

Capítulo I

Introducción a los Procesos de Manufactura

La manufactura es una actividad importante desde el punto de vista tecnológico, económico e histórico. Se puede definir la tecnología como una aplicación de la ciencia que proporciona a la sociedad y a sus miembros aquellos bienes que son necesarios o deseados. Existen numerosos ejemplos de tecnologías que afectan directa o indirectamente nuestra vida diaria. Considere, por ejemplo, la lista de productos que aparecen en la tabla 1.1; son el resultado de diversas tecnologías que ayudan a nuestra sociedad y a sus miembros a vivir mejor. ¿Que tienen esos productos en común? Todos son manufacturas. Estos portentos tecnológicos no existirían si no hubiera sido posible producirlos. La manufactura es el factor esencial que los ha hecho posibles gracias a la tecnología.

TABLA 1 .1

Productos representativos de varias tecnologías, que impactan en su mayoría a casi todas las personas.
Zapatos para atleta
Bolígrafo
Teléfono celular
Reproductor de discos compactos
Lentes de contacto
Calculadora electrónica manual
Bombilla de luz incandescente
Robot industrial
Circuito integrado
Televisor a color de pantalla grande
Aparato de diagnóstico médico por imagen de resonancia magnética
Horno de microondas
Silla de patio de una pieza moldeada en plástico
Computadora personal
Máquina fotocopidora
Reloj de pulsera de cuarzo
Llanta radial de automóvil
Raqueta de tenis de material compuesto
Grabadora de videos
Máquina lavadora y secadora

Económicamente, la manufactura es un instrumento importante que permite a una nación crear riqueza material. En la moderna economía internacional, una nación necesita una sólida base manufacturera (o recursos naturales importantes) si desea tener una economía fuerte con la cual brindar a su pueblo un alto nivel de vida.

Históricamente se ha subestimado la importancia de la manufactura en el desarrollo de las civilizaciones; no obstante, las culturas humanas que han sabido hacer mejor las cosas a lo largo de la

historia, han sido las más exitosas. Haciendo mejores herramientas, se perfeccionaron las artesanías y las armas; la artesanía les permitió un mejor nivel de vida, las armas les permitieron conquistar a las culturas vecinas en tiempos de conflicto. En la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) Estados Unidos sobrepasó a Alemania y Japón en producción, lo cual fue una ventaja decisiva para ganar la guerra. La historia de la civilización ha sido en gran parte, la historia de la habilidad humana para fabricar cosas.

En este primer capítulo, tratamos algunos temas generales sobre manufactura. ¿Qué es manufactura? ¿Cómo se organiza en la industria? ¿Cuáles son los materiales, los procesos y los sistemas con que se realiza la producción?

¿QUÉ ES MANUFACTURA? La palabra *manufactura* se deriva de las palabras latinas *manus* (manos) y *factus* (hacer); esta combinación de términos significa hacer con las manos. La palabra inglesa *manufacturing* tiene ya varios siglos de antigüedad, y la expresión “hecho a mano” describe precisamente el método manual que se usaba cuando se acuñó la palabra.

Definición de manufactura La manufactura, como campo de estudio en el contexto moderno, puede definirse de dos maneras: tecnológica y económica. Tecnológicamente es la aplicación de procesos químicos y físicos que alteran la geometría, las propiedades, o el aspecto de un determinado material para elaborar partes o productos terminados. Los procesos para realizar la manufactura involucran una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual, tal como se describe en la figura 1.1(a). La manufactura se realiza casi siempre como una sucesión de operaciones. Cada una de ellas lleva al material cada vez más cerca del estado final deseado.

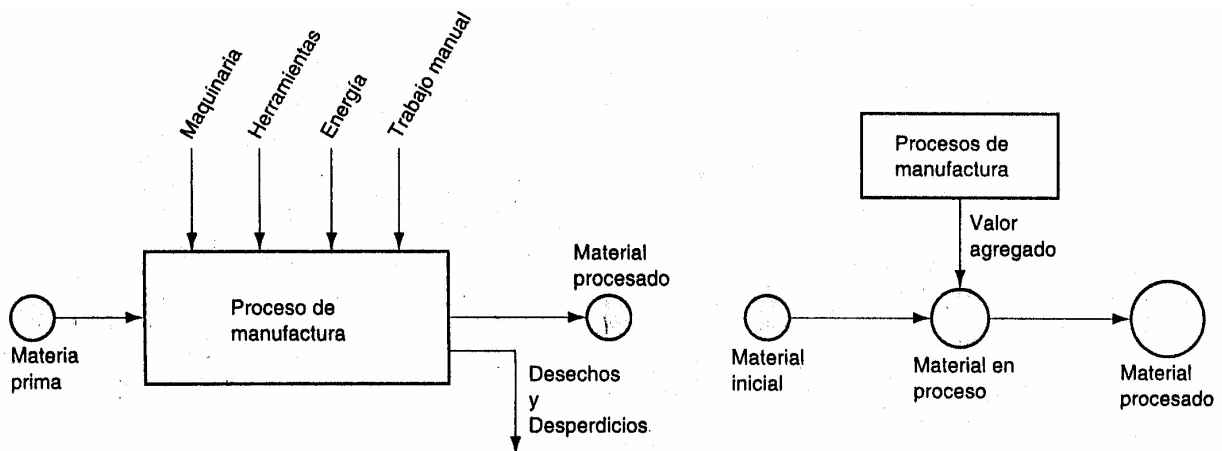


FIGURA 1.1 Dos maneras de definir manufactura: (a) como un proceso técnico y (b) como un proceso económico.

Económicamente, *la manufactura* es la transformación de materiales en artículos de mayor valor, a través de una o más operaciones o procesos de ensamble, como se muestra en la figura 1.1 (b). El punto clave es que la manufactura *agrega valor* al material original, cambiando su forma o propiedades, o al combinarlo con otros materiales que han sido alterados en forma similar. El material original se vuelve más valioso mediante las operaciones de manufactura que se ejecutan sobre él. Cuando el mineral de

hierro se convierte en acero, se le agrega valor. Cuando la arena se transforma en vidrio, se le agrega valor. Lo mismo sucede cuando el petróleo se refina y convierte en plástico; y cuando el plástico se moldea en una compleja geometría de una silla de patio, se hace aún más valioso.

Aunque la manufactura es una actividad importante, no se lleva a cabo por sí misma. Se realiza como una actividad comercial por parte de las compañías que venden sus productos a los consumidores. El tipo de manufactura que maneja una compañía depende de la clase de productos que fabrica. Se puede explorar esta relación si examinamos primero los tipos de industrias de manufactura, e identificamos después los productos que elaboran.

Industrias manufactureras Son empresas y organizaciones que producen o abastecen bienes y servicios, pueden clasificarse como primarias, secundarias o terciarias. Las *industrias primarias* son aquellas que cultivan y explotan los recursos naturales, tales como la agricultura y la minería. Las *industrias secundarias* adquieren los productos de las industrias primarias y los convierten en bienes de consumo o de capital. La actividad principal de las industrias en esta categoría es la manufactura, incluyendo también la construcción y las instalaciones para la producción de energía. Las *industrias terciarias* constituyen el sector de servicios de la economía. En la tabla 1.2 se presentan las listas de industrias específicas en cada categoría.

TABLA 1.2 Industrias específicas en las categorías primaria, secundaria y terciaria, sobre la base aproximada a la International Standard Industrial Classification (ISIC) usada por Naciones Unidas.

PRIMARIAS	SECUNDARIAS	TERCIARIAS (Servicios)
Agricultura	Bebidas	Banca
Forestal	Materiales para construcción	Comunicaciones
Pesca	Productos químicos	Educación
Ganadería	Computadoras	Entretenimiento
Canteras	Construcción	Servicios financieros
Minería	Enseres domésticos	Gobierno
Petróleo (extracción)	Procesamiento de alimentos	Salud y servicios médicos
	Vidrio y cerámica	Información
	Papel	Servicios legales
	Refinación de petróleo	Bienes raíces
	Productos farmacéuticos	Reparación y mantenimiento
	Plásticos (formado)	Restaurantes
	Instalaciones de generación de energía	Comercio al detalle
	Textiles	Turismo
	Madera y muebles	Transporte

En este texto nos interesan las industrias secundarias (columna central en la tabla 1.2); donde se encuentran clasificadas las compañías dedicadas a la manufactura; sin embargo, la International Standard Industrial Classification (ISIC) utilizada para recopilar la tabla 1.2 incluye varias industrias cuyas

tecnologías de producción no se cubren en este texto, por ejemplo: bebidas, productos químicos y procesamiento de alimentos. En este texto la palabra manufactura significa la producción de equipo y herramientas, lo cual comprende desde tuercas y tornillos hasta computadoras digitales y armas. Se incluyen también productos cerámicos y plásticos, pero se excluyen: ropa, confección, y por supuesto programas de computación. Nuestra pequeña lista de industrias manufactureras aparece en la tabla 1.3.

TABLA 1.3 industrias manufactureras cuyos sistemas y procesos quedan probablemente incluidas en este texto

Industria	Productos típicos
Automotriz	Automóviles, camiones, autobuses y motocicletas
Metales básicos	Hierro y acero, aluminio, cobre
Enseres domésticos	Aparatos para el hogar grandes y pequeños
Electrónica	Televisores, videograbadoras y equipos de audio
Equipo	Maquinaria industrial, equipo ferrocarrilero
Metales habilitados	Partes maquinadas, estampados metálicos, herramientas
Vidrio, cerámica	Productos vítreos, herramientas cerámicas, lozas
Maquinaria pesada	Maquinas herramientas, equipo de construcción
Plásticos (formado)	Plásticos moldeados, extrusiones
Llantas y productos de hule	Llantas, suelas de hule, pelotas de tenis

Capacidad de manufactura Una planta de manufactura consiste en un conjunto de *procesos* y *sistemas* (y desde luego trabajadores) diseñados para transformar una cierta clase limitada de *materiales* en productos con valor agregado. Estos tres pilares materiales, procesos y sistemas constituyen la esencia de la manufactura moderna. Existe una gran interdependencia entre estos factores. Una empresa dedicada a la manufactura no lo puede hacer todo; sin embargo tiene que realizar sólo ciertas cosas y debe hacerlas bien. La *eficacia de la manufactura* se refiere a las limitaciones físicas y técnicas de la empresa manufacturera y de cada una de sus plantas. Podemos identificar varias dimensiones de esta capacidad y aptitud: 1) capacidad y aptitud tecnológica de proceso, 2) tamaño físico y peso del producto, y 3) capacidad de producción.

La *capacidad tecnológica de proceso* de una planta es el conjunto de procesos de manufactura del cual dispone una empresa. Algunas plantas realizan operaciones de maquinado, otras laminan lingotes de acero convirtiéndolos en láminas, y algunas más construyen automóviles. Un taller de maquinado no puede laminar acero y el de laminación no puede construir carros. La característica fundamental que distingue a estas plantas son los procesos que pueden realizar. La capacidad tecnológica de proceso está relacionada estrechamente con el tipo de material. Ciertos procesos de manufactura se adaptan a ciertos materiales, mientras que otros procesos se adaptan a otros materiales. Al especializarse en algún proceso o grupos de procesos, la planta se especializa simultáneamente en un cierto tipo de material.

Limitaciones físicas del producto Un segundo aspecto de la capacidad y aptitud de manufactura es el que impone el *producto físico*. En una planta con un cierto conjunto de procesos existen limitaciones sobre el peso y tamaño de los productos que pueden manejarse; los grandes y pesados son difíciles de mover, se requieren grandes grúas puente. La planta debe estar equipada con grúas de la capacidad de carga necesaria para mover los productos. Las partes y productos pequeños hechos en grandes cantidades pueden manejarse con transportadores u otros medios. La limitación sobre el tamaño y peso de los productos se extiende también a la capacidad física de los equipos de manufactura. Las máquinas de producción se diseñan en diferentes tamaños; las más grandes pueden usarse para procesar piezas grandes. De aquí que el conjunto de equipos de producción, manejo de materiales, capacidad de almacenamiento y tamaño de planta tenga que planearse para productos que entran dentro de un cierto rango de tamaño y peso.

Capacidad de producción Una tercera limitación sobre la capacidad y aptitud de la planta es la cantidad de producción que puede ser generada en un período establecido (mes o año por ejemplo). Esta limitación en cantidad es llamada comúnmente *capacidad de planta* o *capacidad de producción*, y se define como la máxima velocidad de producción que una planta puede lograr bajo condiciones dadas de operación. Las condiciones de operación se refieren al número de turnos de trabajo por semana, horas por turno, niveles de mano de obra directa en la planta, etc. Estos factores representan insumos de la planta manufacturera. Dados estos insumos, ¿cuánta producción puede generar la planta?

La capacidad de la planta se mide generalmente en términos de unidades producidas, tales como toneladas de acero producidas por una acería, o el número de carros producidos por una planta ensambladora. En estos casos los productos son homogéneos; en otros, donde las unidades producidas no son homogéneas, hay factores más apropiados de medida como las horas hombre de capacidad disponible en un taller mecánico que produce una variedad de partes.

Manufactura flexible La tecnología de manufactura flexible es una gran promesa para el futuro de la manufactura. Beneficios potenciales son el mejoramiento en calidad, la reducción en costos e inventario, y un mejor manejo de los productos. Esta tecnología puede dividirse en dos segmentos: Flexible Manufacturing Systems (FMS, sistemas flexibles de manufactura) y Flexible Manufacturing Cells (FMC, celdas flexibles de manufactura).

Flexible Manufacturing Systems (FMS) Un FMS tiene varias definiciones, debido a que la gente trata de describirlo desde su propia perspectiva. A un nivel superior, un FMS es una colección de FMC. También puede ser un grupo de máquinas manufactureras dedicadas a un solo propósito, proveyendo flexibilidad debido tanto al flujo variable de material entre estaciones como a las diferentes combinaciones de usar estaciones de operaciones simples. En ambos casos, el resultado final es la capacidad de manufacturar piezas o ensamblados usando el mismo grupo de máquinas. Una línea de producción con uso y operación variable de las estaciones puede funcionar como FMS. Es por esto que la manufactura flexible describe cualquier grupo de máquinas o centros con el objeto de mover material entre ellos. El

sistema completo está manejado por computadores, los cuales pueden manufacturar colectivamente diferentes partes y productos desde el inicio al final.

Los sistemas FMS para manufactura también son denominados sistemas CIMS (Computer Integrated Manufacturing Systems).

Las máquinas herramientas usadas en FMS usualmente son centros de mecanizado CNC, pero también pueden usarse otros equipos, como estaciones de inspección o de ensamblado, e incluso equipamiento para acabado superficial. El concepto FMS de manufactura está caracterizado por la capacidad de integrar estaciones de trabajo, manejo automático de materiales y control computacional.

El uso de FMS con lleva al uso de otros sistemas, como son la tecnología de grupo (GT, Group Technology), que permite clasificar piezas con características de fabricación similares, la tecnología JIT (Just In Time, justo a tiempo), que permite que las materias primas lleguen al lugar indicado en el momento preciso, los sistemas MRP (Material Requirements Planning, planeación de requerimientos de productos), donde el material entrante es seleccionado para llegar al lugar correcto a la hora indicada, y finalmente los sistemas CAD, con el fin de permitir el uso de datos y especificaciones milimétricas del diseño en la programación de máquinas de control numérico (NC) e inspección automática.

El concepto FMS es visto por muchos expertos como, al menos, una solución parcial al problema de producción de mediano volumen, la cual alcanza a nivel de países industrializados al 40% de la producción total. Los productos hechos en masa alcanzan solo el 25% del total. Los sistemas FMS son más aplicables a los procesos de familia de partes, o piezas de volumen medio de producción como ejes, bloques de motor, etc.

Al usar FMS se reducen los costos de mano de obra directa, pero aumentan los de mano de obra indirecta, debido al mayor nivel de complejidad del hardware. También se reducen los tiempos de producción, debido a la mayor eficiencia de uso de las máquinas, la cual puede alcanzar el 85%, valor considerado excelente. Existe con FMS una posibilidad de acomodar cambios en el volumen de partes, mezclar productos y hacer cambios en el diseño, sin tener grandes problemas. Debido a la mayor velocidad de procesamiento de las partes, se puede reducir notablemente el inventario, especialmente si se usan los sistemas JIT y MRP. La administración de la planta se simplifica con FMS al tener el control principal un computador, el cual puede manejar pequeños cambios o denunciar fallas. De esta manera se facilita el sistema de control gerencial.

La justificación de costos de un FMS puede subdividirse en los costos de adquisición y los costos de operación. Los costos de adquisición deben realizarse una sola vez, e incluyen la preparación del lugar físico, el costo del equipo, el diseño del sistema y la preparación inicial de los operadores. Los costos de operación son comparables a los costos de otros tipos de plantas e incluyen programación de uso, manutención, reprogramación y actividades de control de calidad actual y bajo posibles nuevas normas.

La tendencia actual es a usar diseños más modulares, los cuales permitan a los fabricantes de máquinas herramientas tener algunos de los módulos básicos de funciones preconstruidos, o a usar piezas y subensambles más comunes, con el fin de disminuir los tiempos de entrega.

Al planear la instalación de un sistema FMS, es necesario ceñirse a un modelo de implementación preexistente, el cual puede ser enfatizado en alguno de sus puntos por alguna empresa en particular; sin embargo, la experiencia ha demostrado que ninguno de los pasos puede saltarse por completo. Este modelo se presenta a continuación:

1. Definir qué se va a producir y si la planta y el personal está capacitado para eso
2. Establecer familias de partes entre los productos o componentes
3. Determinar el volumen a producir en el corto plazo (el primer año)
4. Pronosticar el volumen a producir a 10 años plazo
5. Analizar con profundidad las capacidades del personal, sus contratos y un futuro jefe del proyecto*
6. Analizar ofertas de equipos y sistemas, elegir con ayuda pagada la mejor opción
7. Hacer una evaluación general del proyecto, incluyendo los costos. Los sistemas pueden costar de uno a veinte o más millones de dólares
8. Mandar a pedir (comprar) el sistema
9. Anticipar la puesta en marcha, tanto dentro como fuera de la planta, hablando con proveedores y distribuidores
10. Desarrollar las rutinas del sistema, establecer mantenimientos, preparar el área de instalación y visitar al constructor del sistema, con el fin de chequearlo y mostrarlo a sus futuros operarios
11. Instalar el sistema
12. Realizar post auditorias o revisiones periódicas, tanto con el constructor como con los operarios, con el fin de comprobar si los planes originales se están cumpliendo a cabalidad

** Tras estos primeros cinco pasos se podrá asegurar si la empresa es candidata a usar un sistema FMS o no. Si lo es, la información obtenida será de gran importancia al implementar el resto del programa.*

La implementación de un sistema FMS debería cumplir con algunas especificaciones, y aunque éstas no son absolutamente necesarias, se aconseja su uso:

- Se deben establecer caminos para desarrollar subsistemas comunes de control de estadísticas, administración de manutención, de tal manera que éstos estén integrados con los otros subsistemas
- Se debe usar un software común para integrar los sistemas actuales
- Se debe usar convenciones (software) comunes para las interfaces hombre/máquina, de tal manera que los operadores, inspectores y mantenedores usen el mismo procedimiento al interactuar con todas las máquinas
- Se debe usar una base de datos administrativa
- Se debe usar equipamiento computacional común para la información gráfica y de texto
- Las especificaciones de control de programación deben estar estandarizadas con el fin de incorporar interfaces comunicacionales con los proveedores y distribuidores

El uso de robots se ha intensificado últimamente, a tal punto que hoy son vistos simplemente como máquinas herramientas CNC, que son incorporadas a FMSs y FMCs. Cuando son apropiados, los robots

se usan para el manejo de materiales, fijación de piezas en las máquinas y otros procesos que son hechos mejor por el robot que por una máquina CNC dedicada. Muchos distribuidores de FMS proveen los robots como parte integral de los sistemas, y en esto hay que tener precaución, pues los robots no son siempre compatibles.

El software y hardware FMS deben trabajar juntos en tiempo real, y una simulación es una buena manera de asegurar que esto ocurra. Debe existir primero una planeación de la capacidad de la planta para así, conociendo la demanda y las condiciones de operación, diseñar una estrategia que permita una adecuada base para la fase de planeación del MRP. Éste, basado en los inventarios que maneja, desarrolla un programa de entrega de productos. El CAPP también ofrece ayuda a la hoja de ruta de un producto, incluyendo los estándares de tiempo directo del diseño, permitiendo la viabilidad de la integración con los sistemas CAD / CAM. Debe existir, por tanto, un programa computacional de tiempo real que vaya comprobando la ejecución de las funciones encomendadas, y que reconozca errores de tal manera de no mandar materiales a una máquina que esté fallando.

El manejo de herramientas es otro aspecto que ha ido adquiriendo importancia en los FMSs que cortan metales. No tener operadores que vigilen las operaciones de corte implica tener sensores automáticos de quebrazón de herramientas, de tal manera de detectar problemas cuando éstos ocurran. El uso de herramientas de calidad es esencial en las operaciones de precisión. Esto además aumenta la productividad y flexibilidad de un sistema FMS de varias maneras, pues usando portaherramientas adecuados se aumenta la repetibilidad de uso de una máquina, especialmente con el uso de máquinas programables. Este es el caso de los centros de mecanizado, los cuales pueden realizar operaciones de torneado y fresado, usando los magazines de herramientas adecuados. Hoy en día estos magazines pueden cargar 90 o más herramientas.

Los requerimientos del sistema de control de un FMS son mucho más que simples máquinas NC. La necesidad de lograr coordinación e integración en todos los aspectos de las operaciones de manufactura incluye sistemas de manejo de materiales, máquinas manufactureras, equipamiento de inspección, de recolección de datos y de reporte. Las necesidades de información de estos equipos deben ser manejadas por sistema de control del FMS. La jerarquía de control se divide en tres niveles de control:

- El programador dinámico, el cual determina el nivel de producción inmediato de cada pieza para así aprovechar al máximo la capacidad cambiante del sistema.
- El secuenciador de procesos, el cual determina el detalle del movimiento interno de piezas. Para achicar el número de posibilidades a evaluar en este nivel, algunos de los conflictos interdependientes son resueltos en un nivel menor por un mecanismo más rápido, para determinar el tiempo de mecanizado.
- La asignación de recursos dinámicos, o nivel de comunicación, el cual transmite las decisiones y recibe información de los controladores de las máquinas. Una parte de este nivel está a cargo de juntar datos estadísticos, monitorear las opciones del sistema y proveer servicios de aplicación en el momento oportuno. Un procesador de eventos coordina las actividades generales en el controlador.

Flexible Manufacturing Cells Un FMC es un grupo de máquinas relacionadas que realizan un proceso particular o un paso en un proceso de manufactura más largo. Puede ser, por ejemplo, una parte de un FMS. Una celda puede ser segregada debido a ruido, requerimientos químicos, requerimientos de materias primas, o tiempo de ciclos de manufactura. El aspecto flexible de una celda flexible de manufactura indica que la celda no está restringida a sólo un tipo de parte o proceso, mas puede acomodarse fácilmente a distintas partes y productos, usualmente dentro de familias de propiedades físicas y características dimensionales similares.

Un FMC es un centro simple o un pequeño conjunto de máquinas que unidas producen una parte, subensamble o producto. Una de las distinciones entre una celda y un sistema es la falta de grandes manipuladores de material entre las máquinas de una celda. Las máquinas en una celda están usualmente ubicadas de manera circular, muchas veces con un robot en el centro, el cual mueve las partes de máquina en máquina. El conjunto de máquinas en una celda se complementa para efectuar una actividad básicamente relacionada, como mecanizado, taladrado, terminación superficial o inspección de una pieza. Un FMS puede contener múltiples celdas, las cuales pueden realizar diferentes y variadas funciones en cada celda o en una máquina o centro en particular.

Algunos empresarios han manifestado que el primer beneficio de FMC es en el área de control de la producción. Las celdas reducen el tiempo de proceso y el inventario. Además, moviendo varios procesos a una celda, se logra que muchas órdenes de producción se consoliden en una sola orden. De esta manera se programa mejor la producción, así como se disminuyen los movimientos de material, si se usa en conjunto los principios JIT.

Las celdas de mecanizado son generalmente mas baratas para instalar y desarrollar, permitiendo al usuario implementar tecnología de manufactura flexible de manera gradual. La opinión actual de muchos usuarios de FMC es “más simple es mejor”. Los empresarios manufactureros están implementando celdas flexibles de manufactura, y luego integrando las celdas, pero sin las uniones forzadas e interdependencias de un FMS totalmente operativo. Varios usuarios FMS no han logrado nunca una total funcionalidad en sus sistemas, debido a funcionamiento impreciso o falta de comunicación. El software FMS es uno de los más grandes problemas para estos usuarios. Es por esto que la tendencia hoy en día apunta a la implementación de celdas flexibles.

En la planeación de la instalación de un FMC, varias áreas deben ser tomadas en consideración:

- Área de trabajo directo: Selección de máquinas que funcionarán sin operador, minimización de tiempos de preparación y tiempo perdido
- Área de trabajo indirecto: Inspección, manejo y envíos
- Área de máquinas: Herramientas, enfriadores y lubricantes
- Área de manejo de materiales y papeleo: Movimientos de partes, programación de trabajos, tiempos perdidos

Los programas de simulación para celdas ocupan elementos de ambos tipos de simulación detallados anteriormente, pues en la fase inicial usan una simulación discreta para luego usar una continua. Este tipo particular de simulación se denomina simulación de celda de trabajo.

El control de las operaciones de los centros de mecanizado, son manejados por una unidad central de procesamiento (CPU). Los datos programados son ingresados y modificados, y la ubicación y estado de los pallets es mostrado en tiempo real. La programación de tiempo, el número de programas requeridos y el total acumulado de mecanizados incompletos están también a la mano. Algunos controladores también manejan la selección de herramientas, el monitoreo de las condiciones de corte y la generación de rutas óptimas para las herramientas.

Funcionalmente, el sistema de control debe ser capaz de lo siguiente:

1. Monitoreo de equipos: Se extiende así la capacidad del operador
2. Monitoreo de alarma: Detecta y reporta condiciones de error, y responde con acciones alternativas automáticamente
3. Administración de programas: Permite guardado, carga y descarga de programas e instrucciones para equipos programables o manuales
4. Control de producción: Analiza el trabajo en proceso y optimiza con esos datos el despacho de piezas terminadas

Las celdas flexibles han encontrado importantes aplicaciones en todo tipo de empresas, logrando mejoras del siguiente orden:

- En mecanizado: 30% de disminución en tiempo muerto y un 55 a 85% de aumento en la utilización de máquinas
- Con utilización de robots: Casi 100% de aumento en la producción y un 75% de ahorro en el tiempo de producción

La necesidad de continuas y largas corridas de productos estándar puede requerir la vuelta al sistema de líneas de producción, sin embargo, la necesidad de programación flexible y dinámica, gran variabilidad de productos y personalización de productos para los requerimientos del cliente, llevará a muchas compañías al uso de celdas o sistemas flexibles de manufactura.

Nacidas de la necesidad de competir contra las presiones globales, y hechas posibles por la reestructuración industrial y los rápidos cambios de la tecnología, las celdas flexibles de manufactura están proveyendo soluciones claras a muchos empresarios manufactureros. Muchos observadores de la industria ven con buenos ojos el futuro - un futuro en el que las FMCs no sólo van a solucionar difíciles problemas de manufactura, sino también van a servir como el peldaño a los FMSs, así como a las "fábricas del futuro".

1.1 PROCESOS DE MANUFACTURA

Los procesos de manufactura pueden dividirse en dos tipos básicos: 1) operaciones de proceso y 2) operaciones de ensamble. Una operación de proceso transforma un material de trabajo de una etapa a otra más avanzada, que lo sitúa cerca del estado final deseado para el producto. Esto le agrega valor al cambiar la geometría, las propiedades o la apariencia del material inicial. Por lo general, las operaciones de proceso se ejecutan sobre partes discretas de trabajo, pero algunas de ellas se aplican también a

artículos ensamblados. Una *operación de ensamble* une dos o más componentes para crear una nueva entidad llamada ensamble, subensamble o cualquier otra manera que se refiera al proceso de unir (por ejemplo a un ensamble soldado se le llama *conjunto soldado*). En la figura 1.2 se presenta una clasificación de procesos de manufactura. Algunos de estos procesos usados en la manufactura moderna se remontan a la antigüedad

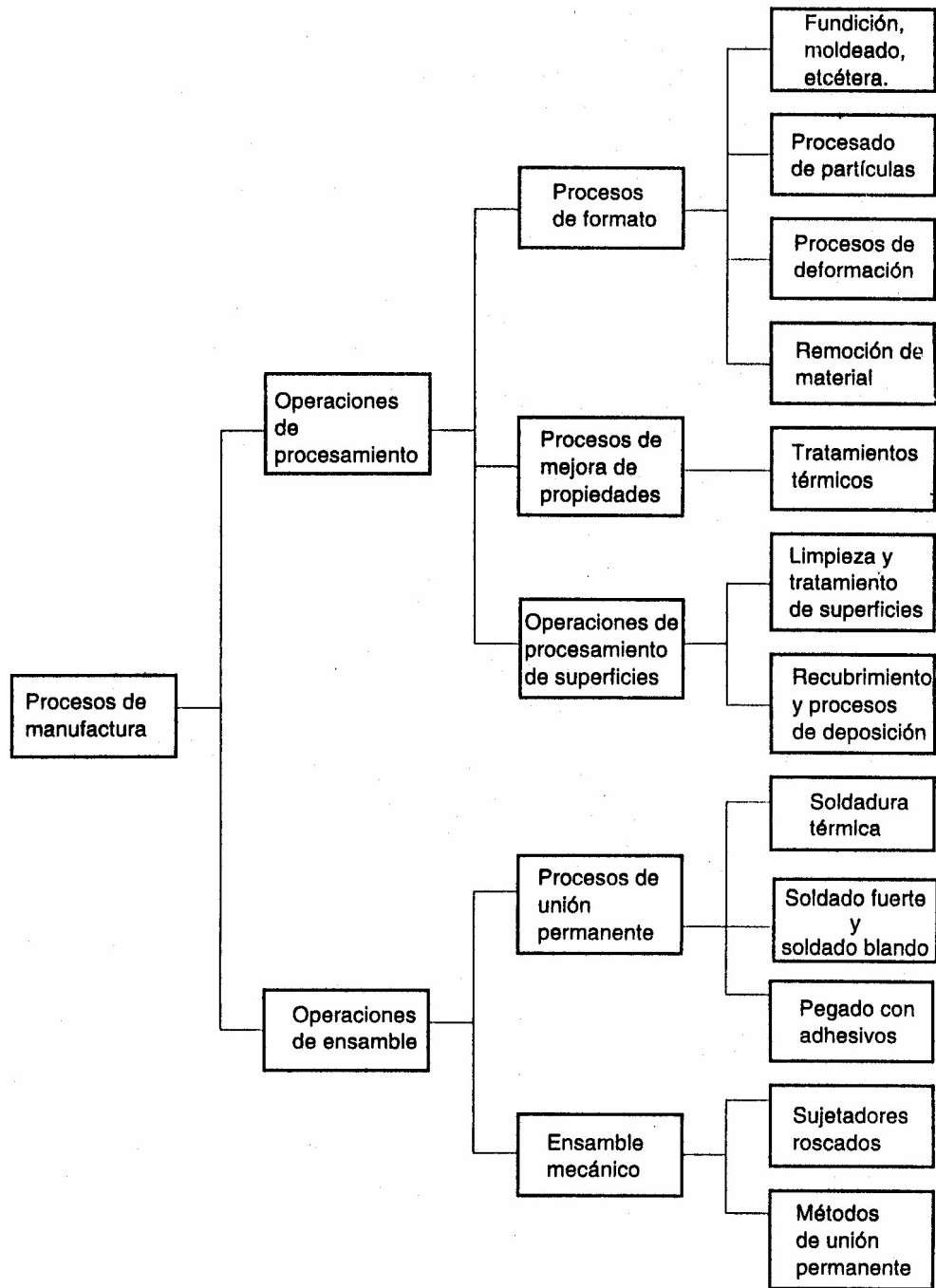


Figura 1.2 Clasificación de procesos de manufactura

1.1.1 OPERACIONES DE PROCESO

Una *operación de proceso* utiliza energía para alterar la forma, las propiedades físicas o el aspecto de una pieza de trabajo a fin de agregar valor al material. Las formas de energía incluyen la mecánica, térmica, eléctrica o química. La energía se aplica de forma controlada mediante la maquinaria y su herramienta. También puede requerirse la energía humana, pero los seres humanos generalmente se dedican a controlar las máquinas, a examinar las operaciones, a cargar y descargar partes antes y después de cada ciclo de operación. Un modelo general de las operaciones de proceso se ilustra en la figura 1.1(a): el material se alimenta en el proceso, la maquinaria y las herramientas aplican la energía para transformar el material, y la pieza terminada sale del proceso. Como se muestra en dicho modelo, la mayoría de las operaciones de producción producen desechos o desperdicios, ya sea como un aspecto natural del proceso (por ejemplo, material removido en maquinado) o en la forma de ocasionales piezas defectuosas. Un objetivo importante en la manufactura es la reducción del desperdicio en cualquiera de estas formas.

Comúnmente se requiere más de una operación de proceso para transformar el material inicial a su forma final. Las operaciones se realizan en una sucesión particular que se requiera para lograr la geometría y las condiciones definidas por las especificaciones de diseño.

Se distinguen tres categorías de operaciones de proceso: 1) operaciones de formado, 2) operaciones para mejorar propiedades y 3) operaciones de procesado de superficies. Las *operaciones de formado* alteran la geometría del material inicial de trabajo mediante diversos métodos que incluyen los procedimientos comunes de fundición, forjado y maquinado. Las operaciones para *mejorar propiedades* agregan valor al material con la mejora de sus propiedades físicas sin cambiar su forma; el tratamiento térmico es el ejemplo más común. Las operaciones de *procesado de superficies* tienen por objeto limpiar, tratar, revestir o depositar materiales en la superficie exterior de la pieza de trabajo; ejemplos comunes son la electrodeposición y la pintura que se aplican para proteger la superficie o para mejorar su aspecto.

Procesos de formado La mayoría de los procesos de formado aplican calor, fuerza mecánica o una combinación de ambas para efectuar un cambio en la geometría del material de trabajo. Hay diversas formas de clasificar los procesos de formado. La clasificación empleada en este libro se basa en el estado inicial del material e incluye cuatro categorías:

1. Fundición, moldeado y otros procesos en los que el material inicial es un *líquido* calentado o *semifluido*.
2. *Procesado de partículas*: el material inicial es un polvo que se forma y calienta para darle una geometría deseada.
3. *Procesos de deformación*: el material inicial es un *sólido dúctil* (usualmente metal) que se deforma para formar la pieza.
4. *Procesos de remoción de material*: el material inicial es un sólido (dúctil o frágil) del cual se quita material para que la pieza resultante tenga la geometría deseada.

En la primera categoría, el material inicial se calienta lo suficiente para transformarlo en un líquido o llevarlo a un estado altamente plástico (semifluido). Casi todos los materiales pueden procesarse de esta manera. Todos los metales, los vidrios cerámicos y los plásticos pueden ser calentados a temperaturas suficientemente altas para convertirlos en líquidos. El material en forma líquida o semifluida, se vierte o es forzado a fluir en una cavidad de un molde para dejar que se solidifique, tomando así una forma igual a la de la cavidad. Los procesos que operan de esta forma se llaman fundición y moldeo. *Fundición* es el nombre usado para metales y *moldeo* es el término de uso común para plásticos. El trabajo en vidrio implica formar la pieza mientras éste se encuentra en un estado semifluido caliente, usando una variedad de técnicas que incluyen la fundición y el moldeo. Los materiales compuestos en matriz de polímeros se forman también mientras se encuentran en una condición fluida; algunos de los procesos son los mismos que se usan para los plásticos, mientras que otros son considerablemente más complicados. Esta categoría de procesos de formado se muestra en la figura 1.3.

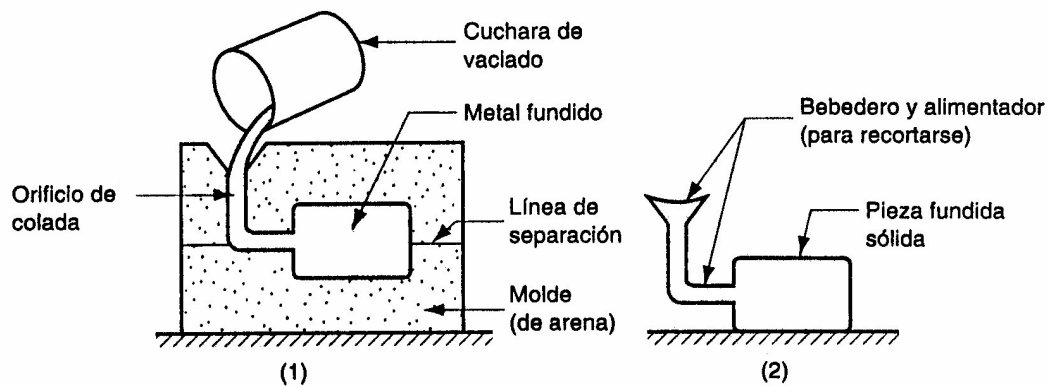


Figura 1.3 Los procesos de fundición y moldeo parten de un material al que se ha calentado hasta un estado fluido o semifluido. El proceso consiste en (1) vaciado del fluido en la cavidad de un molde y (2) dejar enfriar el fluido hasta su total solidificación y remoción del molde.

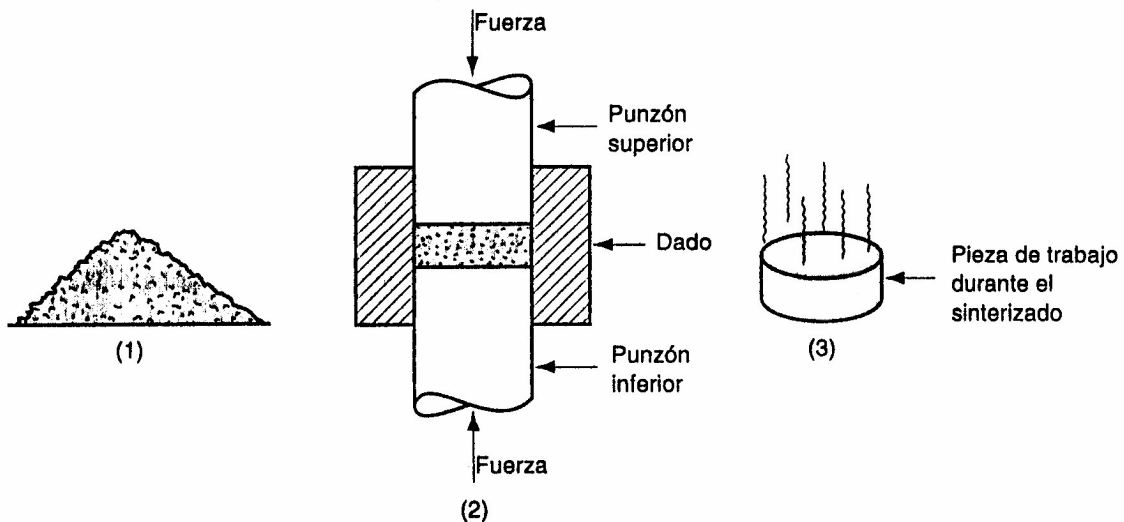


Figura 1.4 Procesado de partículas: (1) el material inicial es polvo; el proceso normal consiste en (2) prensado y (3) sinterizado.

En el *procesamiento de partículas*, los materiales iniciales son polvos de metales o polvos cerámicos. Aunque estos dos materiales son bastantes diferentes, los procesos para formarlos en el procesamiento de partículas son muy similares; la técnica común involucra prensado y sinterizado, como se ilustra en la figura 1.4, en que el polvo es primeramente prensado en la cavidad de un dado a muy alta presión. Esto ocasiona que el polvo tome la forma de la cavidad, pero la pieza así compactada carece de la fortaleza suficiente para cualquier aplicación útil. Para aumentar su fortaleza, la parte se calienta a una temperatura por debajo de su punto de fusión, lo cual ocasiona que las partículas individuales se unan. La operación de calentamiento se llama sinterizado.

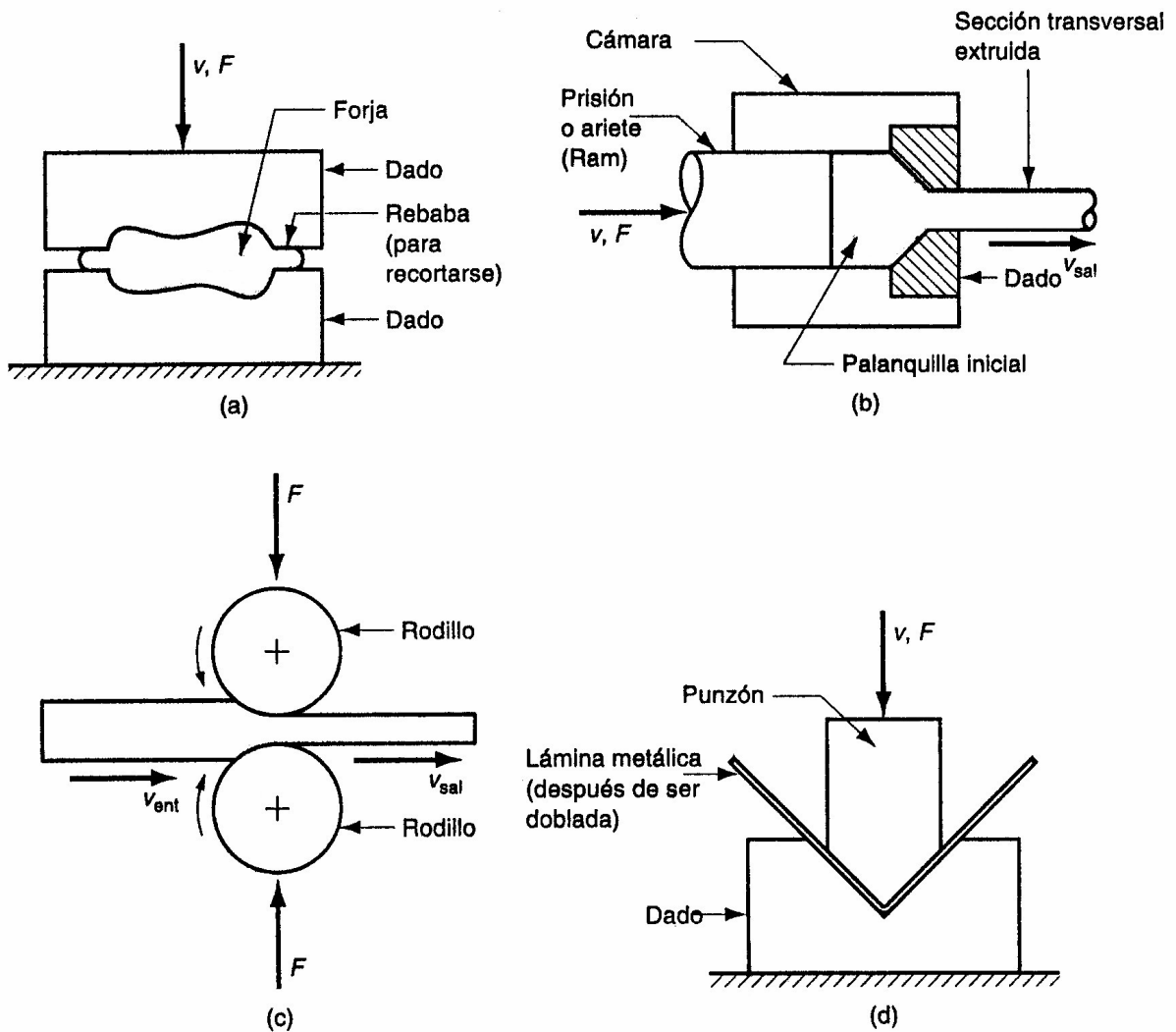


Figura 1.5 Algunos procesos comunes de deformación: (a) *forjado*, en donde las dos partes de un dado comprimen la pieza de trabajo para que ésta adquiera la forma de la cavidad del dado; (b) *extrusión*, en la cual se fuerza una palanquilla a fluir a través del orificio de un dado, para que tome la forma de la sección transversal del orificio; (c) *laminado*, en el cual una placa o palanquilla inicial es comprimida entre dos rodillos opuestos para reducir su espesor; y (d) doblado de una chapa metálica. Los símbolos v y F indican movimiento y fuerza aplicada, respectivamente.

En los *procesos de deformación*, la pieza inicial se forma por la aplicación de fuerzas que exceden la resistencia del material a la deformación. Para que el material pueda formarse de esta manera debe ser lo suficientemente dúctil para evitar la fractura durante la deformación. A fin de aumentar su ductilidad (y por otras razones), el material de trabajo frecuentemente se calienta con anterioridad a una temperatura por debajo de su punto de fusión. Los procesos de deformación se asocian estrechamente con el trabajo de metales, e incluyen operaciones tales como *forjado*, *extrusión* y *laminado*, las cuales se muestran en la figura 1.5. También se incluyen dentro de esta categoría los procesos con chapas metálicas como el *doblado* que se ilustra en la parte (d) de la figura.

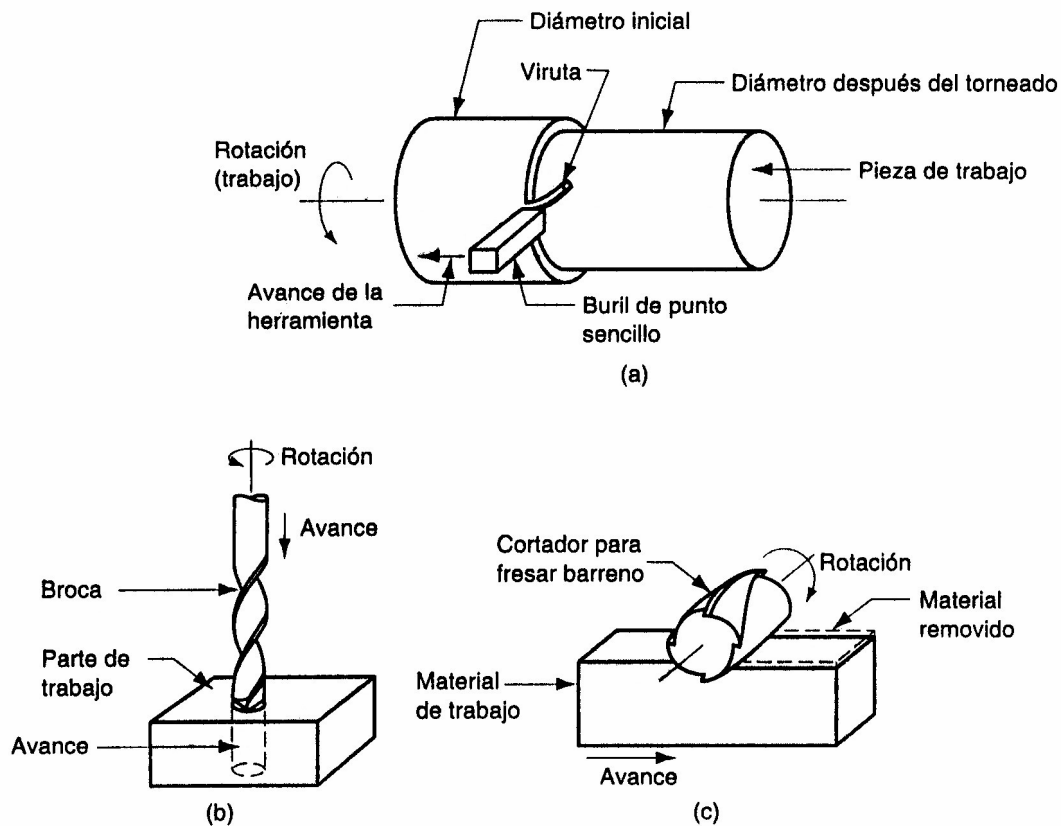


Figura 1.6 Operaciones comunes de maquinado; (a) *torneado*, en el cual un buril de punto sencillo remueve material de una pieza de trabajo giratoria para reducir su diámetro; (b) *taladrado*, en donde una broca rotatoria avanza dentro del material para generar un barreno redondo; (c) *fresado*, en el cual se hace avanzar un material de trabajo por medio de un cortador giratorio con filos múltiples.

Los *procesos de remoción de material* son operaciones que quitan el exceso de material de la pieza de trabajo inicial para que la forma resultante adquiera la geometría deseada. Los procesos más importantes en esta categoría son operaciones de *maquinado* como *torneado*, *taladrado* y *fresado* (figura 1.6). Estas operaciones de corte son las que más se aplican a metales sólidos. Se ejecutan utilizando herramientas de corte que son más duras y más fuertes que el metal de trabajo. El *esmerilado* es otro proceso común en esta categoría, en el cual se usa una rueda abrasiva de esmeril para quitar el material

excedente. Hay otros procesos de remoción de material denominados *no tradicionales* porque no usan herramientas tradicionales de corte y abrasión. En su lugar emplean rayo láser, haces de electrones, erosión química, descargas eléctricas y energía electroquímica.

Es conveniente minimizar los desechos y el desperdicio al convertir una pieza de trabajo inicial en su forma subsecuente. Ciertos procesos de formado son más eficientes que otros desde el punto de vista de la conservación del material. Los procesos de remoción de material (por ejemplo, maquinado) tienden a desperdiciar mucho material simplemente por la forma en que trabajan, el material que quitan de la pieza de trabajo inicial es un desperdicio. Otros procesos, como ciertas operaciones de colado y moldeado, convierten en casi un 100% el material inicial en producto final. Los procesos de manufactura que transforman casi toda la materia prima en producto terminado y no requieren ningún maquinado adicional para lograr la forma final de la pieza de trabajo se llaman *procesos de forma neta*. Los procesos que requieren un maquinado mínimo para producir la forma final se llaman *procesos deforma casi neta*.

Procesos de mejora de propiedades El segundo tipo en importancia de procesamiento de materiales se realiza para mejorar las propiedades físicas o mecánicas del material de trabajo. Estos procesos no alteran la forma de la parte, excepto en algunos casos de forma no intencional. Los procesos más importantes de mejora de propiedades involucran *tratamientos térmicos* que incluyen diversos procesos de recocido y resistencia para metales y vidrio. El *sinterizado* de polvos cerámicos y de metales es también un tratamiento térmico que hace resistente una pieza de polvo metálico prensado.

Operaciones de procesado de superficies Las operaciones de procesado de superficie incluyen 1) limpieza, 2) tratamientos de superficie, y 3) procesos de recubrimiento y deposición de películas delgadas. La *limpieza* incluye procesos mecánicos y químicos para quitar la suciedad, la grasa y otros contaminantes de la superficie. Los *tratamientos de superficie* incluyen tratamientos mecánicos como el chorro de perdigones y chorro de arena, así como procesos físicos como la difusión y la implantación iónica. Los procesos de *recubrimiento y deposición de películas delgadas* aplican un revestimiento de material a la superficie exterior de la pieza de trabajo. Los procesos comunes de revestimiento incluyen el *electrodepositado*, el *anodizado* del aluminio, los *recubrimientos orgánicos* (conocidos como pintura) y el esmalte de porcelana. Los procesos de deposición de películas delgadas incluyen la *deposición química y física de vapores* para formar revestimientos sumamente delgados de sustancias diversas.

Las operaciones de recubrimiento se aplican más comúnmente a partes metálicas que a los productos cerámicos o a los polímeros. En muchos casos se aplican recubrimientos sobre ensamblajes; por ejemplo, las carrocerías soldadas de automóviles se pintan y recubren. Existen buenas razones para aplicar recubrimientos a la superficie de una parte o producto: 1) protección contra la corrosión, 2) color y apariencia, 3) resistencia al desgaste y 4) preparación para procesamientos subsiguientes.

1.1.2 OPERACIONES DE ENSAMBLE

El segundo tipo básico de operaciones de manufactura es el ensamble, en el cual dos o más partes separadas se unen para formar una nueva entidad, los componentes de ésta quedan unidos en forma permanente o semipermanente. Los procesos de unión permanente incluyen: la *soldadura térmica*, la *soldadura fuerte*, la *soldadura blanda* y el *pegado con adhesivos*. Estos procesos forman una unión entre componentes que no puede deshacerse fácilmente. Los métodos de *ensamble mecánico* aseguran dos o más partes en una unión que puede desarmarse cuando convenga; el uso de tornillos, pernos, tuercas y demás *sujetadores roscados* son métodos tradicionales importantes dentro de esta categoría. El remachado, los ajustes a presión y los *encajes de expansión* son otras técnicas de *ensamble mecánico* que forman uniones más permanentes.

En electrónica se usan métodos especiales de ensamble, algunos de los cuales son iguales a los anteriores o adaptaciones de los mismos. Por ejemplo, la soldadura blanda se usa ampliamente en ensamblajes electrónicos, los cuales están relacionados directamente con el armado de componentes (como los circuitos integrados encapsulados) en las tarjetas de circuitos impresos para producir los complejos circuitos que se usan en muchos productos actuales.