

1

INTRODUCCIÓN Y PANORAMA DE LA MANUFACTURA

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

- 1.1 ¿Qué es la manufactura?
 - 1.1.1 Definición de manufactura
 - 1.1.2 Las industrias manufactureras y sus productos
 - 1.1.3 Capacidad de manufactura
- 1.2 Los materiales en la manufactura
 - 1.2.1 Metales
 - 1.2.2 Cerámicos
 - 1.2.3 Polímeros
 - 1.2.4 Compuestos
- 1.3 Procesos de manufactura
 - 1.3.1 Operaciones de procesamiento
 - 1.3.2 Operaciones de ensamblado
 - 1.3.3 Máquinas de producción y herramientas
- 1.4 Sistemas de producción
 - 1.4.1 Instalaciones de producción
 - 1.4.2 Sistemas de apoyo a la manufactura
- 1.5 Organización del libro

La manufactura es importante en lo tecnológico, económico e histórico. La *tecnología* se define como la aplicación de la ciencia para proporcionar a la sociedad y a sus miembros aquellos objetos que necesitan o desean. La tecnología influye de muchas formas en nuestras vidas diarias, directa e indirectamente. Considere la lista de productos de la tabla 1.1. Representan distintas tecnologías que ayudan a los miembros de nuestra sociedad a vivir mejor. ¿Qué tienen en común esos productos? Todos son manufacturados. Esas maravillas tecnológicas no estarían disponibles para la sociedad si no pudieran manufacturarse. La manufactura es el factor esencial que hace posible a la tecnología.

En cuanto a la economía, la manufactura es un medio importante con el que una nación crea bienestar material. En Estados Unidos, las industrias manufactureras generan alrededor de 20% del producto interno bruto (PIB). Los recursos naturales de un país, como las tierras agrícolas, depósitos minerales y reservas petrolíferas, también crean bienestar.

TABLA 1.1 Productos que representan distintas tecnologías, la mayor parte de los cuales influyen a casi todas las personas.

Automóvil deportivo utilitario (ADU) con tracción en las cuatro ruedas, bolsas de aire, frenos antibloqueo, control de manejo y radio AM-FM con reproductor de discos compactos	Escáner óptico Foco incandescente Fotocopiadora Horno de microondas Impresora de inyección de tinta	Raqueta de tenis de materiales compuestos Reloj de pulsera de cuarzo Reproductor de cintas de video Reproductor de discos compactos Reproductor digital de discos
Avión supersónico	Juegos de video	Robot industrial
Bolígrafo	Latas de fácil apertura	Silla de plástico para el jardín, moldeada en una pieza
Cajero automático	Lavadora de trastos	Sistema de seguridad para el hogar
Calculadora electrónica portátil	Lavadora y secadora	Teléfono celular
Cámara digital	Lentes de contacto	Televisión a colores de pantalla grande
Circuito integrado	Máquina de fax	Zapatos deportivos
Computadora personal (PC)	Máquina para el diagnóstico médico por medio de imágenes de resonancia magnética (IRM)	
Disco compacto (CD)		
Disco de video digital (DVD)		
Disquete de alta densidad para PC	Podadora autopropulsada	

En Estados Unidos, la agricultura, minería e industrias similares generan menos del 5% del PIB. La construcción y las empresas públicas producen algo más del 5%. Y el resto corresponde a industrias de servicios, entre las que se incluyen el menudeo, el transporte, la banca, las comunicaciones, la educación y el gobierno. El sector de los servicios agrupa el 70%, aproximadamente, del PIB de Estados Unidos. Tan sólo el gobierno de ese país genera tanto PIB como el sector de manufactura, pero los servicios gubernamentales no crean riqueza. En la economía moderna internacional, una nación debe poseer una base fuerte de manufactura (o tener recursos naturales significativos) si ha de contar con una economía fuerte y estándares de vida elevados para su pueblo.

Históricamente, por lo general se subestima la importancia de la manufactura en el desarrollo de la civilización. Pero a lo largo de la historia, las culturas humanas que han sido mejores para fabricar objetos han tenido más éxito. Al elaborar herramientas mejores, tuvieron destrezas y armas mejores. Las mejores destrezas les permitieron vivir mejor. Con armas mejores pudieron conquistar a las culturas vecinas en épocas de conflicto. En la Guerra Civil de Estados Unidos (1861-1865), una de las grandes ventajas del Norte sobre el Sur fue su fortaleza industrial, es decir, su capacidad de manufactura. En la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), Estados Unidos superó en producción a Alemania y Japón —ventaja decisiva para triunfar en la guerra. En gran parte, la historia de la civilización es la historia de la capacidad de la humanidad para fabricar cosas.

En este capítulo de apertura, se consideran temas generales sobre la manufactura. ¿Qué es la manufactura? ¿Cómo se organiza en la industria? ¿Cuáles son los materiales, procesos y sistemas con los que se logra la producción?

1.1 ¿QUÉ ES LA MANUFACTURA?

La palabra *manufactura* se deriva de las palabras latinas *manus* (mano) y *factus* (hacer); la combinación de ambas significa *hecho a mano*. La palabra *manufactura* tiene varios siglos de antigüedad, y “hecho a mano” describe en forma adecuada los métodos manuales que se utilizaban cuando se acuñó la expresión.¹ La mayor parte de la manufactura moderna se lleva a cabo por medio de maquinaria automatizada y controlada por computadora que se supervisa manualmente (véase la nota histórica 1.1).

¹ Alrededor de 1567 d. C., apareció por primera vez la palabra *manufactura* como sustantivo, y hacia 1863 d. C., apareció como verbo.

Nota histórica 1.1 Historia de la manufactura

La historia de la manufactura puede dividirse en dos partes: 1) el descubrimiento y la invención por parte del hombre de los materiales y los procesos para fabricar cosas, y 2) el desarrollo de los sistemas de producción. Los materiales y procesos para hacer objetos preceden a los sistemas en varios milenios. Algunos de dichos procesos —fundición, trabajo con martillo (forjar), y rectificado— se remontan a 6 000 años o más. La fabricación temprana de implementos y armas se llevó a cabo más mediante destrezas y oficios, que mediante la manufactura en el sentido actual. Los antiguos romanos tenían lo que podrían llamarse “fábricas” para producir armas, pergaminos, cerámica y vidrio, así como otros productos de esa época, pero los procedimientos se basaban por mucho en el trabajo con las manos.

En este momento se examinarán los aspectos de los sistemas de manufactura, y los materiales y procesos se dejarán para la nota histórica 1.2. La expresión **sistemas de manufactura** se refiere a las formas de organizar a las personas y a los equipos de modo que la producción se lleve a cabo con más eficiencia. Son varios los sucesos históricos y descubrimientos que tuvieron un efecto grande en el desarrollo de los sistemas modernos de manufactura.

Es claro que un descubrimiento significativo fue el principio de la **división del trabajo**, es decir, dividir el trabajo total en tareas, y hacer que los trabajadores individuales se convirtieran en especialistas en hacer solo una. Este principio se había practicado durante siglos, pero al economista Adam Smith (1723-1790) se le ha adjudicado el crédito por haber sido el primero en explicar su significado económico en su obra **La riqueza de las naciones**.

La **Revolución Industrial** (alrededor de 1760 a 1830) tuvo en diversos modos un efecto grande sobre la producción. Marcó el cambio entre una economía basada en la agricultura y el oficio manual, a otra con base en la industria y la manufactura. El cambio comenzó en Inglaterra, donde se inventó una serie de máquinas y la potencia del vapor reemplazó a la del agua, a la del viento y a la animal. Esas ventajas dieron a la industria británica la delantera sobre las de otras naciones, e Inglaterra trató de impedir la exportación de las tecnologías nuevas. Sin embargo, finalmente la revolución se extendió a otros países europeos y a Estados Unidos. Varios inventos de la revolución industrial contribuyeron mucho al desarrollo de la manufactura: 1) la **máquina de vapor de Watt**, una tecnología nueva de generación de energía para la industria, 2) las **máquinas herramienta**, que comenzaron con la perforadora de John Wilkinson, alrededor de 1775 (véase la nota histórica 22.1); 3) la **hiladora con varios husillos, el telar mecánico**, y otras para la industria textil, que permitieron incrementos significativos de la productividad; y 4) el **sistema fabril**, forma nueva de organizar números grandes de trabajadores de la producción con base en la división del trabajo.

En tanto Inglaterra lideraba la revolución industrial, en Estados Unidos surgía un concepto importante: la manufactura de **piezas intercambiables**. Se concede gran parte

del crédito por este concepto a Eli Whitney (1765-1825), aunque su importancia ha sido reconocida a través de otros [6]. En 1797, Whitney negoció un contrato para producir 10 000 mosquetes para el gobierno de Estados Unidos. En esa época, la manera de fabricar armas era artesanal, fabricar cada pieza por separado para un arma en particular, y luego ajustarlas a mano. Cada mosquete era único, y el tiempo de fabricación era considerable. Whitney creía que los componentes podían hacerse con la exactitud suficiente para permitir su ensamblado sin ajustarlas. Después de varios años de desarrollo en su fábrica de Connecticut, en 1801 viajó a Washington para demostrar el principio. Puso los componentes de 10 mosquetes ante funcionarios gubernamentales, entre ellos Thomas Jefferson, y procedió a seleccionar piezas al azar para ensamblar las armas. No se requirió sensibilidad o ajuste especial, y todas las armas funcionaron a la perfección. El secreto detrás de su logro era el conjunto de máquinas, refacciones y medidores especiales que había perfeccionado en su fábrica. La manufactura de piezas intercambiables requirió muchos años de desarrollo antes de convertirse en una realidad práctica, pero revolucionó los métodos de manufactura y es un prerrequisito para la producción en masa. Debido a que su origen tuvo lugar en Estados Unidos, la producción de piezas intercambiables se conoció como el **sistema americano** de manufactura.

De su segunda mitad y hasta al final del siglo XIX se presenció la expansión de los ferrocarriles, barcos de vapor y otras máquinas que crearon la necesidad creciente de hierro y acero. Se crearon métodos nuevos de producción para satisfacer esa demanda (véase la nota histórica 6.1). Asimismo, durante ese periodo se inventaron varios productos de consumo, entre éstos: la máquina de coser, la bicicleta y el automóvil. A fin de satisfacer la demanda masiva de esos artículos, se requirieron métodos más eficientes de producción. Algunos historiadores identifican los desarrollos durante ese periodo como la **Segunda Revolución Industrial**, que se caracterizó en términos de sus efectos sobre los sistemas de manufactura a través de lo siguiente: 1) producción en masa, 2) movimiento de la administración científica, 3) líneas de ensamblado, y 4) electrificación de las fábricas.

A finales del siglo XIX, surgió en Estados Unidos el movimiento de la **administración científica**, en respuesta a la necesidad de planear y controlar las actividades de un número en aumento de trabajadores. Los líderes del movimiento incluían a Frederick W. Taylor (1856-1915), Frank Gilbreth (1868-1924) y su esposa Lillian (1878-1972). La administración científica tenía varias características [2]: 1) el **estudio de movimientos**, motivado por descubrir el método mejor para ejecutar una tarea dada; 2) el **estudio de tiempos**, para establecer estándares de trabajo para cierta labor; 3) el uso amplio de **estándares** en la industria; 4) el **sistema de pago a destajo** y otros planes similares de incentivos del trabajo; y 5) el uso de conjuntos de datos,

conservación de registros y contabilidad de costos en las operaciones fabriles.

Henry Ford (1863-1947) introdujo la **línea de ensamblado** en 1913, en su planta de Highland Park (véase la nota histórica 41.1). La línea de ensamblado hizo posible la producción en masa de productos de consumo complejos. Sus métodos permitieron a Ford vender un automóvil modelo T a un precio tan bajo como \$500, lo que hizo que poseer un coche fuera algo factible para un segmento grande de la población estadounidense.

En 1881, se construyó en la ciudad de Nueva York la primera planta de generación de energía eléctrica, y

pronto se utilizaron los motores eléctricos como fuente de energía para operar la maquinaria de las fábricas.

Éste era un sistema que convenía más que las máquinas de vapor para distribuir energía, pues para llevarla a las máquinas se necesitaban bandas de transmisión. Alrededor de 1920, la electricidad había sustituido al vapor como la fuente principal de energía de las fábricas de Estados Unidos. El siglo xx fue la época en la que hubo más avances tecnológicos que en todos los siglos pasados juntos. Muchos de esos desarrollos dieron origen a la **automatización** de la manufactura.

1.1.1 Definición de manufactura

Como campo de estudio en el contexto moderno, la manufactura se puede definir de dos maneras: una tecnológica y la otra económica. En el sentido tecnológico, la **manufactura** es la aplicación de procesos físicos y químicos para alterar la geometría, propiedades o apariencia de un material de inicio dado para fabricar piezas o productos; la manufactura también incluye el ensamble de piezas múltiples para fabricar productos. Los procesos para llevar a cabo la manufactura involucran una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual, como se ilustra en la figura 1.1a). Casi siempre, la manufactura se ejecuta como una secuencia de operaciones. Cada una de éstas lleva al material más cerca del estado final que se desea.

En el sentido económico, la **manufactura** es la transformación de los materiales en artículos de valor mayor por medio de uno o más operaciones de procesamiento o ensamblado, según lo ilustra la figura 1.1b). La clave es que la manufactura **agrega valor** al material cambiando su forma o propiedades, o mediante combinar materiales distintos también alterados. El material se habrá hecho más valioso por medio de las operaciones de manufactura ejecutadas en él. Cuando el mineral de hierro se convierte en acero se le agrega valor. Si la arena se transforma en vidrio se le añade valor. Cuando el petróleo se refina y se convierte en plástico su valor aumenta. Y cuando el plástico se modela en la geometría compleja de una silla de jardín, se vuelve más valioso.

Es frecuente que las palabras manufactura y producción se usen en forma indistinta. El punto de vista del autor es que la producción tiene un significado más amplio que la manufactura. Para ilustrar esto, se puede utilizar la expresión “producción de petróleo crudo”, pero la frase “manufactura de petróleo crudo” parece fuera de lugar. Sin embargo,

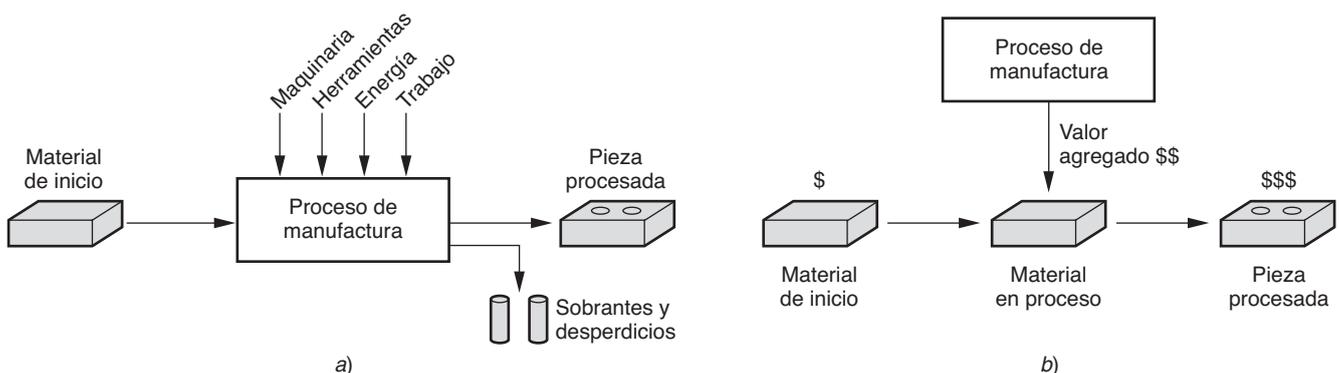


FIGURA 1.1 Dos maneras de definir manufactura: a) como proceso técnico, y b) como proceso económico.

cuando se emplea en el contexto de productos tales como piezas metálicas o automóviles, cualquiera de ambas palabras es aceptable.

1.1.2 Las industrias manufactureras y sus productos

La manufactura es una actividad importante, pero no se lleva a cabo sólo por sí misma. Se ejecuta como una actividad comercial de las compañías que venden productos a los clientes. El tipo de manufactura que una empresa realiza depende de la clase de producto que fabrica. Esta relación se va a analizar primero con el examen de los tipos de industrias manufactureras, y después con la identificación de los productos que generan.

Industrias manufactureras La industria consiste en empresas y organizaciones que producen o suministran bienes y servicios. Las industrias se clasifican como primarias, secundarias o terciarias. Las **industrias primarias** cultivan y explotan recursos naturales, tales como la agricultura y minería. Las **industrias secundarias** toman las salidas de las primarias y las convierten en bienes de consumo y capital. En esta categoría, la manufactura es la actividad principal, pero también quedan incluidas las construcciones y la generación de energía. Las **industrias terciarias** constituyen el sector de servicios de la economía. En la tabla 1.2 se presenta una lista de industrias específicas de dichas categorías.

Este libro se dedica a las industrias secundarias de la tabla 1.2, que incluyen las compañías que se dedican a la manufactura. Sin embargo, la Clasificación Internacional Estándar de Industrias, que se empleó para compilar la tabla 1.2, incluye varias industrias cuyas tecnologías de producción no se estudian en este texto; por ejemplo, las bebidas, los productos químicos y los alimentos procesados. En el libro, manufactura significa producción de **hardware**, que va desde tuercas y tornillos hasta computadoras digitales y armas. Se incluyen productos plásticos y cerámicos, pero se excluyen la ropa, las bebidas, los productos químicos, la comida y el software. En la tabla 1.3 se presenta nuestra lista corta de industrias manufactureras.

Productos manufacturados Los productos finales fabricados por las industrias que se enlistan en la tabla 1.3 se dividen en dos clases principales: bienes de consumo y bienes de capital. Los **bienes de consumo** son productos que los consumidores compran en forma directa, como autos, computadoras personales, televisiones, neumáticos y raquetas de tenis, entre muchos otros más. Los **bienes de capital** son aquellos que adquieren otras compañías para producir bienes y prestar servicios. Algunos ejemplos de bienes de capital incluyen aviones, computadoras grandes, equipo ferroviario, máquinas herramienta y equipo para la construcción.

TABLA 1.2 Industrias específicas de las categorías primaria, secundaria y terciaria.

Primaria	Secundaria		Terciaria (servicios)	
Agricultura	Aerospacial	Maquinaria pesada	Banca	Legales
Canteras	Alimentos procesados	Materiales para construcción	Bienes raíces	Reparaciones y mantenimiento
Forestal	Aparatos de consumo	Metales procesados	Comercio al mayoreo	Restaurantes
Ganadería	Automotriz	Metalurgia básica	Comercio al menudeo	Salud y cuidados médicos
Minería	Bebidas	Neumáticos y caucho	Educación	Seguros
Pesca	Computadoras	Papel	Entretenimiento	Servicios financieros
Petróleo	Construcción	Plásticos (formados)	Gobierno	Transporte
	Editorial	Productos químicos	Hotel	Turismo
	Electrónica	Refinación de petróleo	Información	
	Equipos	Textiles		
	Farmacéutica	Vestido		
	Instalaciones de generación de energía	Vidrio, cerámicos		
	Madera y muebles			

TABLA 1.3 Industrias de manufactura cuyos materiales, procesos y sistemas se estudian en este libro.

Industria	Productos típicos	Industria	Productos típicos
Aerospacial	Aviones comerciales y militares	Equipos	Maquinaria industrial, equipo ferroviario
Automotriz	Autos, camiones, autobuses, motocicletas	Metales procesados	Piezas maquinadas, acuñación, herramientas
Metalurgia básica	Hierro, acero, aluminio, cobre, etc.	Vidrio, cerámicos	Productos de vidrio, herramientas cerámicos, vajillas
Computación	Computadoras grandes y personales	Maquinaria pesada	Máquinas herramientas, construcción de equipos
Aparatos de consumo	Aparatos domésticos grandes y pequeños	Plásticos (formados)	Plásticos moldeados, extrusiones de plástico
Electrónica	Equipo de audio, televisiones, reproductoras de video	Neumáticos y caucho	Llantas, suelas de calzado, pelotas de tenis

Además de los productos finales, otros artículos manufacturados incluyen los *materiales*, *componentes* y *suministros* que emplean las compañías para fabricar los artículos terminados. Algunos ejemplos de ellos incluyen la lámina de acero, barras de acero, acuñación, piezas maquinadas, plásticos moldeados y extrusiones, herramientas de corte, troqueles, moldes y lubricantes. Así, las industrias manufactureras son una infraestructura compleja con categorías y niveles distintos de proveedores intermedios con quienes el consumidor final nunca tratará.

Este libro por lo general estudia *artículos discretos* —piezas individuales y productos ensamblados— en lugar de aquellos producidos por *procesos continuos*. Un estampado metálico es un producto discreto, pero el rollo de metal laminado del que se fabrica es continuo o semicontinuo. Muchas piezas discretas comienzan como productos continuos o semicontinuos, tales como las extrusiones o el cable eléctrico. Secciones grandes de longitudes casi continuas se cortan al tamaño que se desea. Una refinera de petróleo es un ejemplo aún mejor del proceso continuo.

Cantidad de producción y variedad de productos La cantidad de productos elaborados por una fábrica tiene una influencia importante en la manera en que están organizados su personal, sus instalaciones y sus procedimientos. Las cantidades de producción anual se clasifican en tres categorías: 1) producción *baja*, en el rango de 1 a 100 unidades por año; 2) producción *media*, de 100 a 10 000 unidades anuales; y 3) producción *alta*, de 10 000 a varios millones de unidades. Los límites de los tres rangos son algo arbitrarias (son a juicio del autor). En función de las clases de productos pueden cambiar su orden de magnitud.

La cantidad de producción se refiere al número de unidades de cierto tipo de producto que se producen en un año. Algunas plantas producen una variedad de productos distintos, cada uno de los cuales se hace en cantidades bajas o medias. Otras plantas se especializan en la producción alta de un solo tipo de producto. Es instructivo identificar la variedad de productos como parámetro distintivo de la cantidad de producción. La variedad de productos se refiere a los diseños o tipos distintos de productos que se producen en la planta. Productos diferentes tienen formas y tamaños diferentes; desempeñan funciones distintas; se destinan a mercados distintos; algunos tienen más componentes que otros; y así sucesivamente. Es posible contar el número de tipos distintos de productos fabricados cada año. Cuando el número de tipos de productos de la fábrica es elevado, eso indica una variedad de productos alta.

Existe una correlación inversa entre la variedad de productos y la cantidad de producción, en términos de las operaciones de la fábrica. Si la variedad de los productos de una fábrica es elevada, entonces es probable que su cantidad de producción sea baja; pero si la cantidad de producción es alta, entonces la variedad de productos será baja, como se ilustra con la banda diagonal en la figura 1.2.

Aunque se ha identificado la variedad de productos como un parámetro cuantitativo (número de tipos diferentes de productos que hace la planta o la compañía), éste es mucho menos exacto que la cantidad de producción ya que los detalles en que difieren los diseños

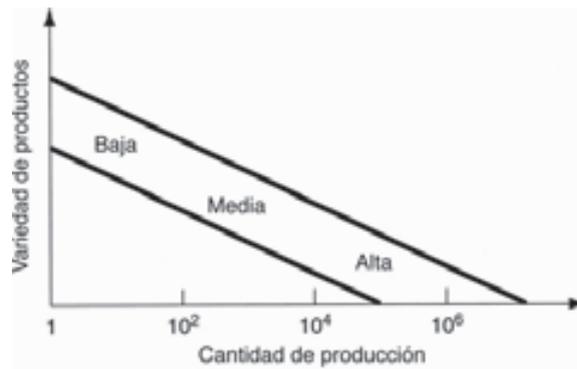


FIGURA 1.2 Relación entre la variedad de productos y la cantidad de producción en la manufactura de productos discretos.

no se capturan sólo con el número de diseños distintos. Las diferencias entre un automóvil y un acondicionador de aire son mucho mayores que entre este último y una bomba de calor. Y dentro de cada tipo de producto existen diferencias entre modelos específicos.

El grado de las diferencias del producto puede ser pequeño o grande, como se manifiesta en la industria automotriz. Cada una de las compañías automotrices de Estados Unidos produce dos o tres modelos de automóvil distintos en la misma planta de ensamblado, aunque los estilos de la carrocería y otras características del diseño son virtualmente las mismas. En plantas distintas, la compañía construye camiones pesados. Para describir dichas diferencias de la variedad de productos, se utilizan los términos “suave” y “dura”. La **variedad suave de productos** ocurre cuando sólo existen diferencias pequeñas en la variedad de productos, como aquellas entre autos fabricados en la misma línea de producción. En un producto ensamblado, la variedad de productos se caracteriza por una proporción elevada de piezas comunes entre los modelos. La **variedad dura de productos** sucede cuando éstos varían en forma sustancial, y hay pocas piezas en común, o ninguna. La diferencia entre un automóvil y un camión es dura.

1.1.3 Capacidad de manufactura

Una planta de manufactura consiste en un conjunto de **procesos** y **sistemas** (y personas, por supuesto) diseñados para transformar cierto rango limitado de **materiales** en productos de valor incrementado. Esos tres bloques constitutivos —materiales, procesos y sistemas— integran la materia de la manufactura moderna. Entre esos factores existe una interdependencia fuerte. Una compañía manufacturera no puede hacer todo. Sólo debe hacer ciertas cosas y hacerlas bien. La **capacidad de manufactura** se refiere a las limitaciones técnicas y físicas de una empresa de manufactura y cada una de sus plantas. Es posible identificar varias dimensiones de dicha capacidad: 1) capacidad tecnológica de proceso, 2) tamaño físico y peso del producto, y 3) capacidad de producción.

Capacidad tecnológica de proceso La **capacidad tecnológica de proceso** de una planta (o compañía) es el conjunto de procesos de manufactura con que dispone. Ciertas plantas realizan operaciones de maquinado, otras convierten lingotes de acero en lámina, y unas más construyen automóviles. Una planta de maquinado no puede laminar acero, y una planta de laminación no puede fabricar autos. La característica subyacente que distingue a esas plantas son los procesos que pueden ejecutar. La capacidad de procesamiento tecnológico se relaciona de cerca con el tipo de material. Ciertos procesos de manufactura se ajustan a ciertos materiales, mientras que otros se adaptan a unos distintos. Al especializarse en determinado proceso o grupo de procesos, la planta se especializa en forma simultánea en ciertos tipos de materiales. Las capacidades tecnológicas de proceso incluyen no sólo los procesos físicos, sino también la experiencia que tiene el personal de la planta en dichas tecnologías. Las compañías deben concentrarse en el diseño y la manufactura de productos que son compatibles con su capacidad tecnológica de proceso.

Limitaciones físicas del producto Un segundo aspecto de la capacidad de manufactura lo impone el *producto físico*. Una planta con un conjunto dado de procesos está limitada en los términos del tamaño y el peso de los productos que pueden alojarse. Los productos grandes y pesados son difíciles de mover. Para hacerlo, la planta debe equiparse con grúas con la capacidad de carga requerida. Piezas y productos pequeños que se fabrican en cantidades grandes se trasladan por medio de bandas u otros medios. La limitante del tamaño y peso de un producto también se extiende a la capacidad física del equipo de manufactura. Las máquinas de producción tienen tamaños distintos. Las más grandes deben utilizarse para procesar piezas grandes. El conjunto del equipo de producción, manejo de materiales, capacidad de almacenamiento y tamaño de planta, debe planearse para los productos que están dentro de cierto rango de tamaño y peso.

Capacidad de producción Una tercera limitante de la capacidad de una planta de manufactura, es la cantidad de producción que puede obtenerse en un periodo de tiempo dado (por ejemplo, mes o año). Es común llamar a dicha limitante de cantidad *capacidad de planta*, o *capacidad de producción*, y se define como la tasa máxima de producción que una planta puede alcanzar en condiciones dadas de operación. Estas condiciones se refieren al número de turnos por semana, horas por turno, niveles de la mano de obra directa, entre otros. Esos factores representan entradas de la planta. Dadas estas entradas, ¿cuál es la salida que puede generar la empresa?

Por lo general, la capacidad de planta se mide en términos de las unidades producidas, tales como las toneladas de acero que produce al año una fundición, o el número de automóviles producido por una planta de ensamblado final. En estos casos, las producciones son homogéneas. En los casos en que las unidades de producción no son homogéneas, otros factores más apropiados de medición, son las horas hombre de capacidad productiva en un taller de maquinado que produce piezas varias.

Los materiales, procesos y sistemas son los bloques constitutivos básicos de la manufactura, y las tres amplias áreas temáticas de este libro. A continuación se dará un panorama de dichos temas.

1.2 LOS MATERIALES EN LA MANUFACTURA

La mayor parte de los materiales para ingeniería se clasifican en una de tres categorías básicas: 1) *metales*, 2) *cerámicos* y 3) *polímeros*. Sus características químicas son diferentes, sus propiedades mecánicas y físicas no se parecen y afectan los procesos de manufactura susceptibles de emplearse para obtener productos de ellos. Además de las tres categorías básicas, hay 4) *compuestos* —mezclas no homogéneas de los otros tres tipos fundamentales. La relación entre los cuatro grupos se ilustra en la figura 1.3. En esta sección se revisa a dichos materiales. En los capítulos 6 a 9, se estudian con más detalle los cuatro tipos de material.

1.2.1 Metales

Los metales que se emplean en la manufactura, por lo general son *aleaciones*, que están compuestos de dos o más elementos, con al menos uno en forma metálica. Los metales se dividen en dos grupos básicos: 1) ferrosos y 2) no ferrosos.

Metales ferrosos Los *metales ferrosos* se basan en el hierro: el grupo incluye acero y hierro colado. Dichos metales constituyen el grupo comercial más importante, más de las tres cuartas partes del peso total de los metales de todo el mundo. El hierro puro tiene un uso comercial limitado, pero cuando se mezcla con carbono tiene más usos y mayor valor

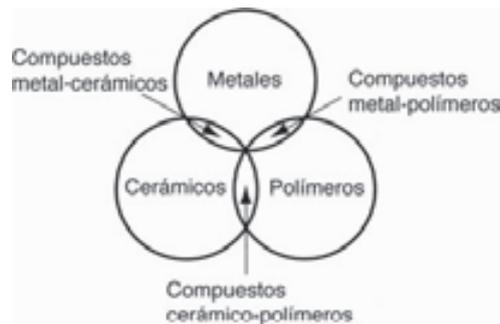


FIGURA 1.3 Diagrama de Venn que muestra los tres tipos de materiales básicos más los compuestos.

comercial que cualquier otro metal. Las aleaciones de hierro y carbono forman acero y hierro colado.

El **acero** se define como una aleación de hierro-carbono que contiene 0.02%-2.11% de carbono. Es la categoría más importante dentro del grupo de metales ferrosos. Es frecuente que su composición incluya otros elementos de la aleación, tales como manganeso, cromo, níquel y molibdeno, para mejorar las propiedades del metal. Las aplicaciones del acero incluyen la construcción (por ejemplo: puentes, vigas tipo I, y clavos), transporte (camiones, rieles y equipo rodante para vía férrea), y productos de consumo (automóviles y aparatos).

El **hierro colado** es una aleación de hierro y carbono (2%-4%) que se utiliza en el moldeado (sobre todo en el moldeado en arena verde). El silicio también está presente en la aleación (en cantidades que van de 0.5% a 3%), y es frecuente que también se agreguen otros elementos para obtener propiedades deseables en el elemento fundido. El hierro colado se encuentra disponible en distintas formas, de las que la más común es el hierro colado gris; sus aplicaciones incluyen bloques y cabezas para motores de combustión interna.

Metales no ferrosos Los metales no ferrosos incluyen los demás elementos metálicos y sus aleaciones. En casi todos los casos, las aleaciones tienen más importancia comercial que los metales puros. Los metales no ferrosos incluyen los metales puros y aleaciones de aluminio, cobre, oro, magnesio, níquel, plata, estaño, titanio, zinc y otros metales.

1.2.2 Cerámicos

Un **cerámico** se define como un compuesto que contiene elementos metálicos (o semimetálicos) y no metálicos. Los elementos no metálicos comunes son oxígeno, nitrógeno y carbono. Los cerámicos incluyen una variedad de materiales tradicionales y modernos. Los productos cerámicos tradicionales, algunos de los cuales se han utilizado durante miles de años, incluyen: **arcilla** (se dispone de ella en abundancia, consiste en partículas finas de silicatos de aluminio hidratados y otros minerales que se utilizan en la fabricación de ladrillos, baldosas y vajillas); **sílice** (es la base para casi todos los productos de vidrio); y **alúmina** y **carburo de silicón** (dos materiales abrasivos que se emplean en el rectificado). Los cerámicos modernos incluyen algunos de los materiales anteriores, tales como la **alúmina**, cuyas propiedades se mejoran en varios modos a través de métodos modernos de procesamiento. Los más nuevos incluyen **carburos** —los carburos metálicos tales como el carburo de tungsteno y el de titanio, se emplean mucho como materiales para herramientas de corte—, y los **nitruros** —los nitruros metálicos y semimetálicos como el nitruro de titanio y el de boro, se utilizan como herramientas de corte y abrasivos para rectificar.

Con fines de procesamiento, los cerámicos se dividen en 1) cerámicos cristalinos y 2) vidrios. Para cada tipo se requieren diferentes métodos de manufactura. Los cerámicos cristalinos se forman de distintos modos a partir de polvos que después se calientan (a una temperatura inferior del punto de fusión a fin de lograr la unión entre los polvos). Los cerámicos vidriados (vidrio, sobre todo) se mezclan y funden para después formarse en procesos tales como el vidrio soplado tradicional.

1.2.3 Polímeros

Un **polímero** es un compuesto formado por unidades estructurales repetidas denominadas **meros**, cuyos átomos comparten electrones que forman moléculas muy grandes. Por lo general, los polímeros consisten en carbono más uno o más elementos tales como hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y cloro. Los polímeros se dividen en tres categorías: 1) polímeros termoplásticos o termovariables, 2) polímeros termoestables o termofijos, y 3) elastómeros.

Los **polímeros termoplásticos** pueden sujetarse a ciclos múltiples de calentamiento y enfriamiento sin que se altere en forma sustancial la estructura molecular del polímero. Los termoplásticos comunes incluyen polietileno, poliestireno, cloruro de polivinilo y nailon. Los **polímeros termoestables** sufren una transformación química (curado) hacia una estructura rígida después de haberse enfriado a partir de una condición plástica calentada; de ahí el nombre de “termoestables”. Los miembros de este tipo incluyen los fenoles, resinas amino y epóxicas. Aunque se emplea el nombre “termoestable”, algunos de dichos polímeros se curan por medio de mecanismos distintos del calentamiento. Los **elastómeros** son polímeros que muestran un comportamiento muy elástico; de ahí el nombre de elastómeros. Incluyen el caucho natural, neopreno, silicón y poliuretano.

1.2.4 Compuestos

Los compuestos no constituyen en realidad una categoría separada de materiales; son mezclas de los otros tres tipos. Un **compuesto** es un material que consiste en dos o más fases que se procesan por separado y luego se unen para lograr propiedades superiores a las de sus constituyentes. El término **fase** se refiere a una masa homogénea de material, tal como la agregación de granos de estructura celular idéntica y unitaria en un metal sólido. La estructura usual de un compuesto consiste en partículas o fibras de una fase mezclada en una segunda que se llama la **matriz**.

Los compuestos se encuentran en la naturaleza (por ejemplo, madera), y se pueden producir en forma sintética. El tipo sintetizado es de mayor interés aquí, e incluye fibras de vidrio en una matriz de polímero, por ejemplo fibra reforzada de plástico; fibras de polímero de un tipo en una matriz de un segundo polímero, tal como un compuesto epóxico de Kevlar; y un cerámico en una matriz metálica, tal como carburo de tungsteno en una sustancia aglutinante de cobalto para formar una herramienta de corte a base de carburo cementado.

Las propiedades de un compuesto dependen de sus componentes, las formas físicas de éstos, y la manera en que se combinan para formar el material final. Algunos compuestos combinan una resistencia elevada con el poco peso, y son apropiadas para aplicarlos en componentes aeronáuticos, carrocerías de automóviles, cascos de barcos, raquetas de tenis, y cañas de pescar. Otros compuestos son fuertes, duros y capaces de conservar dichas propiedades a temperaturas elevadas, por ejemplo, las herramientas cortadoras de carburo cementado.

1.3 PROCESOS DE MANUFACTURA

Los procesos de manufactura se dividen en dos tipos básicos: 1) las operaciones del proceso, y 2) las del ensamblado. Una **operación del proceso** hace que un material de trabajo pase de un estado de acabado a otro más avanzado que está más cerca del producto final que se desea. Se agrega valor cambiando la geometría, las propiedades o la apariencia del material de inicio. En general, las operaciones del proceso se ejecutan sobre partes discretas del trabajo, pero algunas también son aplicables a artículos ensamblados. Una **operación de ensamblado** une dos o más componentes a fin de crear una entidad nueva, llamada ensamble, subensamble o algún otro término que se refiera al proceso de unión (por ejemplo, un ensamble soldado se denomina **soldadura**). En la figura 1.4 se presenta una

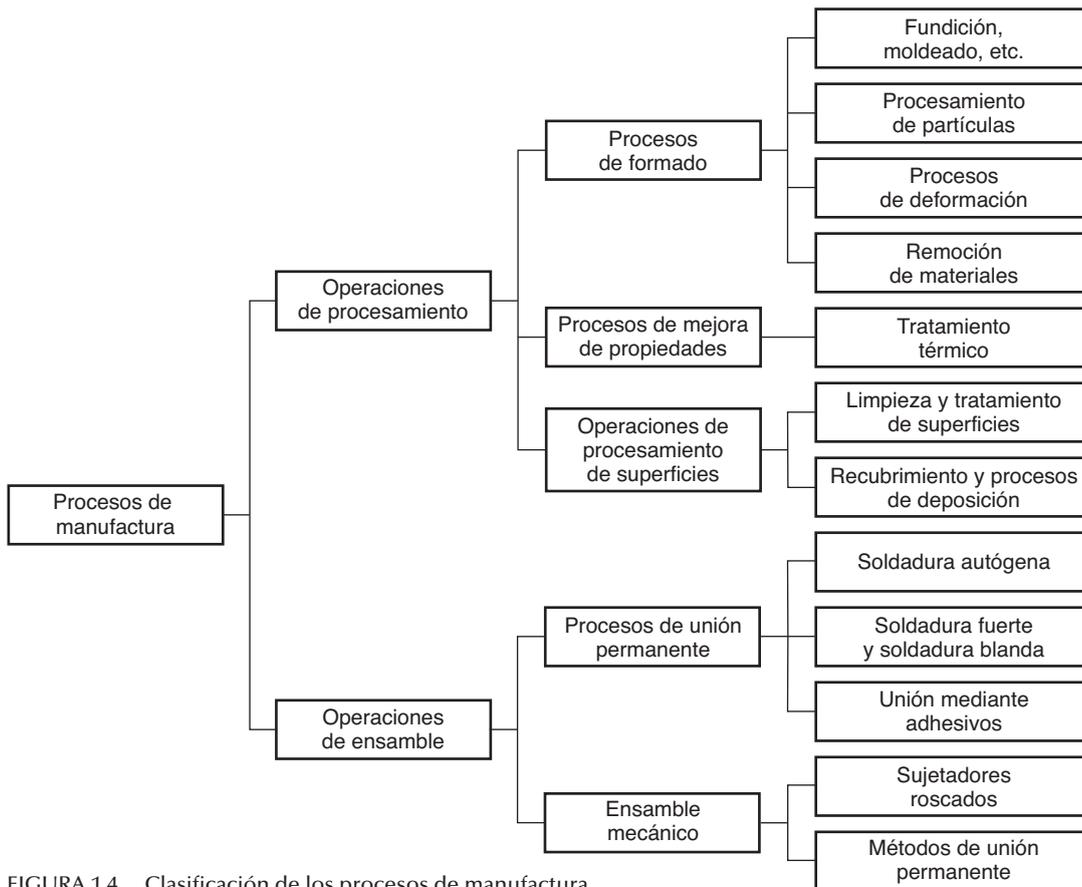


FIGURA 1.4 Clasificación de los procesos de manufactura.

clasificación de procesos de manufactura. La mayor parte de los procesos de manufactura que se estudian en este libro se pueden observar en el disco de video digital (DVD) que viene adjunto. A lo largo del texto se dan avisos sobre dichos cortos de video. Algunos de los procesos básicos que se emplean en la manufactura moderna datan de la antigüedad (véase la nota histórica 1.2).

Nota histórica 1.2 *Materiales y procesos de manufactura*

En tanto que la mayor parte de los desarrollos históricos que constituyen la práctica moderna de la manufactura han tenido lugar sólo durante los últimos siglos (véase la nota histórica 1.1), varios de los procesos básicos de fabricación datan del periodo Neolítico (alrededor de 8000-3000 a. C.). Fue durante ese periodo que se desarrollaron procesos tales como los siguientes: tallar y **trabajar la madera**, formar a mano y **cocer** vasijas de arcilla, **tallar y pulir** piedra, **hilar** y **tejer** textiles, y **teñir** la ropa.

La metalurgia y el trabajo de los metales también comenzaron en el Neolítico, en Mesopotamia y otras áreas alrededor del Mediterráneo. Se extendió hacia regiones de Europa y Asia o se desarrolló en ellas de manera independiente. El ser humano primitivo encontraba el oro en la naturaleza en forma relativamente pura. Podía **martillar**lo para darle forma. Es probable que el cobre sea el primer

metal que se extraía de yacimientos, lo que requería del **fundido** como técnica de procesamiento. El cobre no podía ser martillado con facilidad debido a que se endurecía, en su lugar, se le daba forma por medio de la **fundición** (véase la nota histórica 10.1). Otros metales utilizados durante este periodo fueron la plata y el estaño. Se descubrió que la aleación de cobre con estaño producía un metal más fácil de trabajar que el cobre puro (podía usarse tanto la fundición como el martillado). Esto anunció el periodo importante que se conoce como la **Edad de Bronce** (alrededor de 3500-1500 a. C.).

El hierro también fue fundido por primera vez durante la Edad de Bronce. Es posible que los meteoritos hayan sido una fuente de ese metal, pero también se explotaban yacimientos. Las temperaturas requeridas para reducir el mineral de hierro a metal son significativamente más

elevadas que aquellas que se requieren para el cobre, lo que hace más difíciles las operaciones de los hornos. Por la misma razón, otros métodos de procesamiento también eran más difíciles. Los primeros herreros aprendieron que cuando ciertas clases de hierro (los que contenían cantidades pequeñas de carbono) se **calentaban** lo suficiente y después se **enfriaban por inmersión**, se volvían muy duras. Esto permitía formar un borde muy afilado y cortante en los cuchillos y armas, pero también hacía que el metal fuera quebradizo. Podía incrementarse la dureza con el recalentamiento a una temperatura más baja, proceso conocido como **templado**. Lo que se ha descrito es, por supuesto, el **tratamiento térmico** del acero. Las propiedades superiores del acero ocasionaron que sustituyera al bronce en muchas aplicaciones (armamento, agricultura y artefactos mecánicos). El periodo de su utilización se denominó posteriormente como **Edad de Hierro** (comenzó alrededor de 1000 a. C.). No fue hasta mucho después, bien entrado el siglo XIX, que la demanda de acero creció en forma significativa y se inventaron técnicas más modernas para su fabricación (véase la nota histórica 6.1).

Los principios de la tecnología de las máquinas herramienta ocurrieron durante la Revolución Industrial. En el periodo de 1770 a 1850, se crearon máquinas herramienta para la mayoría de los **procesos de remoción de material** convencionales, tales como **perforar, torneear, rectificar, fresar, perfilar y cepillar** (véase la nota histórica 22.1). Muchos de los procesos individuales anteceden en siglos a las máquinas herramienta; por ejemplo, perforar y aserrar (madera) datan de tiempos antiguos, y torneear (madera) se remonta a la época de Cristo.

Los métodos de ensamble se empleaban en las culturas antiguas para hacer barcos, armas, herramientas, implementos agrícolas, maquinaria, carruajes y carretas,

muebles y prendas de ropa. Los procesos incluían **sujetar** con lianas y cuerdas, **remachar** y **clavar**, y **soldar**. Aproximadamente en tiempos de Cristo, se desarrollaron la **soldadura con forja** y la **unión mediante adhesivos**. El uso extendido de tornillos, remaches y tuercas como sujetadores —tan común en el ensamble de hoy—, requirió la creación de máquinas herramienta capaces de cortar con exactitud las formas helicoidales que se requerían (por ejemplo, el torno de Maudsley para cortar tornillos, 1800). No fue sino hasta alrededor de 1900 que se empezaron a desarrollar los procesos de **soldadura autógena por fusión** como técnicas de ensamble (véase la nota histórica 30.1).

El caucho natural fue el primer polímero que se usó en la manufactura (si se excluye la madera, que es un polímero compuesto). El proceso de **vulcanización**, descubierto por Charles Goodyear en 1839, hizo del caucho un material útil para la ingeniería (véase la nota histórica 8.2). Los desarrollos posteriores incluían a los plásticos tales como el nitrato de celulosa en 1870, la baquelita en 1900, el cloruro de polivinilo en 1927, el polietileno en 1932, y el nailon al final de la década de 1930 (véase la nota histórica 8.1). Los requerimientos de procesamiento para los plásticos condujeron al desarrollo del **moldeo por inyección** (con base en el vaciado en molde, uno de los procesos de fundición de metales) y otras técnicas para dar forma a los polímeros.

Los productos electrónicos han impuesto demandas inusuales a la manufactura en cuanto a miniaturización. La evolución de la tecnología ha ido en dirección de agrupar más y más dispositivos en un área cada vez más pequeña —en algunos casos, un millón de transistores en una pieza plana de material semiconductor que sólo mide 12 mm (0.50 in) por lado. La historia del procesamiento y el montaje electrónicos se remonta a sólo unas cuantas décadas (véanse las notas históricas 35.1, 36.1 y 36.2).

1.3.1 Operaciones de procesamiento

Una operación de procesamiento utiliza energía para modificar la forma, las propiedades físicas o la apariencia de una pieza, a fin de agregar valor al material. Las formas de la energía incluyen la mecánica, térmica, eléctrica y química. La energía se aplica en forma controlada por medio de maquinaria y herramientas. También se requiere de la energía humana, pero los trabajadores se emplean por lo general para controlar las máquinas, supervisar las operaciones y cargar y descargar las piezas antes y después de cada ciclo de operación. En la figura 1.1a) se ilustra un modelo general de operación de procesamiento. El material alimenta al proceso, las máquinas y herramientas aplican energía para transformar el material, y la pieza terminada sale del proceso. La mayoría de las operaciones de producción generan desperdicios o sobrantes, sea como un aspecto natural del proceso (por ejemplo, remoción de material como en el maquinado) o en forma de piezas defectuosas ocasionales. Un objetivo importante de la manufactura es reducir el desperdicio en cualquiera de esas formas.

Por lo general se requiere más de una operación de procesamiento para transformar el material de inicio a su forma final. Las operaciones se llevan a cabo en la secuencia particular que se requiere para alcanzar la geometría y condición definidas por las especificaciones del diseño.

Se distinguen tres categorías de operaciones de procesamiento: 1) operaciones de formado, 2) operaciones de mejoramiento de una propiedad, y 3) operaciones de procesamiento de una superficie. Las **operaciones de formado** alteran la geometría del material inicial de trabajo por medio de varios métodos. Los procesos comunes de formado incluyen al moldeado, la forja y el maquinado. Las **operaciones de mejoramiento de una propiedad** agregan valor al material con la mejora de sus propiedades físicas sin cambio de la forma. El ejemplo más común es el tratamiento térmico. Las **operaciones de procesamiento de una superficie** se ejecutan para limpiar, tratar, recubrir o depositar material sobre la superficie exterior del trabajo. Ejemplos comunes del recubrimiento son el cromado y el pintado. Los procesos de formado se estudian en las partes III a VI, y corresponden a las cuatro categorías principales de los procesos de formado que se muestran en la figura 1.4. Los procesos de mejoramiento de una propiedad y de procesamiento de una superficie se estudian en la parte VII.

Procesos de formado La mayor parte de los procesos de formado aplican calor o fuerzas mecánicas o una combinación de ambas para que surtan un efecto en la geometría del material de trabajo. Hay varias maneras de clasificar los procesos de formado. La clasificación que se utiliza en este libro se basa en el estado del material de inicio, y tiene cuatro categorías: 1) **procesos de moldeado**, en los que el material con que se comienza es un **líquido** calentado o **semifluido** que se enfría y solidifica para formar la geometría de la pieza; 2) **procesos de sinterizado o procesamiento de partículas**, en los que los materiales de inicio son **polvos**, que se forman y calientan con la geometría deseada; 3) **procesos de deformación**, en los que el material con que se comienza es un **sólido dúctil** (metal, por lo común) que se deforma para crear la pieza; y 4) **procesos de remoción de material**, en los que el material de inicio es un **sólido** (dúctil o quebradizo), a partir del cual se retira material de modo que la pieza resultante tenga la geometría que se busca.

En la primera categoría, el material de inicio se calienta lo suficiente para transformarlo a un líquido o a un estado altamente plástico (semifluido). Casi todos los materiales se pueden procesar de esta manera. Los metales, vidrios cerámicos y plásticos pueden calentarse a temperaturas suficientemente elevadas para convertirlos en líquidos. El material en forma líquida o semifluida se vacía o se le fuerza para que fluya en una cavidad llamada molde, donde se enfría hasta la solidificación, con lo que adopta la forma del molde. La mayoría de procesos que operan de esta manera se denominan fundición o moldeado. **Fundición** es el término que se emplea para los metales, y **moldeado** es el nombre común usado para plásticos. En la figura 1.5 se ilustra esta categoría de procesos de formado.

En el **procesamiento de partículas**, el material de inicio son polvos metálicos o cerámicos. Aunque estos dos materiales son muy diferentes, los procesos para darles forma a partir del procesamiento de partículas son muy similares. La técnica común involucra la presión y el sinterizado, que se ilustran en la figura 1.6, en las que los polvos primero se fuerzan hacia una cavidad llamada matriz o dado a una gran presión, y después se calientan para unir las partículas individuales.

FIGURA 1.5 Los procesos de fundición y moldeado comienzan con un material de trabajo calentado hasta alcanzar un estado fluido o semifluido. Los procesos consisten en 1) vaciar el fluido en un molde, y 2) permitir que el fluido se enfríe hasta solidificarse, después de lo cual la pieza sólida se retira del molde.

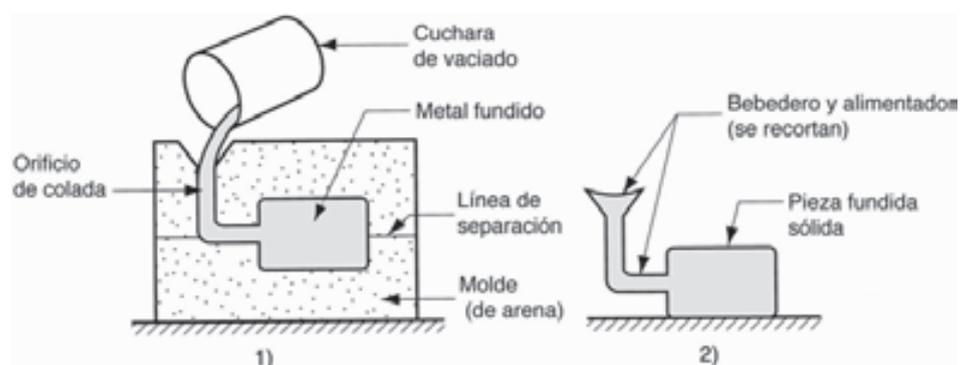
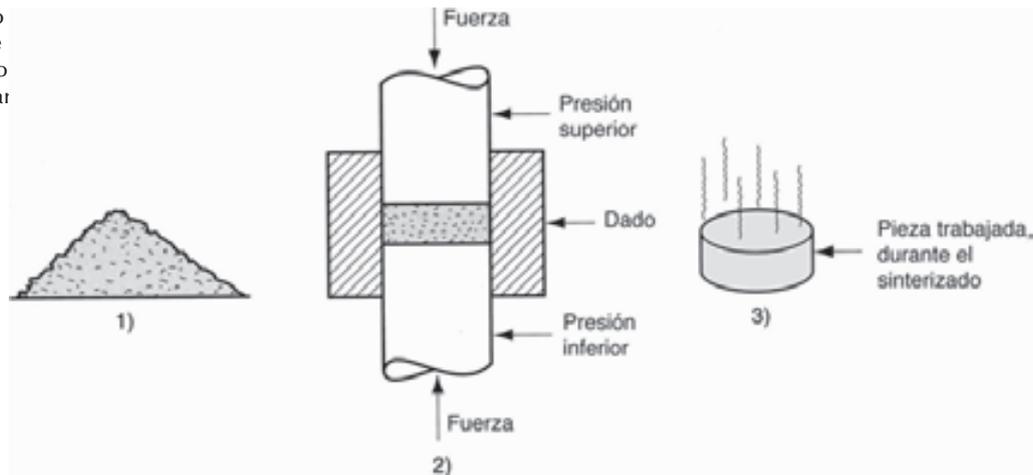


FIGURA 1.6 Procesamiento de partículas 1) el material de inicio es un polvo; el proceso usual consiste en 2) presionar y 3) sinterizar.



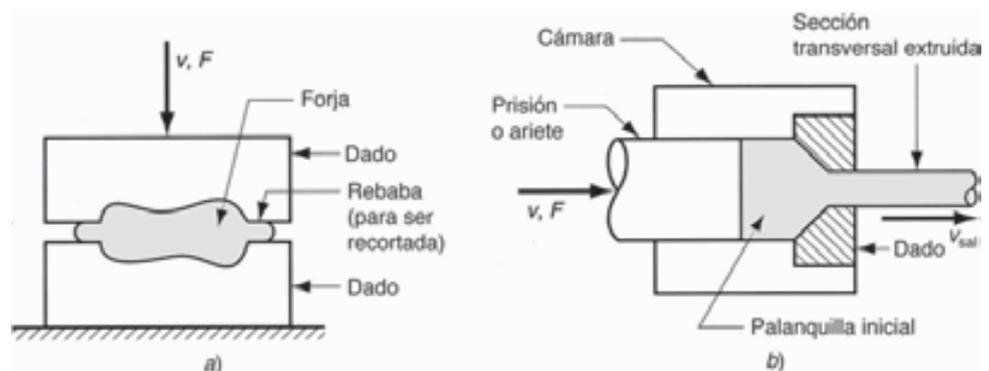
En los *procesos de deformación*, la pieza inicial que se trabaja se conforma por medio de la aplicación de fuerzas que exceden la resistencia del material. Para que el material se forme de este modo, debe ser suficientemente dúctil para evitar que se fracture durante la deformación. Para incrementar su ductilidad (y por otras razones), es común que antes de darle forma, el material de trabajo se caliente hasta una temperatura por debajo del punto de fusión. Los procesos de deformación se asocian de cerca con el trabajo de los metales, e incluyen operaciones tales como el *forjado* y la *extrusión*, que se ilustran en la figura 1.7.

Los *procesos de remoción de material* son operaciones que retiran el exceso de material de la pieza de trabajo con que se inicia, de modo que la forma que resulta tiene la geometría buscada. Los procesos más importantes de esta categoría son las operaciones de *maquinado* tales como *torneado*, *perforado* y *fresado*, que se muestran en la figura 1.8. Estas operaciones de corte se aplican más comúnmente a metales sólidos, y se llevan a cabo con el empleo de herramientas de corte más duras y fuertes que el metal de trabajo. Otro proceso común de esta categoría es el *rectificado*. Otros procesos de remoción de material se conocen como *no tradicionales* debido a que utilizan láser, haces de electrones, erosión química, descargas eléctricas o energía electroquímica para retirar el material, en vez de herramientas de corte o rectificadas.

Cuando una pieza inicial de trabajo se transforma en una geometría subsecuente, es deseable minimizar el desperdicio y los desechos. Ciertos procesos de conformación son más eficientes que otros, en términos de conservación del material. Los procesos de remoción de materiales (por ejemplo, el maquinado) tienden a desperdiciar material, tan sólo por la forma en que operan. El material que se retira de la forma inicial se desperdicia, al menos en lo referente a la operación unitaria. Otros procesos, tales como ciertas operaciones de fundición y moldeo, con frecuencia convierten casi el 100% del material con que se comienza en el producto final. Los procesos de manufactura que transforman casi todo el material de inicio

FIGURA 1.7 Algunos procesos de deformación comunes:

a) *forjado*, en los que dos herramientas llamadas dados comprimen la pieza de trabajo, lo que ocasiona que adopte la forma de los dos dados; y
 b) *extrusión*, en la que se fuerza a una palanquilla a fluir a través de un dado, por lo que adopta la sección transversal del orificio.



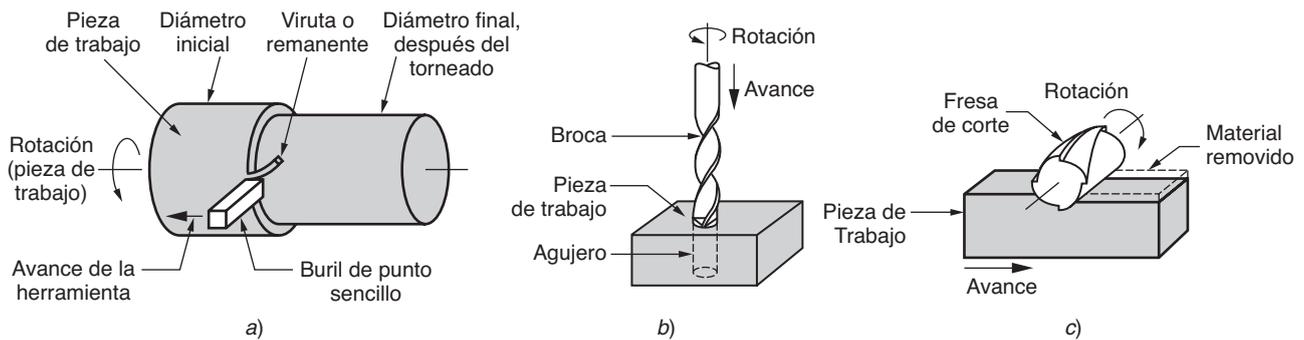


FIGURA 1.8 Operaciones comunes de maquinado: a) **torneado**, en el que una herramienta de corte de un filo retira metal de una pieza de trabajo que gira, a fin de reducir su diámetro; b) **taladrado**, en la que una broca en rotación avanza dentro de la pieza de trabajo, con lo que crea un agujero redondo; y c) **fresado**, en la que una pieza de trabajo se hace avanzar por un cortador giratorio con filos múltiples.

en el producto, y no requieren maquinado posterior para alcanzar la geometría definitiva de la pieza, se llaman **procesos de forma neta**. Otros procesos que requieren de un maquinado mínimo para producir la forma final, reciben el nombre de **procesos de forma casi neta**.

Procesos de mejoramiento de una propiedad El segundo tipo principal de procesamiento de una pieza se lleva a cabo para mejorar las propiedades mecánicas o físicas del material de trabajo. Estos procesos no alteran la forma de la pieza, salvo de manera accidental en algunos casos. Los procesos más importantes de mejoramiento de una propiedad involucran los **tratamientos térmicos**, que incluyen varios procesos de recocido y templado de metales y vidrios. El **sinterizado** de metales y cerámicos pulverizados, que se mencionó antes, también es un tratamiento a base de calor que aglutina una pieza de metal pulverizado y comprimido.

Procesamiento de una superficie Las operaciones de procesamiento de una superficie incluyen 1) limpieza, 2) tratamientos de una superficie, y 3) procesos de recubrimiento y deposición de una película delgada. La **limpieza** incluye procesos tanto químicos como mecánicos para retirar de la superficie suciedad, aceite y otros contaminantes. Los **tratamientos de una superficie** incluyen trabajos mecánicos tales como granallado y chorro de arena, así como procesos físicos tales como difusión e implantación de iones. Los procesos de **recubrimiento y deposición de una película delgada** aplican una capa de material a la superficie exterior de la pieza que se trabaja. Los procesos comunes de recubrimiento incluyen la **galvanoplastia** y **anodización** del aluminio, el **recubrimiento orgánico** (llamado **pintado**), y el **barnizado** de porcelana. Los procesos de deposición de película incluyen la **deposición física y química de vapor (PVD, QVD)**, a fin de formar recubrimientos de varias sustancias delgadas en extremo.

Se han adaptado varias operaciones severas de procesamiento de superficies para fabricar materiales semiconductores de los circuitos integrados para la microelectrónica. Esos procesos incluyen deposición química de vapor, deposición física de vapor y oxidación. Se aplican en áreas muy localizadas de la superficie de una oblea delgada de silicio (u otro material semiconductor) con objeto de crear el circuito microscópico.

1.3.2 Operaciones de ensamblado

El segundo tipo básico de operaciones de manufactura es el **ensamblado**, en el que dos o más piezas separadas se unen para formar una entidad nueva. Dichos componentes se conectan ya sea en forma permanente o semipermanente. Los procesos de unión permanente incluyen la **soldadura homogénea**, **soldadura fuerte**, **soldadura blanda**, y **unión mediante adhesivos**. Forman una unión de componentes que no puede separarse con facilidad. Los métodos de **ensamblado mecánico** existen para sujetar dos (o más) partes en una pieza que se puede

desarmar a conveniencia. El uso de tornillos, remaches y otros *sujetadores mecánicos*, son métodos tradicionales importantes de esta categoría. Otras técnicas de ensamblado mecánico que forman una conexión permanente incluyen los *remaches, ajustes de presión y ajustes de expansión*. En el ensamble de productos electrónicos, se emplean métodos de unión y sujeción especiales. Algunos de los métodos son idénticos a los procesos anteriores o adaptaciones de éstos, por ejemplo, la soldadura blanda. El ensamblado electrónico se relaciona en primer lugar con el ensamble de componentes tales como paquetes de circuitos integrados a tarjetas de circuitos impresos, para producir los circuitos complejos que se utilizan en tantos productos de la actualidad. En la parte VIII se estudian los procesos de unión y ensamblado, y en la IX, las técnicas de ensamblado especiales para la electrónica.

1.3.3 Máquinas de producción y herramientas

Las operaciones de manufactura se llevan a cabo con el uso de maquinaria y herramienta (y personas). El empleo extenso de maquinaria en la manufactura comenzó con la Revolución Industrial. Fue en esa época que las máquinas cortadoras de metal se desarrollaron y comenzaron a utilizarse en forma amplia. Recibían el nombre de *máquinas herramienta* que eran máquinas impulsadas por energía para operar herramientas de corte que antes se usaban con las manos. Las máquinas herramienta modernas se describen con la misma definición básica, excepto que la energía es eléctrica en lugar de hidráulica o de vapor, y su nivel de precisión y automatización es mucho mayor hoy día. Las máquinas herramienta están entre las más versátiles de todas las que se aplican en la producción. Se emplean no sólo para hacer piezas de productos para el consumidor, sino también para elaborar componentes para otras máquinas de la producción. Tanto en un sentido histórico como de reproducción, la máquina herramienta es la madre de toda la maquinaria.

Otras máquinas para la producción incluyen *prensas* para las operaciones de estampado, *martillos forjadores* para forjar, *molinos de laminación* para la fabricar lámina metálica, *máquinas soldadoras* para soldar, y *máquinas de inserción* para insertar componentes electrónicos en tarjetas de circuitos impresos. Por lo general, el nombre del equipo antecede al nombre del proceso.

El equipo de producción puede ser de propósito general o especial. El *equipo de propósito general* es más versátil y adaptable a una variedad de trabajos. Se halla disponible en el comercio para cualquier compañía manufacturera que quiera invertir en él. El *equipo de propósito especial* por lo general está diseñado para producir una pieza o un producto específico en cantidades muy grandes. La economía de la producción en masa justifica las grandes inversiones en maquinaria de propósito especial a fin de alcanzar eficiencias elevadas en ciclos cortos de tiempo. Ésta no es la única razón de ser del equipo de propósito especial, pero es la principal. Otra razón es que el proceso puede ser único y el equipo comercial no se encuentre disponible. Algunas compañías con requerimientos únicos de proceso desarrollan su propio equipo de propósito especial.

Por lo general, la maquinaria de producción requiere *herramientas* que se integren en el equipo para el trabajo de la pieza o producto en particular. En muchos casos, el herramienta debe diseñarse específicamente para la configuración de la pieza o producto. Cuando se utiliza con equipo de propósito general, está diseñada para ser intercambiable. Las herramientas se sujetan a la máquina para cada tipo de producto y se fabrica el volumen de producción. Al terminar, se cambian las herramientas para el tipo siguiente de producto por trabajar. Cuando se emplean con máquinas de propósito especial, es frecuente que las herramientas estén diseñadas como parte integral de la máquina. Debido a que es probable que para la producción en masa se empleen máquinas de propósito especial, las herramientas quizá nunca cambien, excepto para reemplazar componentes usados o reparar superficies desgastadas.

El tipo de herramientas depende del tipo de proceso de manufactura. En la tabla 1.4 se enlistan ejemplos de herramientas especiales que se emplean en operaciones diversas. Los detalles se dan en los capítulos en que se estudian los procesos respectivos.

TABLA 1.4 Equipo de producción y las herramientas que se emplean para varios procesos de manufactura.

Proceso	Equipo	Herramientas especiales (función)
Fundición	^a	Molde (cavidad para metal fundido)
Moldeado	Máquina de moldeado	Molde (cavidad para polímeros calientes)
Laminado	Molino de laminación	Rodillo (reduce espesor de la pieza)
Forjado	Martillo o prensa forjadora	Dado o matriz (comprime el trabajo para darle forma)
Extrusión	Prensa	Dado de extrusión (reduce la sección transversal)
Estampado	Prensa	Matrices y punzones (corte y conformación de lámina metálica)
Maquinado	Máquina herramienta	Herramienta de corte (remoción de material) Accesorio (sujeta la pieza de trabajo) Guía (sujeta la pieza y guía la herramienta)
Rectificado	Rectificadora	Rueda de rectificado (remoción de material)
Soldadura	Soldadora	Electrodo (funde el metal que se trabaja) Sujetador (sujeta las piezas durante la soldadura)

^a Tipos distintos de dispositivos y equipos para fundir (véase el capítulo 11).

1.4 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Para operar con eficacia, una empresa de manufactura debe tener sistemas que le permitan llevar a cabo con eficiencia su tipo de producción. Los sistemas de producción consisten en personas, equipos y procedimientos diseñados para combinar materiales y procesos que constituyen las operaciones de manufactura de la compañía. Los sistemas de producción se dividen en dos categorías: 1) instalaciones de producción, y 2) sistemas de apoyo a la manufactura. Las **instalaciones de producción** se refieren al equipo físico y su arreglo dentro de la fábrica. Los **sistemas de apoyo a la manufactura** son los procedimientos utilizados por la compañía para administrar la producción y resolver los problemas técnicos y logísticos que se encuentran en la ordenación de los materiales, el movimiento del trabajo por la fábrica, y asegurar que los productos satisfagan estándares de calidad. Ambas categorías incluyen personas. Son éstas las que hacen que los sistemas funcionen. En general, la mano de obra directa (*trabajadores de cuello azul*) es responsable de operar el equipo de manufactura, y el personal profesional (*trabajadores de cuello blanco*) es el encargado de dar apoyo a la manufactura.

1.4.1 Instalaciones de producción

Las instalaciones de producción consisten en el equipo de producción y el de manejo de materiales. El equipo entra en contacto físico directo con las piezas o ensambles durante su fabricación. Las instalaciones “tocan” el producto. Éstas también incluyen la manera en que el equipo se acomoda dentro de la fábrica —la **distribución de la planta (layout)**—. Por lo general, el equipo se organiza en agrupamientos lógicos, llamados **sistemas de manufactura**, tales como una línea de producción automatizada, o una celda de manufactura que consiste en un robot industrial y dos o más máquinas herramienta.

Una compañía de manufactura trata de diseñar sus sistemas de manufactura y organizar sus fábricas para que sirvan a la misión particular de cada planta del modo más eficiente. A lo largo de los años, ciertos tipos de instalaciones de producción han llegado a ser reconocidos como la forma más apropiada de organizar una combinación dada de diversos productos y cantidad de producción, según se estudió en la sección 1.1.2. Se requieren instalaciones diferentes para cada uno de los tres rangos de cantidades anuales de producción.

Producción de bajas cantidades En el rango de cantidad baja (1 a 100 unidades por año), es frecuente utilizar el término **taller de trabajo** para describir el tipo de instalación productiva. Un taller hace cantidades bajas de productos especializados y personalizados. Es común

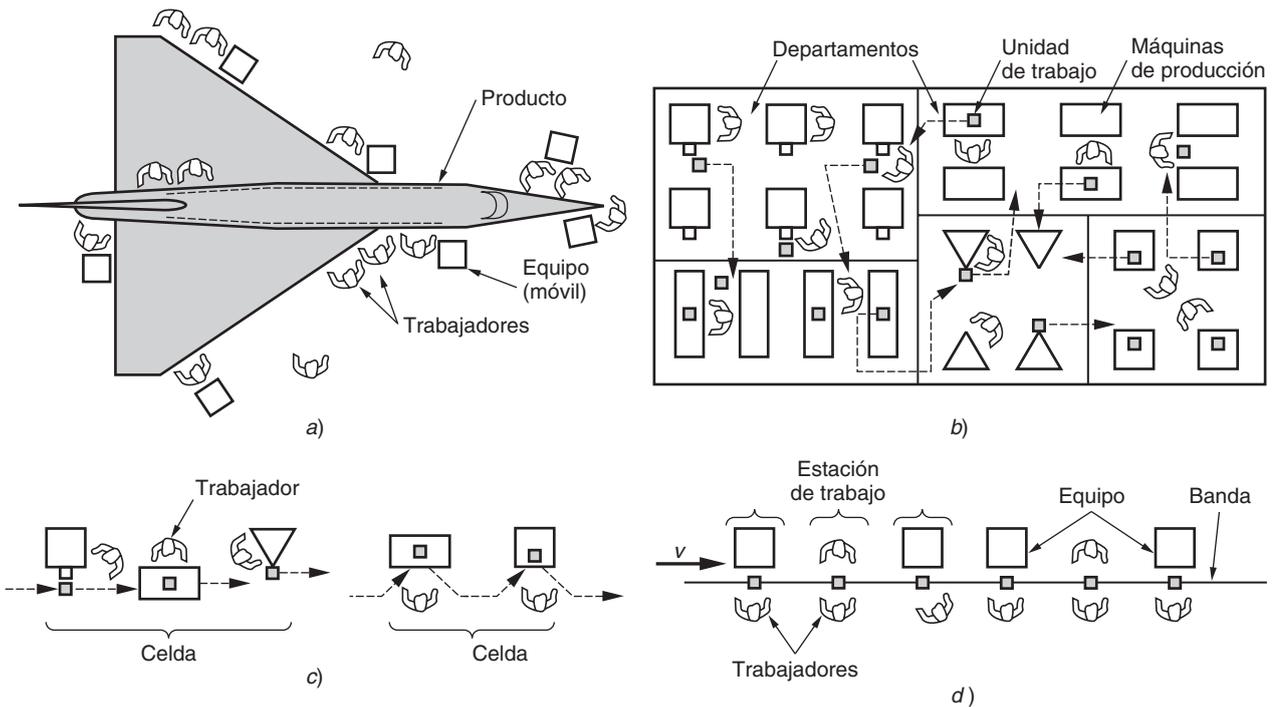


FIGURA 1.9 Tipos distintos de distribución de planta, a) distribución de posiciones fijas, b) distribución por procesos, c) distribución celular, y d) distribución por productos.

que éstos sean complejos, tales como cápsulas espaciales, aviones prototipo y maquinaria especial. El equipo de un taller de trabajo es de propósito general y el personal está muy capacitado.

Un taller de trabajo debe diseñarse para tener flexibilidad máxima a fin de poder enfrentar las variaciones amplias que se encuentren en el producto (variedad dura de producto). Si el producto es grande y pesado, y por tanto difícil de mover, es común que permanezca en una sola ubicación durante su fabricación o ensamble. Los trabajadores y el equipo de procesamiento van al producto, en vez de moverlo hacia el equipo. Este tipo de distribución se conoce como **distribución de posiciones fijas**, como se ve en la figura 1.9a). En la situación pura, el producto permanece en un solo sitio durante toda la producción. Algunos ejemplos de tales productos incluyen barcos, aeronaves, locomotoras y maquinaria pesada. En la práctica, por lo general esos productos se construyen en módulos grandes, en ubicaciones únicas, y después los módulos terminados se reúnen para el ensamble final por medio de grúas de gran capacidad.

Con frecuencia, los componentes individuales de esos productos grandes se elaboran en fábricas en las que el equipo está situado de acuerdo con su función o tipo. Este acomodo se denomina **distribución por procesos**. Como se aprecia en la figura 1.9b), los tornos están en un departamento, las fresadoras en otro, y así sucesivamente. Las distintas piezas, cada una de las cuales requiere una secuencia distinta de operaciones, se conducen por los departamentos en el orden particular que se necesita para procesarlas, por lo general por lotes. La distribución por procesos es notable por su flexibilidad; puede albergar una gran variedad de secuencias de operaciones para configuraciones distintas de las piezas. Su desventaja es que la maquinaria y métodos para producir una pieza no están diseñados para alcanzar una eficiencia elevada.

Producción de cantidad media En el rango de cantidad media (100 a 10 000 unidades por año), se distinguen dos tipos diferentes de instalaciones, en función de la variedad de productos. Cuando la variedad del producto es dura, el enfoque principal es la **producción**

por lotes, en la que se fabrica un lote de un producto, después de lo cual el sistema de manufactura se cambia para producir un lote de otro producto, y así sucesivamente. La tasa de producción del equipo es mayor que la de demanda para cualquier tipo de producto, por lo que el mismo equipo puede compartirse para productos múltiples. El cambio entre los lotes de producción consume tiempo para cambiar las herramientas y preparar la maquinaria. Ese tiempo de preparación se pierde para la producción, y ésta es una desventaja de la manufactura por lotes. La producción por lotes se emplea comúnmente en situaciones de fabricación para el inventario, en las que los artículos se manufacturan para resurtir un inventario que ha disminuido por la demanda. Por lo general, el equipo se acomoda con una distribución por procesos (véase la figura 1.9b).

Es posible un enfoque alternativo para la producción de rango medio si la variedad del producto es suave. En ese caso, podrían no ser necesarios los cambios grandes entre un estilo de producto y el siguiente. Es frecuente que sea posible configurar el sistema de manufactura de modo que grupos de productos similares puedan hacerse en el mismo equipo sin pérdida significativa de tiempo por la preparación. El procesamiento o ensamblado de piezas o productos diferentes se lleva a cabo en celdas que consisten en varias estaciones de trabajo o máquinas. El término *manufactura celular* se asocia con frecuencia a este tipo de producción. Cada celda está diseñada para producir una variedad limitada de configuraciones de piezas; es decir, la celda se especializa en la producción de un conjunto dado de partes similares, de acuerdo con los principios de la *tecnología de grupo* (véase la sección 40.1). La distribución recibe el nombre de *distribución celular* (también es común el término *distribución por tecnología de grupo*), y se ilustra en la figura 1.9c).

Producción alta El rango alto de cantidad (10 000 a millones de unidades por año) se conoce como *producción masiva*. La situación se caracteriza por una tasa de demanda elevada para el producto, y el sistema de manufactura está dedicado a la producción de ese solo artículo. Se observan dos categorías de producción en masa: la producción por cantidad y la producción por línea de flujo. La *producción por cantidad* involucra la producción en masa de partes únicas sobre piezas únicas de equipo. Es común que sean máquinas estándar (tales como prensas de estampado) equipadas con herramientas especiales (por ejemplo, troqueles y dispositivos de manejo de materiales), que dedican efectivamente el equipo a la producción de un tipo de pieza. Las distribuciones típicas que se emplean en la producción por cantidad son por procesos y celular [véase la figura 1.9b) y c)].

La *producción por línea de flujo* incluye piezas múltiples de equipo o estaciones de trabajo situadas en secuencia, y las unidades de trabajo se mueven físicamente a través de ella a fin de que el producto se complete. Las estaciones de trabajo y el equipo están diseñados específicamente para que el producto maximice la eficiencia. La distribución se denomina *por producto*, y las estaciones de trabajo se acomodan en una línea larga, como la de la figura 1.9d), o en una serie de segmentos de línea conectados. Generalmente, el trabajo se mueve entre las estaciones por medio de bandas mecanizadas. En cada estación se termina una cantidad pequeña del trabajo total sobre cada unidad del producto.

El ejemplo más familiar de producción en línea de flujo es la línea de ensamblado, que se asocia con productos como automóviles y aparatos domésticos. El caso puro de producción en línea de flujo es aquel en que no hay variación en los productos que se elaboran en la línea. Cada producto es idéntico y la línea se conoce como *línea de producción de modelo único*. A fin de comercializar con éxito un producto dado, con frecuencia es benéfico introducir variaciones en las características y modelos, de modo que los clientes individuales puedan elegir la mercancía exacta que les agrade. Desde un punto de vista de la producción, las diferencias en las características representan un caso de variedad suave de productos. El término *línea de producción de modelos mixtos* se aplica a aquellas situaciones en las que hay variedad suave de productos que se fabrican en la línea. Un ejemplo de ello es el ensamble de los automóviles modernos. Los carros que salen de la línea de montaje tienen variaciones en las opciones y estilo, que representan modelos diferentes y en muchos casos diferentes placas para el mismo diseño básico de vehículo.

1.4.2 Sistemas de apoyo a la manufactura

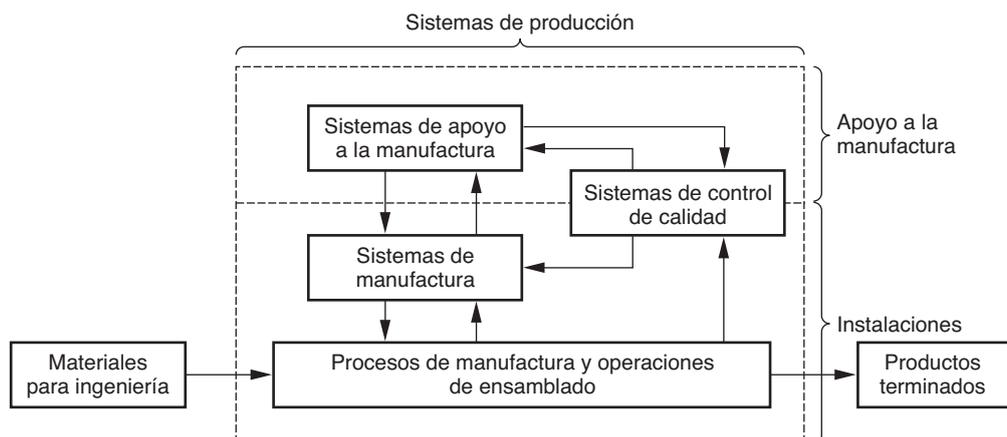
Para operar las instalaciones de manera eficiente, una compañía debe organizarse para diseñar los procesos y equipos, planear y controlar las órdenes de producción, y satisfacer los requerimientos de la calidad del producto. Estas funciones se llevan a cabo por medio de sistemas de apoyo a la manufactura, es decir, gente y procedimientos con los que una compañía administra sus operaciones de producción. La mayoría de esos sistemas de apoyo no entran en contacto directo con el producto, pero planean y controlan su avance a través de la fábrica. Es frecuente que las funciones de apoyo a la manufactura se ejecuten en la empresa por personal organizado en departamentos como:

- **Ingeniería de manufactura.** El departamento de ingeniería de manufactura es responsable de planear los procesos de manufactura, decidir cuáles procesos deben utilizarse para fabricar las piezas y ensamblar los productos. Este departamento también está involucrado en el diseño y el orden de las máquinas herramienta y otros equipos que usan los departamentos de operaciones para realizar el procesamiento y ensamble.
- **Planeación y control de la producción.** Este departamento es responsable de resolver los problemas de logística de la manufactura: ordenar materiales y comprar piezas, programar la producción y asegurarse de que los departamentos de operación tengan la capacidad necesaria para cumplir los programas de producción.
- **Control de calidad.** En el ambiente competitivo de hoy, producir artículos de alta calidad debe ser la prioridad máxima de cualquier empresa de manufactura. Eso significa diseñar y construir productos que cumplan las especificaciones y llenen o superen las expectativas de los consumidores. Gran parte del esfuerzo es responsabilidad de este departamento.

1.5 ORGANIZACIÓN DEL LIBRO

Las tres secciones anteriores proporcionan una vista preliminar y un panorama general del libro. Los 44 capítulos siguientes están organizados en 11 partes. El diagrama de bloques de la figura 1.10 resume los temas principales que habrán de cubrirse. Muestra al sistema de producción (representado con línea punteada) con la entrada de los materiales de la ingeniería en el lado izquierdo, y la salida de los productos terminados en el derecho. La parte I, titulada “Propiedades de los materiales y atributos del producto”, consiste en cuatro capítulos que describen las características y especificaciones importantes de

FIGURA 1.10 Panorama de los temas principales del libro.



los materiales, así como de los productos que se fabrican a partir de ellos. En la parte II se estudian los cuatro materiales fundamentales de la ingeniería: metales, cerámicos, polímeros y compuestos.

El bloque más grande de la figura 1.10 se identifica como “Procesos de manufactura y operaciones de ensamblado”. Los procesos incluidos en el libro son aquellos que aparecen en la figura 1.4. La parte III comienza el estudio de las cuatro categorías de los procesos de perfilado. Consiste de seis capítulos acerca de los procesos de solidificación que incluyen la fundición de metales, el trabajo del vidrio, y la conformación de polímeros. En la parte IV, se estudia en dos capítulos el procesamiento de partículas de metales y cerámicos. En la parte V se analizan los procesos de deformación de los metales, tales como el laminado, forjado, extrusión, y el trabajo con láminas metálicas. Por último, en la parte VI se estudian los procesos de remoción de materiales. Son cuatro los capítulos que se dedican al maquinado, y dos los que cubren el esmerilado o rectificado (y otros procesos abrasivos relacionados) y las tecnologías no tradicionales de remoción de materiales.

Los otros tipos de operaciones de procesamiento, mejoramiento de las propiedades y procesamiento de superficies, se estudian en la parte VII. Sus tres capítulos son acerca de tratamiento térmico, limpieza y tratamiento de superficies, y recubrimiento y procesos de deposición.

Los procesos de unión y ensamblado se consideran en la parte VIII, que está organizada en cuatro capítulos acerca de soldadura homogénea, soldadura fuerte, soldadura blanda, unión mediante adhesivos y ensamblado mecánico.

En la parte IX, que lleva por título “Tecnologías especiales de procesamiento y ensamblado”, se presentan varios procesos únicos que no se ajustan con exactitud en el esquema de clasificación de la figura 1.4. Sus cinco capítulos cubren la hechura de prototipos rápidos, el proceso de circuitos integrados, ensamblajes y empaques electrónicos, microfabricación y nanofabricación.

Los bloques restantes de la figura 1.10 se refieren a los sistemas de producción. La parte X, titulada “Sistemas de manufactura”, cubre los sistemas principales de tecnologías y agrupamientos de equipos que se localizan en la fábrica: control numérico, robótica industrial, tecnología de grupos, manufactura celular, sistemas flexibles de manufactura, y líneas de producción. Por último, en la parte XI se estudian los sistemas de apoyo a la manufactura, tales como ingeniería de manufactura, planeación y control de la producción, control de calidad, e inspección.

REFERENCIAS

- | | |
|--|---|
| <p>[1] DeGarmo, E. P., Black, J. T., y Kohser, R. A. <i>Materials and Processes in Manufacturing</i>, 9a. ed. John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 2003.</p> <p>[2] Emerson, H. P., y Naehring, D. C. E. <i>Origins of Industrial Engineering</i>. Industrial Engineering & Management Press, Institute of Industrial Engineers, Norcross, Ga., 1988.</p> <p>[3] Flinn, R. A., y Trojan, P. K. <i>Engineering Materials and Their Applications</i>. 5a. ed. John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1995.</p> | <p>[4] Garrison, E. <i>A History of Engineering and Technology</i>. CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla., 1991.</p> <p>[5] Groover, M. P. <i>Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing</i>, 2a. ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 2001.</p> <p>[6] Hounshell, D. A. <i>From the American System to Mass Production, 1800-1932</i>. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Md., 1984.</p> |
|--|---|

PREGUNTAS DE REPASO

- | | |
|---|---|
| <p>1.1. ¿Cuáles son las diferencias entre las industrias primaria, secundaria y terciaria? Proporcione un ejemplo de cada categoría.</p> <p>1.2. ¿Qué es un bien de capital? Diga un ejemplo.</p> | <p>1.3. ¿Cómo se relacionan la variedad de productos y la cantidad de producción, al comparar fábricas comunes?</p> <p>1.4. Defina la capacidad de manufactura.</p> <p>1.5. Mencione las tres categorías básicas de materiales.</p> |
|---|---|

- 1.6. ¿En qué difiere un proceso de formado de una operación de procesamiento de una superficie?
- 1.7. ¿Cuáles son las dos subclases de procesos de ensamble? Proporcione un ejemplo de proceso de cada subclase.
- 1.8. Defina producción por lotes y describa por qué se utiliza con frecuencia para producir artículos en cantidades medias.
- 1.9. En las instalaciones de producción, ¿cuál es la diferencia entre una distribución por procesos y otra por producto?
- 1.10. Mencione dos departamentos que sean comúnmente clasificados como de apoyo a la manufactura.

CUESTIONARIO DE OPCIÓN MÚLTIPLE

En las siguientes preguntas de opción múltiple hay un total de 18 respuestas correctas (algunas preguntas tienen varias respuestas correctas). Para obtener una calificación perfecta hay que dar todas las respuestas correctas del cuestionario. Cada respuesta correcta vale un punto. Por cada respuesta omitida o errónea, la calificación se reduce en un punto, y cada respuesta adicional que sobrepase el número correcto de respuestas reduce la calificación en un punto. El porcentaje de calificación se basa en el número total de respuestas correctas.

- 1.1. ¿Cuáles de las industrias siguientes se clasifican como de industria secundaria? (hay tres respuestas correctas): *a*) bebidas, *b*) servicios financieros, *c*) pesca, *d*) minería, *e*) instalaciones de generación de energía, *f*) editorial, y *g*) transporte.
- 1.2. En cuál de las siguientes industrias se clasifica la minería: *a*) industria agrícola, *b*) industria manufacturera, *c*) industria primaria, *d*) industria secundaria, *e*) industria de servicios, o *f*) industria terciaria.
- 1.3. Uno de los siguientes artículos incluye los inventos de la Revolución Industrial: *a*) automóviles, *b*) cañón, *c*) prensa de impresión, *d*) máquina de vapor, o *e*) espada.
- 1.4. ¿A cuáles de los siguientes metales incluyen los metales ferrosos? (dos respuestas correctas): *a*) aluminio, *b*) hierro fundido, *c*) cobre, *d*) oro, y *e*) acero.
- 1.5. ¿Cuáles de los siguientes materiales de ingeniería se definen como un compuesto que contiene elementos metálicos y no metálicos?: *a*) cerámico, *b*) compuesto, *c*) metal, o *d*) polímero.
- 1.6. ¿Cuál de los procesos siguientes comienza con un material en estado fluido o semifluido, que se solidifica en un molde? (dos de estas respuestas son las mejores): *a*) fundido, *b*) forjado, *c*) maquinado, *d*) moldeado, *e*) prensado, y *f*) torneado.
- 1.7. ¿Cuáles de las siguientes etapas involucra el procesamiento de partículas de metales y cerámicos? (las dos respuestas mejores): *a*) uniones mediante adhesivos, *b*) deformación, *c*) forjado, *d*) remoción de material, *e*) fusión, *f*) prensado, y *g*) sinterizado.
- 1.8. ¿Cuáles de los siguientes incluyen los procesos de deformación? (dos respuestas correctas): *a*) fundido, *b*) perforado, *c*) extruido, *d*) forjado, *e*) fresado, *f*) pintado, y *g*) sintetizado.
- 1.9. ¿Cuál de las siguientes es una máquina que se usa para extruir?: *a*) martillo forjador, *b*) fresadora, *c*) laminadora, *d*) prensa, *e*) soplete.
- 1.10. La producción de volumen elevado de productos ensamblados se asocia más a alguno de los tipos de distribución siguientes: *a*) celular, *b*) de posición fija, *c*) por procesos, *d*) por productos.
- 1.11. ¿Cuáles de las funciones siguientes ejecuta un departamento de planeación y control de la producción, en cuanto a su papel de apoyar a la manufactura? (las dos respuestas mejores): *a*) diseñar y ordenar máquinas herramienta, *b*) desarrollar planes corporativos estratégicos, *c*) ordenar materias y adquirir piezas, *d*) efectuar inspecciones de calidad, y *e*) programar el orden de los productos sobre una máquina.