineers, 1998.
- Nanfara, F., Uccello, T. y Murphy, D., *The CNC Workbook: An Introduction to Computer Numerical Controls*, Addison-Wesley, 1995.
- Nof, S. Y. (ed.), *Handbook of Industrial Robotics*, Wiley, 1999.
- Nof, S. Y., Wilhelm, W. E. y Warnecke, H.-J., *Industrial Assembly*, Chapman & Hall, 1998.
- Rampersad, H. K., *Integral and Simultaneous Design for Robotic Assembly*, Wiley, 1995.
- Rehg, J. A., *Introduction to Robotics in CIM Systems*, 5a. ed., Prentice Hall, 2002.
- Sandler, B.-Z., *Robotics: Designing the Mechanisms for Automated Machinery*, 2a. ed., Prentice Hall, 1999.
- Seames, W., *Computer Numerical Control: Concepts and Programming*, 3a. ed., Delmar, 1995.
- Soloman, S., *Sensors Handbook*, McGraw-Hill, 1997.
- Stenerson, J. y Curran, K. S., *Computer Numerical Control: Operation and Programming*, 2a. ed., Prentice Hall, 2000.
- _____, *Tool and Manufacturing Engineers Handbook*, 4a. ed., Vol. 4, *Assembly, Testing, and Quality Control*, Society of Manufacturing Engineers, 1986.
- _____, Vol. 9, *Material and Part Handling in Manufacturing*, Society of Manufacturing Engineers, 1998.
- Valentino, J. V. y Goldenberg, J., *Introduction to Computer Numerical Control*, 2a. ed., Regents/Prentice Hall, 1999.
- Williams, D. J., *Manufacturing Systems*, 2a. ed., Chapman & Hall, 1994.
- Zuech, N., *Understanding and Applying Machine Vision*, 2a. ed., Marcel Dekker, 1999.

PREGUNTAS DE REPASO

- 37.1 Describa las diferencias entre mecanización y automatización. Proporcione varios ejemplos específicos de cada una.
- 37.2 ¿Por qué la automatización se considera generalmente como evolutiva en lugar de revolucionaria?
- 37.3 ¿Existen actividades en las operaciones de manufactura que no se puedan automatizar? Explique su respuesta.
- 37.4 Explique la diferencia entre automatización rígida y por *software*. ¿Por qué se llaman así?
- 37.5 Describa el principio de control numérico de las máquinas. ¿Qué factores condujeron a la necesidad y desarrollo del control numérico?
- 37.6 Describa los circuitos de control de lazo abierto y lazo cerrado.
- 37.7 Describa el principio y los propósitos del control adaptable.
- 37.8 ¿Qué factores han conducido al desarrollo de vehículos guiados automáticamente? ¿Tienen alguna desventaja? Explique sus respuestas.
- 37.9 Describa los rasgos de un robot industrial. ¿Por qué son necesarios estos rasgos?
- 37.10 Comente los principios de diversos tipos de sensores.
- 37.11 Describa el concepto de diseño para ensamble. ¿Por qué se ha convertido en un factor importante en la manufactura?
- 37.12 ¿Es posible tener automatización parcial en el ensamble? Explique su respuesta.
- 37.13 ¿Cuáles son las ventajas de los soportes fijos flexibles?
- 37.14 ¿Cómo se programan los robots para seguir cierta trayectoria?

PROBLEMAS CUALITATIVOS

- 37.15 Dando ejemplos específicos, comente sus observaciones en relación con la figura 37.2.
- 37.16 ¿Cuáles son las ventajas y limitaciones relativas de los dos arreglos de cabezales de potencia mostrados en la figura 37.4?
- 37.17 Comente los métodos de calibrado en línea de los diámetros de una pieza de trabajo en operaciones de torneado, distintos del mostrado en la figura 37.15.
- 37.18 ¿El taladrado y el troquelado son las únicas aplicaciones para el sistema punto a punto mostrado en la figura 37.10a? Explique su respuesta.
- 37.19 ¿Qué determina el número de robots en una línea de ensamble automatizada como la mostrada en las figuras 37.22 y 37.32?
- 37.20 Describa situaciones en las que la forma y el tamaño del envolvente de trabajo de un robot (fig. 37.20) pueden ser críticos.
- 37.21 Explique las funciones de cada uno de los componentes de un robot industrial.
- 37.22 Explique la diferencia entre un vehículo guiado automáticamente y un vehículo autoguiado.
- 37.23 Dé cinco ejemplos específicos por los cuales sería conveniente un sistema de control: (a) de lazo abierto, y (b) de lazo cerrado.
- 37.24 Explique por qué los sensores se han vuelto tan fundamentales en el desarrollo de sistemas automatizados de manufactura.
- 37.25 ¿Por qué existe la necesidad de soportes fijos flexibles para sujetar piezas de trabajo? ¿Existe alguna desventaja? Explique su respuesta.
- 37.26 En la tabla 37.2 se muestran algunos ejemplos de productos comunes para cada categoría. Agregue otros ejemplos diferentes a esta lista.
- 37.27 Describa aplicaciones de la visión de máquina para partes específicas que son similares a los ejemplos mostrados en la figura 37.25.
- 37.28 Dibuje el espacio o volumen de trabajo (envolvente) de cada uno de los robots de la figura 37.19.

SÍNTESIS, DISEÑO Y PROYECTOS

- 37.29 Proporcione un ejemplo de una operación de formado metálico que sea apropiada para control adaptable.
- 37.30 Liste y comente los factores que deben considerarse en la elección de un sistema adecuado de manejo de materiales para una instalación específica de manufactura.
- 37.31 Describa posibles aplicaciones de robots industriales no consideradas en este capítulo.
- 37.32 Diseñe dos diferentes sistemas de sujetadores mecánicos (*grippers*) para aplicaciones muy diferentes.

- 37.33 Proporcione algunas aplicaciones de los sistemas mostrados en la figura 37.25a y c.
- 37.34 Para un sistema similar al mostrado en la figura 37.26, diseñe una instalación de soporte fijo flexible para un mandril (*chuck*) de torno.
- 37.35 Piense en otras formas de partes que puedan guiarse como las mostradas en la figura 37.33.
- 37.36 Dé ejemplos de productos que sean adecuados para los tres tipos de producción mostrados en la figura 37.3.
- 37.37 Dé ejemplos en los que los sensores táctiles o de contacto no serían apropiados. Explique por qué.
- 37.38 Describa situaciones en las que la visión de máquina no pueda aplicarse de manera apropiada y confiable. Explique por qué.
- 37.39 Elija una máquina de las partes II a la IV y diseñe un sistema en el que la fusión de sensores pueda usarse de manera efectiva.
- 37.40 ¿Por qué el nivel de automatización en la instalación de manufactura debe depender de la cantidad de producción y la capacidad de producción?
- 37.41 Piense en un producto y diseñe una línea de transferencia para éste que sea similar a la mostrada en la figura 37.5. Especifique los tipos y la cantidad de máquinas requeridas.
- 37.42 Opine sobre la utilidad y aplicaciones de los soportes modulares que constan de diversas prensas, pasadores, soportes y accesorios montados individuales sobre una placa base.
- 37.43 Inspeccione diversos productos domésticos y describa la manera en la que se ensamblaron. Comente cualquier cambio de diseño del producto que haría de manera que el ensamble, desensamble y servicio sean más sencillos y rápidos.
- 37.44 Revise la tabla 37.1 sobre la historia de la automatización y opine sobre qué nuevos desarrollos podrían posiblemente agregarse al final de la lista en el futuro próximo.
- 37.45 Diseñe un sujetador (*gripper*) de robot que recoja y coloque lo siguiente: (a) huevos, sin romperlos; (b) un objeto hecho de hule muy blando; (c) una esfera metálica con una superficie muy lisa y pulida; (d) un periódico, y (e) cubiertos de mesa, como cuchillos, cucharas y tenedores.
- 37.46 Revise las especificaciones de diversas máquinas de control numérico y liste sus números característicos para (a) su precisión de posicionamiento; (b) su precisión de repetición, y (c) resolución. Comente sus observaciones.
- 37.47 Consiga un tostador viejo y desensámblelo. Explique cómo lo ensamblaría mediante ensamble automático.
- 37.48 Investigue en la bibliografía y determine cómo funciona un aparato ordenador de bolos para boliche. Explique cómo los bolos nunca se colocan cabeza abajo en una línea del boliche.