

Capítulo 18

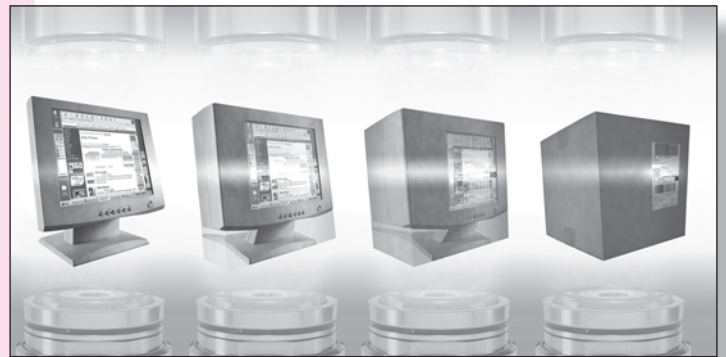
PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES

- 595 De la oferta a la demanda**
Definición de planificación de requerimiento de materiales (MRP)
- 596 Programa maestro de producción**
Restricciones de tiempo *Definición de programa maestro de producción (MPS)*
Definición de disponible para prometer
- 598 Dónde se aplica la MRP**
- 599 Estructura del sistema de planificación de requerimiento de materiales**
Demanda de productos *Definición de lista de materiales (BOM)*
Lista de materiales *Definición de sistemas de cambio neto*
Registros de inventario
Programa de cómputo para la MRP
- 603 Ejemplo de uso de la MRP**
Pronóstico de la demanda
Elaboración de un programa maestro de producción
Lista de materiales (estructura de productos)
Registros de inventarios
Cálculos de la MRP
- 608 Tamaño del lote en los sistemas de MRP**
Lote por lote
Cantidad de pedido económica
Costo total mínimo
Costo unitario mínimo
Elección del mejor tamaño de lote
- 612 Resumen**
- 617 Caso: Brunswick Motors, Inc. Caso de introducción a la MRP**

De la oferta a la demanda

En la década de 1980, la manufactura impulsó a la economía nacional de los sistemas de procesamiento de datos por lotes a los sistemas de procesamiento de transacciones en línea. El foco de atención era la planificación de requerimiento de materiales primero y luego planificación de recursos de manufactura (MRP, por sus siglas en inglés), que después evolucionó a planificación de recursos de la empresa (ERP, por sus siglas en inglés). Fue un largo trayecto, y quienes lo hayan cumplido se merecen un descanso.

Pero los vientos del cambio vuelven a soplar ahora que un nuevo paradigma recorre de prisa la manufactura. En concreto, se trata del cambio de la economía de un modelo de negocios de acumulación de existencias a uno de acumulación de pedidos.



Después de leer este capítulo, usted:

1. Describirá lo que es la MRP y dónde se aplica mejor.
2. Entenderá la fuente de la información empleada por el sistema.
3. Demostrará cómo hacer una “explosión” de la MRP.
4. Explicará cómo calcular cantidades de pedidos en sistemas de MRP.

El eslabón débil del modelo de acumulación de existencias es la administración de inventarios, la cual se remonta a un eslabón todavía más frágil: la dependencia de los pronósticos de ventas. Un modelo de acumulación de pedidos comienza con el pedido, no con el pronóstico. Persiste el antiguo problema de coordinar la adquisición de piezas y elaborar y embarcar el producto.

Ahora se usa el término *administración de flujos* para describir los nuevos sistemas de planificación híbrida que combinan la integración de la información y la capacidad de MRP con la respuesta de un sistema *kanban* justo a tiempo (JIT). Los principales proveedores de software para MRP, como Oracle, SAP e i2 Technologies, venden estos nuevos sistemas.

Básicamente, el concepto de la administración de flujos es generar una mezcla cambiante de productos basada en los pedidos del momento y realizada con un tránsito continuo de piezas que se suministran justo a tiempo. Es importante no caer en la trampa de pensar que todas estas novedosas palabras representan de verdad algo nuevo. De hecho, los flujos de manufactura combinan cosas que se han usado durante años: en este caso, la combinación de la lógica *kanban* de JIT, la lógica de la MRP para la planificación de requerimiento de materiales y el sistema ERP de servidor y cliente.

Planificación de requerimientos de materiales (MRP)



El centro de atención aquí es la **planificación de requerimientos de materiales (MRP)**, por sus siglas en inglés), pieza clave de lógica que enlaza las funciones de producción desde el punto de vista de control y de planificación de material. La MRP es ya casi universal en empresas de manufactura, incluso en las consideradas pequeñas. La razón es que la MRP es un método lógico, que se entiende fácilmente, para el problema de determinar el número de piezas, componentes y materiales necesarios para producir todo artículo final. La MRP también da el programa que especifica cuándo debe pedirse o producirse cada uno de estos artículos.

La MRP se basa en la demanda dependiente, resultado de la demanda de artículos de nivel superior. Por ejemplo, llantas, volantes y motores son piezas de demanda dependiente, basada en la demanda de automóviles.

Determinar el número de piezas de demanda dependiente que se necesitan es más que nada cuestión de multiplicar. Si una pieza A se hace con cinco piezas B, cinco piezas A requieren 25 piezas B. La diferencia básica de la demanda independiente cubierta en el capítulo

anterior y la demanda dependiente que se estudia en este capítulo es la siguiente: si la pieza A se vende fuera de la empresa, no se sabe en cuánto se vende. Hay que elaborar un pronóstico con datos anteriores o hacer un análisis del mercado. La pieza A es una pieza independiente. En cambio, la pieza B es dependiente: su uso depende de la pieza A. El número de B que se necesita es el número de A por cinco. Como resultado de esta multiplicación, la necesidad de otras piezas de demanda independiente se vuelve más y más irregular conforme se avanza en la secuencia de la elaboración de los productos. “Irregular” significa que las necesidades aumentan o disminuyen en lugar de mostrar una dispersión uniforme. Esto obedece a la manera en que se hace la manufactura. Cuando se fabrica por lotes, las piezas necesarias para producirlos se sacan de inventario en conjuntos (y quizá todas al mismo tiempo), y no una por una.

Programa maestro de producción

En general, el programa maestro se ocupa de piezas finales y es un insumo importante del proceso de MRP. Pero si la pieza final es grande o cara, el programa puede organizar ensambles o componentes parciales.

Todos los sistemas de producción tienen capacidad y recursos limitados. Esto plantea un trabajo difícil para el programador maestro. Aunque el plan total proporciona un marco general operativo, el programador tiene que especificar exactamente qué se va a producir. Estas decisiones se toman al tiempo que se reacciona a las presiones de diversas áreas funcionales, como el departamento de ventas (cumplir el plazo prometido al cliente), finanzas (reducir al mínimo el inventario), administración (maximizar la productividad y el servicio a clientes, reducir las necesidades de recursos) y manufactura (tener programas uniformes y abreviar los tiempos de preparación).

Para determinar un programa viable y aceptable que se ponga en marcha en la planta, se ejecutan programas de producción de prueba mediante un programa de MRP, que se describe en la sección siguiente. Se verifican las expediciones resultantes de pedidos (programas de producción detallados) para asegurarse de que se tengan los recursos y los tiempos de terminación sean razonables. Puede suceder que un programa maestro que parezca viable al final requiera demasiados recursos en momentos de auge del producto y se determinan las necesidades de materiales, piezas y componentes de niveles inferiores. En este caso (que es lo común), el programa maestro de producción se modifica según estas limitaciones y se ejecuta de nuevo el programa de MRP. Para garantizar un buen programa maestro, el programador (el ser humano) debe:

- Incluir todas las demandas de venta del producto, resurtido de almacén, refacciones y necesidades entre las plantas.
- Nunca perder de vista el plan agregado.
- Comprometerse con los pedidos prometidos al cliente.

- Ser visible en todos los niveles de la administración.
- Equilibrar objetivamente los conflictos de manufactura, marketing e ingeniería.
- Identificar y comunicar todos los problemas.

En la parte superior de la ilustración 18.1 se muestra un plan agregado del número total de colchones planificados para el mes, sin considerar el tipo de colchón. En la parte inferior se proporciona el programa maestro de producción en el que se especifica el tipo exacto de colchón y la cantidad planificada de producción por semana. El siguiente nivel inferior (que no se muestra) sería el sistema de MRP que elabora programas detallados de cuándo se necesitan el relleno de algodón, resortes y madera para hacer los colchones.

Para resumir de nuevo la secuencia de planificación, en el plan agregado de operaciones, que se estudió en el capítulo 16, se especifican los grupos de productos, no los artículos precisos. El siguiente nivel del proceso de planificación es el programa maestro de producción. El **programa maestro de producción (MPS)** es el plan con los tiempos desglosados que especifica cuántas piezas finales va a fabricar la empresa y cuándo. Por ejemplo, el plan agregado de una compañía de muebles especificaría el volumen total de colchones que va a producir el siguiente mes o trimestre. El MPS da el siguiente paso e identifica el tamaño exacto de los colchones, y su calidad y estilo. Los colchones que vende la compañía quedarían especificados en el MPS. El MPS también asienta, periodo por periodo (casi siempre semanal) cuántos colchones de estos tipos se necesitan y cuándo.

Si se avanza aún más en el proceso de desglose se encuentra el sistema de MRP, que calcula y programa las materias primas, piezas y suministros necesarios para hacer los colchones especificados por la MRP.

Programa maestro de producción

RESTRICCIONES DE TIEMPO

La cuestión de la flexibilidad del programa maestro de producción depende de varios factores: tiempo de espera de producción, compromiso de partes y componentes a una pieza final específica, relación entre el cliente y proveedor, exceso de capacidad, y rechazo o aceptación de la gerencia a hacer cambios.

El propósito de las restricciones de tiempo es mantener un flujo razonablemente controlado por el sistema de producción. Si no se establecen y acatan reglas de operación, el sistema sería caótico, se llenaría de pedidos retrasados y siempre habría prisas.

En la ilustración 18.2 se muestra un ejemplo de restricciones de tiempo para un programa maestro de producción. La administración define las *restricciones de tiempo* como periodos en que los clientes tienen alguna oportunidad de hacer cambios (el cliente puede ser el propio departamento de marketing de la empresa, que planifica las promociones del producto, la ampliación del surtido, o algo parecido). Observe en la ilustración que durante las siguientes ocho semanas el programa maestro está congelado. Cada empresa tiene sus límites y reglas de

ILUSTRACIÓN 18.1 Plan agregado y programa maestro de producción de colchones.

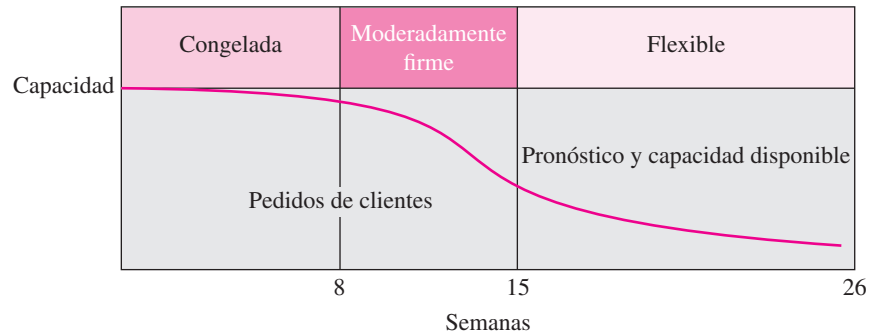
Plan agregado de producción de colchones

Mes	1	2
Producción de colchones	900	950

Programa maestro de producción de modelos de colchones

	1	2	3	4	5	6	7	8
Modelo 327	200			400		200	100	
Modelo 538		100	100		150		100	
Modelo 749			100			200		200

ILUSTRACIÓN 18.2 Restricciones de tiempo en un programa maestro de producción.



operación. Según estas reglas, *congelado* se define lo mismo como que no hay ningún cambio, en una compañía, que aceptar sólo cambios menores, en otra. *Moderadamente firme* permitiría cambios en productos específicos de un grupo siempre que se tengan las piezas. *Flexible* concedería casi todas las variaciones de los productos con la condición de que la capacidad sea más o menos la misma y que los márgenes de tiempo entre piezas no sean excesivos.

Disponible para prometer

Algunas empresas usan una característica conocida como **disponible para prometer** para las piezas que están en el programa maestro. Esta característica identifica la diferencia entre el número de unidades contenidas en el programa maestro y los pedidos de los clientes. Por ejemplo, suponga que el programa maestro indica que se van a hacer 100 unidades del colchón modelo 538 en la semana siete. Si el cliente de la empresa indica que solo se han vendido 65 colchones, el grupo de ventas tiene otros 35 colchones “disponibles para prometer” la entrega en esa semana. Se trata de una herramienta muy útil para coordinar actividades de ventas y producción.

Dónde se aplica la MRP

La MRP tiene más provecho en las industrias donde varios productos se hacen en lotes con el mismo equipo de producción. En la lista de la ilustración 18.3 hay ejemplos de industrias y beneficios esperados de MRP. Como se desprende de la figura, la MRP se ajusta mejor a las compañías dedicadas a operaciones de ensamble que a las de fabricación. Hay que tomar nota de

ILUSTRACIÓN 18.3 Aplicaciones industriales y beneficios esperados de la MRP.

Tipo de industria	Ejemplos	Beneficios esperados
Ensamblar para existencias	Combina múltiples partes componentes en un producto terminado, que se guarda en inventario para satisfacer la demanda de los clientes. Ejemplos: relojes, herramientas, electrodomésticos.	Grandes
Fabricar para existencias	Los artículos se maquinan, más que armarse. Son existencias que suelen guardarse en anticipación de la demanda de los clientes. Ejemplos: anillos de pistones, alternadores eléctricos.	Escasos
Ensamblar por pedido	Se hace un ensamble final de opciones estándares que escoge el cliente. Ejemplos: camiones, generadores, motores.	Grandes
Fabricar por pedido	Las piezas se maquinan sobre pedido de los clientes. En general se trata de pedidos industriales. Ejemplos: cojinetes, engranes, cinturones.	Escasos
Manufactura por pedido	Las piezas se fabrican o arman completamente según las especificaciones del cliente. Ejemplos: generadores de turbinas, máquinas, herramientas pesadas.	Grandes
Proceso	Abarca industrias como fundiciones, caucho y plásticos, papel especial, productos químicos, pintura, medicina y procesadoras de alimentos.	Regulares

otro punto: MRP no funciona bien en compañías que producen pocas unidades al año. Sobre todo en empresas que fabrican productos caros y complicados que requieren investigación y diseño avanzados, la experiencia demuestra que los márgenes de tiempo son muy tardados e inseguros, y la configuración de los productos es demasiado compleja. Estas compañías requieren las características de control que ofrecen las técnicas de programación en red. Estos métodos de administración de proyectos se cubrieron en el capítulo 10.



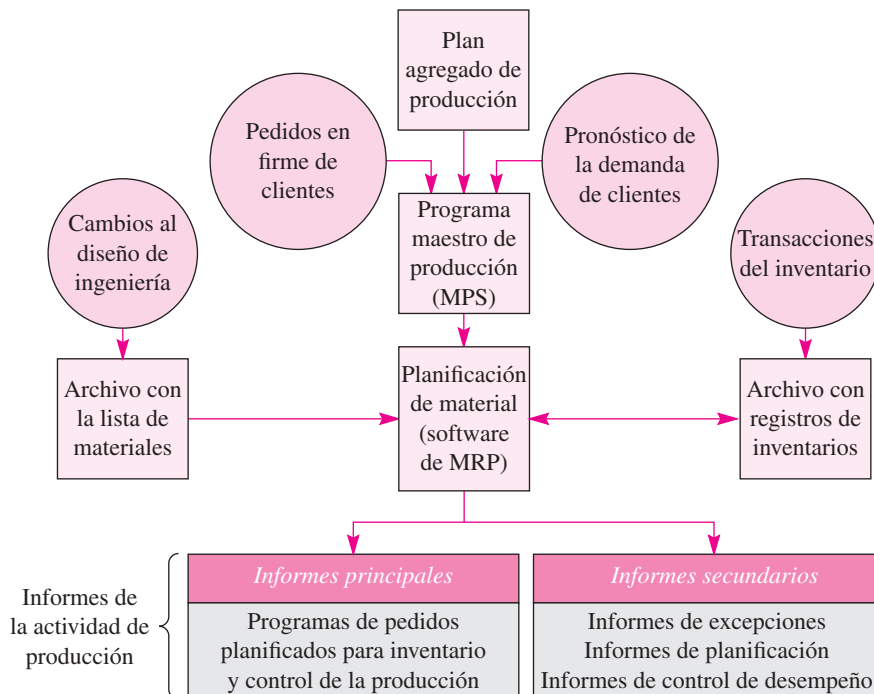
Caterpillar manufactura más de 300 productos en 23 países y atiende a clientes en 200 países. “CAT” depende de la MRP para planificar su inventario de manufactura.

Estructura del sistema de planificación de requerimiento de materiales

El aspecto de planificación de requerimiento de materiales de las actividades de manufactura guarda una relación estrecha con el programa maestro, el archivo con la lista de los materiales y los informes de producción, según se aprecia en la ilustración 18.4.

Cada faceta de la ilustración 18.4 se detalla en las secciones siguientes, pero, en esencia, el sistema de MRP funciona como sigue: el programa maestro de producción señala el número de piezas que se van a producir en tiempos específicos. En un archivo con la *lista de materiales* se especifican los materiales de que consta cada pieza y las cantidades correctas de cada uno. El archivo con el registro de inventarios contiene datos como el número de unidades disponibles y pedidas. Estas tres fuentes (programa maestro de producción, archivo con la lista de materiales y archivo de registros de inventarios) se convierten en las fuentes de datos para el programa de requerimiento de materiales, que despliega el programa de producción en un plan detallado de programación de pedidos para toda la secuencia de la producción.

ILUSTRACIÓN 18.4 Panorámica de los elementos que componen un programa estándar de requerimientos de material y los informes que genera.



DEMANDA DE PRODUCTOS

La demanda de productos terminados proviene sobre todo de dos fuentes. La primera son los clientes conocidos que hacen pedidos específicos, como los que genera el personal de ventas, o de transacciones entre departamentos. Estos pedidos suelen tener una fecha de entrega prometida. No hay que pronosticar estos pedidos: tan solo se agregan. La segunda fuente es la demanda pronosticada, que abarca los pedidos de demanda independiente; los modelos de pronóstico que se presentaron en el capítulo 15 sirven para la predicción de volúmenes. La demanda de los clientes conocidos y la demanda pronosticada se combinan y se convierten en la base para el programa maestro de producción, según se describió en la sección anterior.

Además de la demanda de productos finales, los clientes también hacen pedidos de piezas y componentes como reservas o como refacciones para servicio y reparación. Estas demandas no suelen formar parte del programa maestro de producción, sino que se incorporan al programa de planificación de requerimiento de materiales en los niveles apropiados; es decir, se agregan como necesidad bruta de una pieza o componente.

LISTA DE MATERIALES

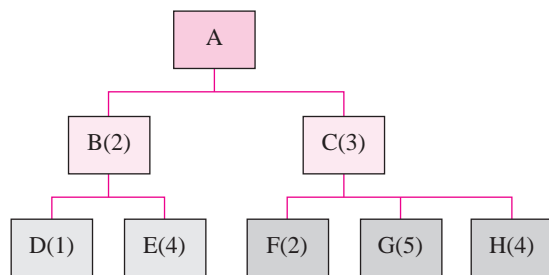
Lista de materiales

El archivo con la **lista de materiales (BOM)** contiene la descripción completa de los productos y consigna materiales, piezas y componentes, además de la secuencia en que se elaboran los productos. Esta BOM es uno de los principales elementos del programa de MRP (los otros dos son el programa maestro y el archivo con los registros de inventarios).

El archivo con la BOM se llama también *archivo de estructura del producto* o *árbol del producto*, porque muestra cómo se arma el producto. Contiene la información para identificar cada artículo y la cantidad usada por unidad de la pieza de la que forma parte. Para ilustrarlo, considere el producto A de la ilustración 18.5A. El producto A consta de dos unidades de la pieza B y tres unidades de la pieza C. La pieza B consiste en una unidad de la pieza D y cuatro unidades de la pieza E. La pieza C se fabrica con de dos unidades de la pieza F, cinco unidades de la pieza G y cuatro unidades de la pieza H.

ILUSTRACIÓN 18.5

A. Lista de materiales (árbol estructural del producto) del producto A.



B. Lista de piezas en formato escalonado y de nivel único.

Lista escalonada de piezas	Lista de nivel único
A	A
B(2)	B(2)
D(1)	C(3)
E(4)	B
C(3)	D(1)
F(2)	E(4)
G(5)	C
H(4)	F(2)
	G(5)
	H(4)

Muchas veces, en la lista de materiales se anotan las piezas con una estructura escalonada. Así se identifica con claridad cada pieza y la manera en que se arma, porque cada escalón representa sus componentes. Una comparación de las piezas escalonadas de la ilustración 18.5B con la estructura por piezas de la ilustración 18.5A revela la facilidad de relacionar las dos disposiciones. Ahora bien, desde el punto de vista de una computadora, es muy ineficiente guardar las piezas escalonadas. Para calcular el volumen necesario de cada pieza de los niveles inferiores, cada pieza tiene que expandirse y resumirse. Un procedimiento más eficaz es guardar los datos de las piezas en listas de nivel único. Es decir, al anotar cada pieza y componente solo se muestra su antecesor y el número de unidades necesarias por unidad antecesora. Esto evita la duplicación, porque incluye solo una vez cada ensamble. En la ilustración 18.5B se muestran las piezas del producto A escalonadas y en nivel único.

Una lista de materiales *modular* se refiere a piezas que se producen y almacenan como partes de un ensamble. También es una pieza estándar de un módulo, sin opciones. Muchas piezas finales que son grandes y caras se programan y controlan mejor como módulos o subensambles. Es en particular ventajoso programar módulos de subensambles idénticos que aparecen en varias piezas distintas. Por ejemplo, un fabricante de grúas combina plumas, transmisiones y motores de diversas maneras para satisfacer las necesidades de los clientes. Usar una lista de materiales modular simplifica la programación y el control, y también facilita el pronóstico del uso de distintos módulos. Otro beneficio de las listas modulares es que si la misma pieza se usa en varios productos, disminuye la inversión total en inventarios.

Una *superlista* de materiales incluye piezas con opciones fraccionales (por ejemplo, una superlista específica 0.3 de una pieza, lo que significa que 30% de las unidades producidas contienen esa pieza y 70% no). Las superlistas y las modulares se conocen también como listas de planificación de materiales, pues simplifican el proceso de planificación.

Codificación de nivel inferior Si todas las piezas idénticas están en el mismo nivel de todos los productos finales, se calcula fácilmente el número total de piezas y materiales necesarios para un producto. Considere el producto L de la ilustración 18.6A. Observe que, por ejemplo, la pieza N aparece como insumo de L y como insumo de M. Por tanto, la pieza N tiene que ser inferior al nivel 2 (ilustración 18.6B) para que todas las N estén en el mismo nivel. Si todas las piezas idénticas se colocan en el mismo nivel, se vuelve mera cuestión de inspeccionar los niveles y resumir el número de unidades que se requieren de cada pieza.

REGISTROS DE INVENTARIO

El archivo de registros de inventarios puede ser muy grande. En la ilustración 18.7 se muestra la variedad de la información contenida en esos registros. El programa de MRP abre el segmento de *estado* del registro de acuerdo con periodos específicos (llamados *racimos de tiempos* en la jerga de MRP). Estos registros se consultan según se necesite durante la ejecución del programa.

Como se verá, el programa de MRP realiza su análisis de la estructura del producto en forma descendente y calcula las necesidades nivel por nivel. Sin embargo, hay ocasiones en que es deseable identificar la pieza antecesora que generó la necesidad material. El programa de MRP permite la creación de *registros indexados*, ya sea en forma separada o como parte del archivo de registros de inventarios. Indexar las necesidades permite rastrearlas en la estructura de productos por cada nivel ascendente e identificar las piezas antecesoras que generaron la demanda.

Archivo de estado del inventario El archivo de estado del inventario se mantiene actualizado al asentar las transacciones del inventario conforme ocurren. Estos cambios se deben a entradas y salidas de existencias, pérdidas por desperdicio, piezas equivocadas, pedidos cancelados, etcétera.

PROGRAMA DE CÓMPUTO PARA LA MRP

El programa de planificación de requerimiento de materiales opera con la información de los registros de inventarios, el programa maestro y la lista de materiales. El proceso de calcular las necesidades exactas de cada pieza que maneja el sistema se conoce como proceso de “explosión”. Al continuar en sentido descendente por la lista de materiales, las necesidades de piezas antecedentes se usan para calcular las necesidades de componentes. Se pone atención a los saldos actuales y pedidos programados para recibirse en el futuro.

Lo que sigue es una descripción general del proceso de explosión de la MRP:

1. Se toman del programa maestro las necesidades de piezas del nivel 0, por lo general llamadas “piezas finales”. Estas necesidades se conocen como “necesidades brutas” en el programa de MRP. Lo normal es que las necesidades brutas se programen en grupos semanales.

ILUSTRACIÓN 18.6 Jerarquía del producto L en (A) expandida al nivel más bajo de cada pieza en (B).

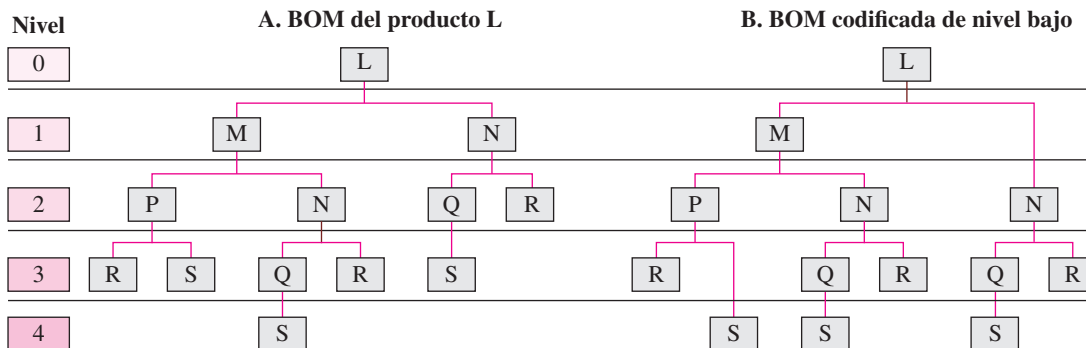


ILUSTRACIÓN 18.7 Registro del estado de una pieza inventariada.

Segmento maestro de datos de piezas	Núm. pieza	Descripción	Tiempo de entrega	Costo estándar	Inventario de seguridad							
	Volumen del pedido		Preparación	Ciclo	Uso del año pasado	Clase						
	Margen de desperdicio		Datos de corte	Apuntadores	Etc.							
Segmento de estado del inventario	Asignado	Saldo de control	Periodo								Totales	
			1	2	3	4	5	6	7	8		
	Necesidades brutas											
	Entradas programadas											
	Saldo disponible proyectado											
	Envíos pedidos planificados											
Segmento de datos filiales	Detalles de pedidos											
	Acciones pendientes											
	Contadores											
	Seguimiento											

2. A continuación, el programa toma los saldos actuales junto con el programa de pedidos que se van a recibir para calcular las “necesidades netas”, que son los montos que se necesitan cada semana además de lo que se tiene ahora o se consiguió a través de un pedido puesto y programado.
3. Con las necesidades netas, el programa calcula cuándo deben recibirse los pedidos para satisfacerlas. Puede ser un proceso simple de programar los pedidos para que lleguen según las necesidades netas exactas o un proceso más complicado en el que se combinen las necesidades de varios periodos. Este programa de cuándo deben llegar los pedidos se conoce como “entradas de pedidos planificados”.
4. Como cada pedido suele tener un tiempo de entrega, el siguiente paso es calcular un programa para cuando los pedidos se expidan. Esto se consigue al compensar las “entradas de pedidos planificados” con los márgenes de tiempo necesarios. Este programa se llama “expedición de pedidos planificados”.
5. Al terminar estos cuatro pasos con todas las piezas de nivel cero, el programa pasa a las piezas del nivel 1.
6. Las necesidades brutas de las piezas del nivel 1 se calculan a partir del programa de expedición de pedidos planificados para las antecesoras de las piezas del nivel 1. Toda demanda adicional independiente también debe incluirse en las necesidades brutas.
7. Después de determinar las necesidades brutas se calculan las necesidades netas, entradas de pedidos planificados y expedición de pedidos planificados según se describió en los pasos 2 a 4.
8. El proceso se repite con cada nivel de la lista de materiales.

La realización de estos cálculos es mucho más simple que su descripción, como se verá en el ejemplo que sigue. Por lo general, los cálculos de la explosión se realizan cada semana o cuando se altera el programa maestro. Algunos programas de MRP tienen la opción de generar calendarios inmediatos, llamados programas de *cambio neto*. Los **sistemas de cambio neto** dependen de las actividades, necesidades y programas que se actualizan cuando se procesa una transacción que repercute en el rubro. El cambio neto permite al sistema reflejar en “tiempo real” el estado exacto de cada pieza que maneja el sistema.

Ejemplo de uso de la MRP

Ampere, Inc., produce una línea de medidores de electricidad que instalan en edificios residenciales compañías de servicios de electricidad para medir el consumo. Los medidores para casas unifamiliares son de dos tipos básicos con diferentes gamas de voltaje y amperaje. Además de medidores completos, algunos subensambles se venden por separado para reparación o para cambios de voltaje o carga de corriente. El problema para el sistema de MRP es determinar un programa de producción que identifique cada pieza, el periodo que se necesita y las cantidades apropiadas. A continuación se verifica la viabilidad del programa y, si es necesario, se modifica.



PRONÓSTICO DE LA DEMANDA

La demanda de medidores y componentes proviene de dos fuentes: clientes normales que hacen pedidos en firme y clientes indiferenciados que hacen una demanda normal aleatoria de estos artículos. Las necesidades aleatorias se pronosticaron con una de las técnicas usuales descritas en el capítulo 15 y con datos de la demanda anterior. En la ilustración 18.8 se muestran los requisitos de los medidores A y B, y el subensamble D, para un periodo de tres meses (meses tres a cinco). Hay “otras piezas” con que se fabrican los medidores pero no se incluyen en este ejemplo para evitar complicaciones.

ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA MAESTRO DE PRODUCCIÓN

Para las necesidades de los medidores y componentes especificados en la ilustración 18.8 suponga que se debe contar con los volúmenes para satisfacer la demanda conocida y la aleatoria durante la primera semana del mes. Esta suposición es razonable, pues la gerencia (en este ejemplo) prefiere producir medidores en un lote único cada mes y no varios lotes a lo largo del mes.

En la ilustración 18.9 se muestra el programa maestro de prueba que se usó en estas condiciones, con la demanda de los meses 3, 4 y 5 anotados en la primera semana de cada mes, es decir, las semanas 9, 13 y 17. En aras de la brevedad, aquí se trabajará con la demanda hasta la semana 9. Debe examinarse el programa que se va a elaborar para conocer la disponibilidad de

ILUSTRACIÓN 18.8 Requisitos futuros de los medidores A y B, y el subensamble D de pedidos específicos de clientes y fuentes aleatorias.

Mes	Medidor A		Medidor B		Subensamble D	
	Conocido	Aleatorio	Conocido	Aleatorio	Conocido	Aleatorio
3	1 000	250	410	60	200	70
4	600	250	300	60	180	70
5	300	250	500	60	250	70

ILUSTRACIÓN 18.9 Programa maestro para satisfacer las necesidades de la demanda según se especifica en la ilustración 18.8.

	Semana								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Medidor A	1 250				850				550
Medidor B	470				360				560
Subensamble D	270				250				320

recursos, disponibilidad de capacidad, etc., y luego debe revisarse y ejecutarse de nuevo, aunque el ejemplo se dará por terminado al final de esta programación única.

LISTA DE MATERIALES (ESTRUCTURA DE PRODUCTOS)

En la ilustración 18.10A se muestra la estructura de los medidores A y B a la manera usual de codificación de nivel bajo, en la que cada pieza se sitúa en el nivel más bajo en el que aparece en la jerarquía estructural. Los medidores A y B constan de un subensamble común, C, y algunas piezas, entre las que se cuenta la pieza D. Para que todo sea sencillo, el ejemplo se enfoca solo en una pieza, D, que es un transformador.

Observe en la estructura de productos que la pieza D (el transformador) se usa en el subensamble C (que se utiliza en los medidores A y B). En el caso del medidor A se necesita una pieza D adicional (transformador). El 2 entre paréntesis junto a D cuando se usa para fabricar C indica que se requieren dos D por cada C fabricado. La estructura del producto, así como la lista escalonada de la ilustración 18.10B, indican cómo se hacen los medidores. En primer lugar se hace el subensamble C y potencialmente se pasa al inventario. En el proceso final de ensamblado, los medidores A y B se juntan y, en el caso del medidor A, se usa una pieza D adicional.

REGISTROS DE INVENTARIOS

Los datos de los registros de inventarios serían como los que aparecen en la ilustración 18.7. Según se mostró antes, aquí se incluyen datos adicionales, como la identidad del proveedor, costos y tiempo de entrega. En este ejemplo, los datos pertinentes incluyen las existencias al comienzo de la ejecución del programa, las necesidades de inventario de seguridad y el estado actual de los pedidos que ya se terminaron (vea la ilustración 18.11). El inventario de seguridad es el inventario mínimo que se quiere tener siempre de una pieza. Por ejemplo, del subensamble C nunca se quiere que el inventario baje de cinco unidades. También se ve que hay un pedido de 10 unidades del medidor B que está programado para entrada a comienzos de la semana 5. Otro pedido de 100 unidades de la pieza D (el transformador) está programado para llegar a comienzos de la semana 4.

CÁLCULOS DE LA MRP

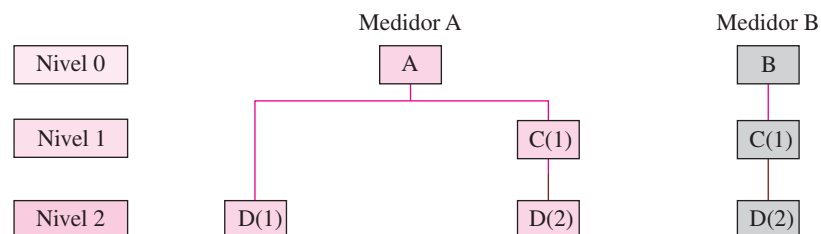
Así se dan las condiciones para realizar los cálculos de MRP: en el programa maestro de producción se presentaron las necesidades de piezas finales, al tiempo que se cuenta con el estado del

ILUSTRACIÓN 18.10

A. Estructura de producto para los medidores A y B.



Tutorial:
MRP



B. Lista de partes escalonadas para el medidor A y para el medidor B, con la cantidad requerida de piezas por unidad antecesora entre paréntesis.

Medidor A		Medidor B	
A		B	
	D(1)		C(1)
	C(1)		D(2)
	D(2)		

La ilustración muestra los subensambles y las piezas que componen los medidores y se indica entre paréntesis el número de unidades necesarias por unidad antecesora.

ILUSTRACIÓN 18.11 Unidades en existencia y datos de tiempos de entrega que aparecerían en el archivo de registros de inventarios.

Artículo	Existencias	Tiempo de entrega (semanas)	Inventario de seguridad	Pedido
A	50	2	0	
B	60	2	0	10 (semana 5)
C	40	1	5	
D	200	1	20	100 (semana 4)

inventario y los márgenes de tiempo. También se tienen los datos pertinentes sobre la estructura de los productos. Los cálculos de la MRP (que se conocen como “explosión”) se hacen nivel por nivel, junto con los datos del inventario y los del programa maestro.

En la ilustración 18.12 se dan los detalles de estos cálculos. En el análisis siguiente se detalla la lógica. El análisis se limita al problema de satisfacer las necesidades brutas de 1 250 unidades del medidor A, 470 unidades del medidor B y 270 unidades del transformador D, todo en la semana 9.

Se lleva un registro de la MRP de cada pieza que se maneja en el sistema. El registro contiene *necesidades brutas*, *entradas programadas*, *saldo disponible proyectado*, *necesidades netas*, *entradas de pedidos planificados* y datos sobre *expedición de pedidos planificados*. Las *necesidades brutas* son el volumen total necesario para una pieza en particular. Estos requisitos provienen de la demanda de clientes externos y también de la demanda calculada por las necesidades de manufactura. Las *entradas programadas* representan pedidos que ya se hicieron y que está previsto que lleguen a comienzos del periodo. Cuando se libera la papelería de un pedido, lo que antes era un pedido “planificado” se convierte en una *entrada programada*. El *saldo disponible proyectado* es el monto del inventario que se espera tener a finales del periodo. Se calcula como sigue:

$$\text{Saldo disponible proyectado}_t = \text{Saldo disponible proyectado}_{t-1} - \text{Necesidades brutas}_t + \text{Entradas planificadas}_t + \text{Entradas de pedidos planificados}_t - \text{Inventario de seguridad}$$

Una *necesidad neta* es el monto que se requiere cuando el *saldo disponible proyectado* más las *entradas programadas* en un periodo no bastan para cubrir las *necesidades brutas*. La *entrada de pedidos planificados* es el monto de un pedido que se requiere para satisfacer una necesidad neta en el periodo. Por último, la *expedición de pedidos planificados* es la entrada de pedidos planificados compensada por el tiempo de entrega.

Si se comienza con el medidor A, el saldo disponible proyectado es de 50 unidades y no hay necesidades netas hasta la semana 9. En esa semana 9 se necesitan 1 200 unidades para cubrir la demanda de 1 250 generada por el pedido programado en el programa maestro. La cantidad de pedidos se designa “por lote”, lo que significa que se puede ordenar la cantidad exacta para satisfacer las necesidades netas. Por tanto, se planifica un pedido para entradas de 1 200 unidades a comienzos de la semana 9. Como el tiempo de entrega es de dos semanas, este pedido debe expedirse a comienzos de la semana 7.

El medidor B es semejante a A, aunque un pedido de 10 unidades está programado para entrada en el periodo 5. Se proyecta que se tendrán 70 unidades al final de la semana 5. Hay una necesidad neta de 400 unidades adicionales para satisfacer la necesidad neta de 470 unidades en la semana 9. Este requisito se satisface con un pedido de 400 unidades que debe expedirse a comienzos de la semana 7.

La pieza C es un subensamble usado en los medidores A y B. Solo se necesitan más C si se fabrican A o B. En el análisis de A se indica que un pedido de 1 200 se enviará en la semana 7. Un pedido de 400 unidades de B también se entregará esa semana 7, así que la demanda total de C es de 1 600 unidades en la semana 7. El saldo disponible proyectado es de 40 unidades menos el inventario de seguridad de 5 que se especificó, o 35 unidades. En la semana 7, las necesidades

ILUSTRACIÓN 18.12 Programa de planificación de requerimiento de materiales de los medidores A y B, y los subensambles C y D.



Tutorial:
MRP

Pieza		Semana						
		4	5	6	7	8	9	
A TE = 2 semanas A la mano = 50 Inventario de seguridad = 0 Cantidad pedida = lote por lote	Necesidades brutas							1 250
	Entradas programadas							
	Saldos disponibles proyectados	50	50	50	50	50	50	50
	Necesidades netas							1 200
	Entradas de pedidos planificados							1 200
	Expedición de pedidos planificados					1 200		
B TE = 2 semanas A la mano = 60 Inventario de seguridad = 0 Cantidad pedida = lote por lote	Necesidades brutas							470
	Entradas programadas		10					
	Saldos disponibles proyectados	60	60	70	70	70	70	70
	Necesidades netas							400
	Entradas de pedidos planificados							400
	Expedición de pedidos planificados					400		
C TE = 1 semana A la mano = 40 Inventario de seguridad = 5 Cantidad pedida = 2 000	Necesidades brutas							
	Entradas programadas							
	Saldos disponibles proyectados	35	35	35	35	435	435	435
	Necesidades netas							1 565
	Entradas de pedidos planificados							2 000
	Expedición de pedidos planificados				2 000			
D TE = 1 semana A la mano = 200 Inventario de seguridad = 20 Cantidad pedida = 5 000	Necesidades brutas							270
	Entradas programadas	100						
	Saldos disponibles proyectados	180	280	280	1 280	80	80	80
	Necesidades netas							190
	Entradas de pedidos planificados							5 000
	Expedición de pedidos planificados		5 000				5 000	

netas son de 1 565 unidades. La política de pedidos de C indica un volumen de pedido de 2 000 unidades, así que se planifica una entrada de pedidos de 2 000 para la semana 7. Este pedido tiene que hacerse en la semana 6 debido al tiempo de entrega de una semana. Si se supone que el pedido en realidad se procesa en el futuro, el saldo proyectado es de 435 unidades en las semanas 7, 8 y 9.

La pieza D, el transformador, tiene una demanda de tres fuentes. La demanda de la semana 6 se debe a la necesidad de poner piezas D en el subensamble C. En este caso se requieren dos D por cada C, es decir, 4 000 unidades (la estructura del producto indica que es una relación de dos a uno). En la séptima semana se necesitan 1 200 D para el pedido de 1 200 A programado

para la semana 7. Hacen falta otras 270 unidades en la semana 9 para satisfacer la demanda independiente establecida en el programa maestro. El saldo disponible proyectado al final de la semana 4 es de 280 unidades (200 en existencias más la entrada proyectada de 100 unidades menos el inventario de seguridad de 20 unidades) y 280 unidades en la semana 5. Hay una necesidad neta de otras 3 720 unidades en la semana 6, así que se planifica recibir un pedido de 5 000 unidades (el volumen del pedido). Esto da por resultado un saldo proyectado de 80 en la semana 7, pues se usan 1 200 para satisfacer la demanda. Se proyectan 80 unidades para disposición en la semana 8. Debido a la demanda de 270 unidades en la semana 9, una necesidad neta de 190 unidades en la semana 9 lleva a la planificación de la entrada de otro pedido de 5 000 unidades en la semana 9.

EJEMPLO 18.1: Cálculos de explosión de la MRP

Juno Lighting fabrica focos especiales, populares en los hogares nuevos. Juno espera que la demanda de dos focos populares sea la siguiente en las próximas ocho semanas:



Paso por paso

	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
VH1-234	34	37	41	45	48	48	48	48
VH2-100	104	134	144	155	134	140	141	145

Un componente fundamental del producto es un casquillo al que se enroscan los focos en una base. Cada foco viene con un casquillo. Con la siguiente información planee la producción de los focos y las compras de casquillos.

	VH1-234	VH2-100	Casquillo del foco
Existencias	85	358	425
Cantidad	200 (tamaño del lote de producción)	400 (tamaño del lote de producción)	500 (cantidad comprada)
Tiempo de entrega	1 semana	1 semana	3 semanas
Inventario de seguridad	0 unidades	0 unidades	20 unidades

Solución

Pieza		Semana							
		1	2	3	4	5	6	7	8
VH1-234	Necesidades brutas	34	37	41	45	48	48	48	48
	Cantidad = 200								
	TE = 1	51	14	173	128	80	32	184	136
	Existencias = 85			27					16
	IS = 0			200					200
VH2-100	Necesidades brutas	104	134	144	155	134	140	141	145
	Cantidad = 400								
	TE = 1	254	120	376	221	87	347	206	61
	Existencias = 385			24			53		
	IS = 0			400			400		
Casquillo	Necesidades brutas		600			400	200		
	Cantidad = 500		500						
	TE = 3	905	305	305	305	405	205	205	205
	Existencias = 425					95			
	IS = 20					500			
	Expedición de pedidos planificados			500					

La mejor manera de proceder es trabajar por periodo y concentrarse en el cálculo del saldo disponible. Si el saldo disponible es menor que cero, se genera una necesidad neta. Cuando ocurre así, se planifica una entrada de pedido para satisfacer la necesidad. Por ejemplo, para VH1 se empieza con 85 unidades en existencia y se necesitan 34 para satisfacer las necesidades de producción de la semana 1. Con esto el saldo disponible al final de la semana 1 pasa a 51 unidades. Se usan otras 37 unidades durante la semana 2, lo que reduce el inventario a 14. En la semana 3, el saldo proyectado baja a cero y se tiene una necesidad neta de 27 unidades que hay que cubrir con un pedido programado para recibir en la semana 3. Como el tiempo de entrega es de una semana hay que expedir este pedido en la semana 2. El saldo proyectado en la semana 4 es de 128, que se calcula al tomar las 200 unidades que se recibieron en la semana 3 y restar la necesidad neta de esta semana de 27 unidades y la de 45 unidades en la semana 4.

Como los casquillos se usan en VH1 y VH2, las necesidades brutas vienen de la expedición de pedidos para estas piezas: 600 se necesitan en la semana 2 (200 para VH1 y 400 para VH2), 400 en la semana 5 y 200 en la semana 6. El saldo disponible proyectado es un inventario inicial de 425 más las entradas programadas de 500 unidades menos las 20 unidades del inventario de seguridad. ●

Tamaño de lote en los sistemas de MRP

Determinar los tamaños de lote en un sistema MRP es un problema complicado y difícil. Los tamaños de lote son las cantidades de piezas emitidas en la entrada de pedidos planificados y las secciones de expedición de pedidos planificados de un programa MRP. En el caso de las piezas producidas internamente, los tamaños de lote son las cantidades de producción de los tamaños de lote. En cuanto a las piezas compradas, se refiere a las cantidades pedidas al proveedor. Los tamaños de lote por lo común cumplen con los requisitos de las piezas durante uno o más periodos.

La mayoría de las técnicas para determinar los tamaños de lote se refiere a equilibrar los costos de preparación o los costos de pedidos y mantener los costos asociados al cumplimiento de los requisitos netos generados por el proceso de MRP. Muchos sistemas MRP tienen opciones para calcular los tamaños de lote basadas en las técnicas más comunes. Las técnicas para determinar los tamaños de lote aumentan la complejidad de ejecutar programas de MRP en una planta. En un esfuerzo por ahorrar costos de preparación se debe almacenar el inventario generado con las necesidades de tamaños de lote más grandes, lo que complica mucho más la logística de la planta.

A continuación se explican las cuatro técnicas de determinación de tamaños de lote con un ejemplo común. Las técnicas presentadas son por lote (L4L), cantidad de pedido económico (EOQ), costo total mínimo (CTM) y costo unitario mínimo (CUM).

Considere el siguiente problema de determinación de tamaños de lote en la MRP; se presentan las necesidades netas de ocho semanas del programa:

Costo por pieza	\$10.00						
Costo del pedido o de preparación	\$47.00						
Costo de llevar el inventario/semana	0.5%						
Necesidades netas semanales:							
1	2	3	4	5	6	7	8
50	60	70	60	95	75	60	55

LOTE POR LOTE

La técnica lote por lote (L4L) es la más común, y:

- Establece pedidos planificados que corresponden exactamente con las necesidades netas.
- Produce exactamente lo necesario cada semana sin transferencia a periodos futuros.
- Reduce al mínimo el costo.
- No toma en cuenta los costos de preparación ni las limitaciones de capacidad.

En la ilustración 18.13 se muestran los cálculos lote por lote. Las necesidades netas aparecen en la columna 2. Como la lógica por lote indica que la cantidad de producción (columna 3) corres-

ILUSTRACIÓN 18.13 Tamaño de corrida lote por lote para un programa de MRP.

(1) Semana	(2) Necesidades netas	(3) Cantidad de producción	(4) Inventario final	(5) Costo de llevar el inventario	(6) Costo de preparación	(7) Costo total
1	50	50	0	\$0.00	\$47.00	\$ 47.00
2	60	60	0	0.00	47.00	94.00
3	70	70	0	0.00	47.00	141.00
4	60	60	0	0.00	47.00	188.00
5	95	95	0	0.00	47.00	235.00
6	75	75	0	0.00	47.00	282.00
7	60	60	0	0.00	47.00	329.00
8	55	55	0	0.00	47.00	376.00

ponde exactamente a la cantidad requerida (columna 2), no quedará inventario al final (columna 4). Sin inventario que transferir a la semana siguiente, el costo de mantenimiento de inventario es cero (columna 5). Sin embargo, la técnica lote por lote requiere un costo de preparación cada semana (columna 6). Cabe mencionar que hay un costo de reparar cada semana porque se trata de un centro de trabajo dedicado a una serie de piezas cada semana. No se trata de un centro de trabajo donde solo se trabaja en un producto y permanece al mínimo cuando no se trabaja en ese producto (en cuyo caso solo resultaría una preparación). La técnica lote por lote genera costos de preparación altos.

CANTIDAD DE PEDIDO ECONÓMICA

En el capítulo 17 se analizó el modelo EOQ que equilibra explícitamente los costos de preparación y retención. En un modelo EOQ debe existir una demanda más o menos constante o mantenerse un inventario de seguridad a fin de responder ante una variabilidad de la demanda. En el modelo EOQ se utiliza un estimado de la demanda anual total, el costo de preparación o pedido y el costo anual de mantener el inventario. El diseño de EOQ no es para un sistema con periodos discretos, como la MRP. Las técnicas de determinación de tamaños de lote para MRP suponen que al principio del periodo se satisfacen las necesidades de las piezas. Más adelante, los costos de llevar el inventario solo se cargan al inventario final del periodo, no al inventario promedio, como en el caso del modelo EOQ. La EOQ supone que las piezas se usan continuamente durante el periodo. Los tamaños de lote generados por la EOQ no siempre abarcan el número completo de periodos. Por ejemplo, la EOQ puede cubrir las necesidades de 4.6 periodos. Con los mismos datos del ejemplo de la técnica por lote, la cantidad de pedido económica se calcula como sigue:

$$\text{Demanda anual basada en las 8 semanas} = D = \frac{525}{8} \times 52 = 3\,412.5 \text{ unidades}$$

$$\text{Costo anual de mantener el inventario} = H = 0.5\% \times \$10 \times 52 \text{ semanas} = \$2.60 \text{ por unidad}$$

$$\text{Costo de preparación} = S = \$47 \text{ (determinado)}$$

$$\therefore \text{EOQ} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(3\,412.5)(\$47)}{\$2.60}} = 351 \text{ unidades}$$

En la ilustración 18.14 se muestra el programa de MRP con una EOQ de 351 unidades. El tamaño del lote EOQ en la semana 1 basta para cubrir las necesidades de las semanas 1 a 5, y parte de la semana 6. Después, en la semana 6 se planifica otra EOQ para cubrir las necesidades de las semanas 6 a 8. Cabe notar que en el plan de EOQ queda un poco de inventario al final de la semana 8 que se transfiere a la semana 9.

COSTO TOTAL MÍNIMO

El método del costo total mínimo (CTM) es una técnica dinámica de determinación de tamaños de lote que calcula la cantidad de pedidos al comparar el costo de llevar el inventario y los costos

ILUSTRACIÓN 18.14 Tamaño de corrida de cantidad de pedido económica para un programa de MRP.

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Inventario final	Costo de llevar el inventario	Costo de preparación	Costo total
1	50	351	301	\$15.05	\$47.00	\$62.05
2	60	0	241	12.05	0.00	74.10
3	70	0	171	8.55	0.00	82.65
4	60	0	111	5.55	0.00	88.20
5	95	0	16	0.80	0.00	89.00
6	75	351	292	14.60	47.00	150.60
7	60	0	232	11.60	0.00	162.20
8	55	0	177	8.85	0.00	171.05

de preparación (o pedido) de varios tamaños de lote, y después selecciona el lote en el que son casi iguales.

En la parte superior de la ilustración 18.15 se muestran los resultados del tamaño de lote de costo mínimo. El procedimiento para calcular los tamaños de lote del costo total mínimo es comparar los costos de pedidos y de retención (es decir, de llevar el inventario) durante varias semanas. Por ejemplo, se compararon los costos de producción de la semana 1 para cubrir las necesidades de esa semana; la producción de la semana 1 para las semanas 1 y 2; la producción de la semana 1 para cubrir las semanas 1, 2 y 3, y así sucesivamente. La selección correcta es el tamaño del lote en el que los costos de pedidos y de retención son más o menos iguales. En la ilustración 18.15, el mejor tamaño de lote es 335 porque un costo de retención de \$38 y un costo por pedido de \$47 se aproximan más a \$56.75 y \$47 (\$9 comparado con \$9.75). Este tamaño de lote cubre las necesidades de las semanas 1 a 5. A diferencia del EOQ, el tamaño de lote solo cubre periodos enteros.

Con base en la decisión en la semana 1 de hacer un pedido para cubrir cinco semanas, se llega a la semana 6 y el problema es determinar cuántas semanas se pueden abastecer en el futu-

ILUSTRACIÓN 18.15 Tamaño de corrida de costo total mínimo para un programa de MRP.

Semanas	Cantidad pedida	Costo de mantener inventario	Costo de pedido	Costo total	
1	50	\$0.00	\$47.00	\$47.00	
1-2	110	3.00	47.00	50.00	
1-3	180	10.00	47.00	57.00	
1-4	240	19.00	47.00	66.00	1er. pedido
1-5	335	38.00	47.00	85.00	← Costo total mínimo
1-6	410	56.75	47.00	103.75	
1-7	470	74.75	47.00	121.75	
1-8	525	94.00	47.00	141.00	
6	75	0.00	47.00	47.00	
6-7	135	3.00	47.00	50.00	2o. pedido
6-8	190	8.50	47.00	55.50	← Costo total mínimo

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Inventario final	Costo de mantener	Costo de preparación	Costo total
1	50	335	285	\$14.25	\$47.00	\$ 61.25
2	60	0	225	11.25	0.00	72.50
3	70	0	155	7.75	0.00	80.25
4	60	0	95	4.75	0.00	85.00
5	95	0	0	0.00	0.00	85.00
6	75	190	115	5.75	47.00	137.75
7	60	0	55	2.75	0.00	140.50
8	55	0	0	0.00	0.00	140.05

ro a partir de ese momento. En la ilustración 18.15 se muestra que los costos de retención y de pedidos son los más próximos a la cantidad que cubre las necesidades de las semanas 6 a 8. Se observa que los costos de retención y de pedidos se alejan. Lo anterior se debe a que el ejemplo solo se extiende hasta la semana 8. Si el horizonte de planificación fuera más largo, el tamaño de lote planificados para la semana 6 quizás abarcaría más semanas posteriores a la semana 8. Esto genera una de las limitaciones del CTM y CUM (estudiados más adelante). La duración del horizonte de la planificación influye en ambas técnicas. En la mitad inferior de la ilustración 18.15 se muestra el tamaño final de la corrida y el costo total.

COSTO UNITARIO MÍNIMO

El método de costo unitario mínimo es una técnica dinámica para determinar tamaños de lote que incluye el costo de transferencia de pedidos e inventario de cada tamaño de lote de prueba y se divide entre el número de unidades de cada tamaño de lote, seleccionando el tamaño de lote con el costo unitario más bajo. En la mitad superior de la ilustración 18.16 se calcula el costo unitario de pedir lotes para cubrir las necesidades de las semanas 1 a 8. Observe que el mínimo ocurrió cuando la cantidad 410, pedida en la semana 1, fue suficiente para cubrir las semanas 1 a 6. El tamaño de lote planificado para la semana 7 cubre hasta el final del horizonte de planificación.

El tamaño de corrida del costo unitario mínimo y el costo total se muestran en la mitad inferior de la ilustración 18.16.

ELECCIÓN DEL MEJOR TAMAÑO DE LOTE

Con el método lote por lote, el costo total de las ocho semanas es de \$376; el costo total de EOQ es de \$171.05; el método del costo total mínimo es de \$140.50, y el costo unitario mínimo es de \$153.50. El costo más bajo, \$140.50, se obtuvo con el método de costo total mínimo. Si hubiera más de ocho semanas, el costo más bajo podría ser diferente.

ILUSTRACIÓN 18.16 Tamaño de corrida de costo unitario mínimo para un programa de MRP.

Semanas	Cantidad pedida	Costo de mantener inventario	Costo de pedido	Costo total	Costo unitario	
1	50	\$0.00	\$47.00	\$47.00	\$0.9400	
1-2	110	3.00	47.00	50.00	0.4545	
1-3	180	10.00	47.00	57.00	0.3167	
1-4	240	19.00	47.00	66.00	0.2750	
1-5	335	38.00	47.00	85.00	0.2537	
1-6	410	56.75	47.00	103.75	0.2530	← 1er. pedido
1-7	470	74.75	47.00	121.75	0.2590	Costo unitario mínimo
1-8	525	94.00	47.00	141.00	0.2686	
?	60	0.00	47.00	47.00	0.7833	2o. pedido
7-8	115	2.75	47.00	49.75	0.4326	← Costo unitario mínimo

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Inventario final	Costo de mantener	Costo de preparación	Costo total
1	50	410	360	\$18.00	\$47.00	\$65.00
2	60	0	300	15.00	0.00	80.00
3	70	0	230	11.50	0.00	91.50
4	60	0	170	8.50	0.00	100.00
5	95	0	75	3.75	0.00	103.75
6	75	0	0	0	0	103.75
7	60	115	55	2.75	47.00	153.50
8	55	0	0	0	0	\$153.50

La ventaja del método del costo unitario mínimo es que es un análisis más completo y tomaría en consideración los costos del pedido o la preparación que podrían cambiar conforme aumentara el tamaño del pedido. Si los costos del pedido o la preparación se mantienen constantes, el método del costo total más bajo es más atractivo porque es más simple y fácil de calcular, y, sin embargo, sería igual de preciso con tal restricción.

Resumen

Desde la década de 1970, la MRP se amplió a partir de su propósito original de determinar los programas de tiempo simples para la producción y adquisición del material hasta su uso actual como parte integral de la planificación de recursos empresariales que conjunta las funciones más importantes de una empresa. La MRP ha demostrado ser una plataforma flexible y adaptable a muchas situaciones, como la manufactura repetitiva con sistemas justo a tiempo.

En este capítulo se abarcan los conceptos básicos para entender la MRP. El motor de la MRP toma la información de un programa maestro, que es un plan detallado para la producción futura. El programa maestro, conforme a las necesidades de la empresa, se establece en términos de productos individuales, productos genéricos o módulos y subensambles. El programa maestro forma parte del proceso de planificación de operaciones y ventas, crítico para poner en práctica con éxito la estrategia de operaciones de la empresa.

La lista de materiales describe la forma exacta en que una empresa prepara los elementos en el programa maestro. La “estructura” de la lista de materiales (a veces conocida como “estructura de productos”) captura cómo las materias primas y las piezas compradas conforman subensambles y estos, a su vez, forman los elementos del programa maestro.

El proceso de “explosión” de la MRP es el corazón del sistema. Con el programa maestro y la lista de materiales, aunado al estado de inventario actual (volúmenes en existencia y pedidos) de cada parte de la lista de materiales, los programas detallados se calculan a fin de mostrar los tiempos exactos de piezas que se necesitan en el futuro. En una empresa común, este proceso requiere un esfuerzo de cálculo significativo que incluya literalmente miles de programas detallados.

En este capítulo se tocó el tema importante de cómo considerar los costos relacionados con el inventario. Se describieron varias reglas comunes para determinar tamaños de lote de la MRP que tomen en cuenta el equilibrio entre el costo fijo y el costo variable, importante para reducir al mínimo los costos de inventario.

Conceptos clave

Planificación de requerimientos de materiales (MRP) Lógica con que se determina el número de piezas, componentes y materiales necesarios para fabricar un producto. La MRP también proporciona el programa que especifica cuándo se debe pedir o producir cada material, pieza y componente.

Programa maestro de producción (MPS) Plan con fases de tiempo que especifica cuánto y cuándo piensa crear la empresa cada pieza final.

Disponible para prometer Característica de los sistemas de planificación de requerimientos de materiales que identifica la dife-

rencia entre el número de unidades incluido en un momento dado en el programa maestro y los pedidos de clientes reales (empresa).

Lista de materiales (BOM) Archivo de computadora que contiene la descripción completa del producto, listado de materiales, piezas y componentes, y la secuencia en que se crea un producto.

Sistema de cambio neto Sistema de MRP que calcula de inmediato el impacto de un cambio en los datos de la MRP (estado del inventario, BOM o programa maestro). Es una característica común de los sistemas actuales.



**Excel:
Problema
resuelto**

Problemas resueltos

Problema resuelto 1

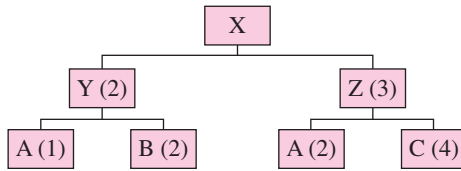
El producto X está hecho de dos unidades de Y y tres de Z. Y consiste en una unidad de A y dos unidades de B; Z, de dos unidades de A y cuatro unidades de C.

El tiempo de entrega de X es una semana; Y, dos semanas; Z, tres semanas; A, dos semanas; B, una semana, y C, tres semanas.

- a) Trace la lista de materiales (árbol estructural del producto).
- b) Si se requieren 100 unidades de X en la semana 10 elabore un programa de planificación que muestre cuándo debe solicitarse cada artículo y en qué cantidad.

Solución

a)



b)

		3	4	5	6	7	8	9	10
X	LT = 1							100	100
Y	LT = 2					200		200	
Z	LT = 3				300			300	
A	LT = 2		600	200	600	200			
B	LT = 1				400	400			
C	LT = 3	1 200			1 200				

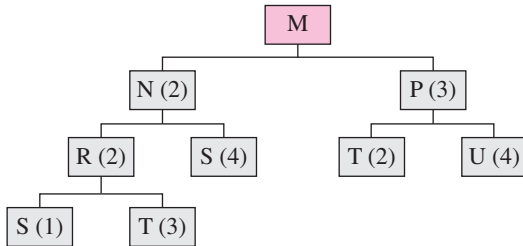
Problema resuelto 2

El producto M se obtiene de dos unidades de N y tres unidades de P. N se obtiene de dos unidades de R y cuatro unidades de S. R se obtiene de una unidad de S y tres unidades de T. P se obtiene de dos unidades de T y cuatro unidades de U.

- a) Muestre la lista de materiales (árbol estructural del producto).
- b) Si se necesitan 100 M, ¿cuántas unidades se necesitan de cada pieza?
- c) Muestre la lista de componentes de un solo nivel y la lista escalonada de piezas.

Solución

a)



- b) M = 100 S = 800 + 400 = 1 200
- N = 200 T = 600 + 1 200 = 1 800
- P = 300 U = 1 200
- R = 400

c)

	Lista de piezas de un solo nivel	Lista escalonada de piezas
M	M	
	N(2)	N(2)
	P(3)	R(2)
N	R(2)	S(1)
	S(4)	T(3)
R	S(1)	S(4)
	T(3)	P(3)
P	T(2)	T(2)
	U(4)	U(4)

Preguntas de repaso y análisis

1. Analice el significado de términos de la MRP como *expedición de pedidos planificados* y *entrada de pedidos programados*.
2. Muchos profesionales actualizan la MRP cada semana o cada quince días. ¿Valdría más si se actualizara a diario? Comente.
3. ¿Cuál es la función del inventario de seguridad en un sistema MRP?
4. Compare la importancia del término *tiempo de entrega* en el contexto de EOQ tradicional y en un sistema de MRP.
5. Analice la importancia del programa maestro de producción en un sistema MRP.
6. “La MRP nada más prepara listas de compras. No hace las compras ni prepara la cena.” Comente.
7. ¿Cuáles son las fuentes de demanda de un sistema MRP. ¿Son dependientes o independientes? ¿Cómo se usan como entradas al sistema?
8. Establezca los tipos de datos que se transferirían al archivo de la lista de materiales y al archivo de registros de inventarios.

Problemas

1. Semans es un fabricante de ensamblajes de abrazaderas. La demanda de ensamblajes de abrazaderas (X) es de 130 unidades. Se da a continuación la BOM escalonada:

Pieza	Descripción	Uso
X	Ensamble de abrazaderas	1
A	Tablero de pared	4
B	Subensamble de gancho	2
D	Moldeado de gancho	3
E	Perilla de cerámica	1
C	Tornillo de remache	3
F	Pinza metálica	4
G	Tapa de plástico	2

La tabla a continuación indica los niveles de inventario:

Pieza	X	A	B	C	D	E	F	G
Inventario	25	16	60	20	180	160	1 000	100

- a) Con Excel, cree la MRP con la estructura de árbol de producto.
 - b) ¿Cuáles son las necesidades netas de cada pieza en el programa maestro de producción?
2. En el siguiente programa de MRP de la pieza J indique las necesidades netas correctas, entradas de pedidos planificados y expedición de pedidos planificados para cumplir con las necesidades brutas. El tiempo de entrega es de una semana.

Componente J	Número de semana					
	0	1	2	3	4	5
Necesidades brutas			75		50	70
Existencias	40					
Necesidades netas						
Entradas de pedidos planificados						
Expedición de pedidos planificados						

3. Repita el problema resuelto 1 con inventarios disponibles actuales de 20 X, 40 Y, 30 Z, 50 A, 100 B y 900 C.
4. Suponga que el producto Z se obtiene de dos unidades de A y cuatro unidades de B. A se obtiene de tres unidades de C y cuatro de D. D se obtiene de dos unidades de E.
Los tiempos de entrega para la compra o fabricación de cada unidad para el ensamblaje final son: Z tarda dos semanas, A, B, C y D tardan una semana cada una y E tarda tres semanas.

En el periodo 10 se necesitan 50 unidades (suponga que actualmente no hay existencias de ninguna pieza).

- a) Presente la lista de materiales (árbol estructural del producto).
 - b) Prepare un programa de MRP que muestre las necesidades brutas y netas y las fechas de expedición y entradas de pedidos.
5. *Nota:* Para los problemas 5 a 10, con el fin de simplificar el manejo de datos y que se incluya la entrada de pedidos de periodos anteriores, use el siguiente esquema de seis niveles (en la práctica se usan diferentes técnicas, pero lo importante es llevar un seguimiento de lo que hay en existencias, qué se espera que llegue, qué se necesita y el tamaño de los pedidos que se deben hacer). Una forma de calcular las cifras es la siguiente:

Semana
Necesidades brutas
Entradas programadas
Saldo disponible proyectado
Necesidades netas
Entradas de pedidos planificados
Expedición de pedidos planificados

Una unidad de A se obtiene de tres unidades de B, una unidad de C y dos unidades de D. B consta de dos unidades de E y una unidad de D. C se obtiene de una unidad de B y dos unidades de E. E se obtiene de una unidad de F.

Las piezas B, C, E y F tienen tiempos de entrega de una semana; A y D tienen tiempos de entrega de dos semanas.

Suponga que se aplica la técnica lote por lote (L4L) para determinar el tamaño de lote de las piezas A, B y F; se usan los tamaños de lote 50, 50 y 200 para las piezas C, D y E, respectivamente. Las piezas C, E y F tienen existencias (iniciales) de 10, 50 y 150, respectivamente; las demás piezas tienen existencias iniciales de cero. Se programa la entrada de 10 unidades de A en la semana 2, 50 unidades de E en la semana 1 y 50 unidades de F en la semana 1. No hay más entradas programadas. Si en la semana 8 se necesitan 30 unidades de A, use la lista de materiales con codificación del nivel inferior para encontrar las expediciones de pedidos planificados necesarios para todas las piezas.

- 6. La unidad A se obtiene de dos unidades de B, tres unidades de C y dos unidades de D. B consta de una unidad de E y dos unidades de F. C se obtiene de dos unidades de F y una unidad de D. E se obtiene de dos unidades de D. Las piezas A, C, D y F tienen tiempos de entrega de una semana; B y E tienen tiempos de entrega de dos semanas. Se aplica la técnica lote por lote (L4L) para determinar el tamaño de lote de las piezas A, B, C y D; se usan los tamaños de lote de 50 y 180 para las piezas E y F, respectivamente. La pieza C tiene existencias (iniciales) de 15; D tiene existencias de 50; las demás piezas tienen existencias iniciales de cero. Se programa la entrada de 20 unidades de la pieza E en la semana 2; no hay más entradas programadas.

Prepare listas de materiales (árboles estructurales del producto) simples y con codificación del nivel inferior, y listas de piezas escalonadas y resumidas.

Si en la semana 8 se necesitan 20 unidades de A, use la lista de materiales con codificación de nivel inferior para encontrar las expediciones de pedidos planificados necesarias para todos los componentes. (Vea la nota del problema 5.)

- 7. Una unidad de A se obtiene de una unidad de B y una unidad de C. B se obtiene de cuatro unidades de C y una unidad de E y de F. C se obtiene de dos unidades de D y una unidad de E. E se obtiene de tres unidades de F. La pieza C tiene un tiempo de entrega de una semana; las piezas A, B, E y F tienen tiempos de entrega de dos semanas, y la pieza D tiene un tiempo de entrega de tres semanas. Se aplica la técnica lote por lote para determinar el tamaño de lote de las piezas A, D y E; se usan los tamaños de lote 50, 100 y 50 para las piezas B, C y F, respectivamente. Las piezas A, C, D y E tienen existencias (iniciales) de 20, 50, 100 y 10, respectivamente; las demás tienen existencias iniciales de cero. Se programa la entrada de 10 unidades de A en la semana 1, 100 unidades de C en la semana 1 y 100 unidades de D en la semana 3; no hay más entradas programadas. Si en la semana 10 se necesitan 50 unidades de A, use la lista de materiales (árbol estructural del producto) con codificación de nivel inferior para encontrar las expediciones de pedidos planificados necesarias para todos los componentes. (Vea la nota del problema 5.)
- 8. Una unidad de A se obtiene de dos unidades de B y una unidad de C. B se obtiene de tres unidades de D y una unidad de F. C consta de tres unidades de B y una unidad de D y cuatro unidades de E. D se obtiene de una unidad de E. La pieza C tiene un tiempo de entrega de una semana; las piezas A, B, E y

F tienen tiempos de entrega de dos semanas; y la pieza D tiene un tiempo de entrega de tres semanas. Se aplica la técnica lote por lote para determinar el tamaño de lote de las piezas C, E y F; se usan los tamaños de lote 20, 40 y 160 para las piezas A, B y D, respectivamente. Las piezas A, B, D y E tienen existencias (iniciales) de 5, 10, 100 y 100, respectivamente; las demás tienen existencias iniciales de cero. Se programa la entrada de 10 unidades de A en la semana 3, 20 unidades de B en la semana 7, 40 unidades de F en la semana 5 y 60 unidades de E en la semana 2; no hay más entradas programadas. Si en la semana 10 se necesitan 20 unidades de A, use la lista de materiales (árbol estructural del producto) con codificación de nivel inferior para encontrar las expediciones de pedidos planificados necesarias para todos los componentes. (Vea la nota del problema 5.)

9. Una unidad de A consta de dos unidades de B y tres unidades de C. Cada B consta de una unidad de F. C se obtiene de una unidad de D, una unidad de E y dos unidades de F. Las piezas A, B, C y D tienen 20, 50, 60 y 25 unidades de existencias. Se aplica la técnica lote por lote en los componentes A, B y C para determinar el tamaño de lote, mientras D, E y F necesitan comprar múltiplos de 50, 100 y 100, respectivamente. B tiene entregas programadas de 30 unidades en el periodo 1. No hay más entregas programadas. Los tiempos de entrega son de un periodo para las piezas A, B y D, y de dos periodos para C, E y F. Las necesidades brutas de A son 20 unidades en el periodo 1, 20 unidades en el periodo 2, 60 unidades en el periodo 6 y 50 unidades en el periodo 8. Encuentre las expediciones de pedidos planificados para todas las piezas.
10. Cada unidad de A consta de una unidad de B, dos unidades de C y una unidad de D. C consta de dos unidades de D y tres unidades de E. Las piezas A, C, D y E tienen existencias de 20, 10, 20 y 10 unidades, respectivamente. La pieza B tiene una entrega programada de 10 unidades en el periodo 1 y C tiene una entrega programada de 50 unidades en el periodo 1. Se aplica la técnica lote por lote (L4L) para las piezas A y B. La pieza C necesita un tamaño de lote mínimo de 50 unidades. Se necesitan comprar múltiplos de 100 y 50, respectivamente, para D y E. Los tiempos de entrega para las piezas A, B y C son de un periodo, y para las piezas D y E son de dos periodos. Las necesidades brutas de A son 30 en el periodo 2, 30 en el periodo 5 y 40 en el periodo 8. Encuentre las expediciones de pedidos planificados de todas las piezas.
11. A continuación se muestran las necesidades brutas de MRP de la pieza A durante las próximas 10 semanas. El tiempo de entrega de A es de tres semanas y el costo de preparación es de 10 dólares. Hay un costo de mantenimiento de inventario de 1 centavo de dólar por unidad por semana. El inventario inicial es de 90 unidades.

	Semana									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Necesidades brutas	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50

Con el método de costo total mínimo y el costo unitario mínimo de determinación de tamaño lote establezca el momento y la cantidad que se debe expedir del primer pedido.

12. El producto A es una pieza final y se obtiene de dos unidades de B y cuatro unidades de C. B se obtiene de tres unidades de D y dos unidades de E. C se obtiene de dos unidades de F y dos de E.
 - a) Presente la lista de materiales (árbol estructural del producto).
 - b) Si en la semana 10 se necesitan 100 unidades de A elabore el programa de planificación de MRP especificando cuándo se deben pedir y recibir las piezas. A la fecha no hay unidades de existencias.

A tiene un tiempo de entrega de una semana. B, C y E tienen tiempos de entrega de dos semanas, y D y F tienen tiempos de entrega de tres semanas.
13. El producto A consta de dos unidades del subensamble B, tres unidades de C y una unidad de D. B consta de cuatro unidades de E y tres unidades de F. C se obtiene de dos unidades de H y tres unidades de D. H se obtiene de cinco unidades de E y dos unidades de G.
 - a) Elabore una lista de materiales simple (árbol estructural del producto).
 - b) Trace el árbol estructural del producto con codificación de nivel inferior.
 - c) Prepare una lista escalonada de piezas.
 - d) Para producir 100 unidades de A determine el número de unidades de B, C, D, E, F, G y H que se necesitan.
14. Aquí se presentan las necesidades brutas de MRP de la pieza X para las 10 semanas siguientes. El tiempo de entrega de A es de dos semanas y el costo de preparación es de 9 dólares. El costo de mantenimiento de inventario es de 2 centavos de dólar por unidad por semana. Las existencias iniciales son de 70 unidades.

	Semana									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Necesidades brutas	20	10	15	45	10	30	100	20	40	150

Con el método de costo total mínimo y el costo unitario mínimo de determinación de tamaño lote establezca el momento y la cantidad que se debe expedir del primer pedido.

15. Audio Products, Inc., produce dos reproductores AM/FM/CD para coches. Las unidades de radio/CD son idénticas, lo que difiere son el hardware de montaje y el contramarco del acabado. El modelo estándar cabe en los coches medianos y grandes, y el modelo deportivo cabe en los autos deportivos pequeños.

Audio Products maneja la producción de la siguiente manera. El chasis (unidad radio/CD) se ensambla en México y tiene un tiempo de entrega de manufactura de dos semanas. Los materiales de montaje se adquieren en una compañía laminadora con un tiempo de entrega de tres semanas. El contramarco del acabado se compra en una compañía electrónica taiwanesa con oficinas en Los Ángeles como unidades previamente empacadas que constan de perillas y varias piezas del contramarco. Los paquetes de contramarco tienen un tiempo de entrega de dos semanas. El tiempo para el ensamble final no se toma en cuenta porque el cliente se encarga del paquete del contramarco y el montaje.

Los proveedores, mayoristas y minoristas de Audio Products colocan pedidos específicos de los dos modelos hasta con ocho semanas de antelación. La tabla de demanda que se presenta a continuación resume estos pedidos y también la cantidad de visitas adicionales para satisfacer el escaso número de ventas individuales:

Semana	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Modelo estándar				300				400
Modelo deportivo					200			100

A la fecha hay 50 unidades de radio/CD, pero no hay paquetes de contramarco ni hardware de montaje.

Prepare un plan de requerimientos de material para cumplir exactamente con el programa de demanda. Especifique las necesidades brutas y netas, las existencias y los periodos de entrada y expedición de pedidos planificados para el chasis de radio/CD, el contramarco para los modelos estándar y deportivo, y el hardware de montaje estándar y deportivo.

CASO: BRUNSWICK MOTORS, INC. CASO DE INTRODUCCIÓN A LA MRP

En fechas recientes, Phil Harris, gerente de control de producción de Brunswick, leyó un artículo sobre el programa calendarizado de necesidades. Tenía curiosidad de cómo podría funcionar la técnica para programar las operaciones de ensamble de motores de Brunswick y decidió preparar un ejemplo para ilustrar el uso del programa calendarizado de necesidades.

La primera medida de Phil fue preparar un programa maestro para un tipo de motor que se produce en Brunswick: el Modelo 1 000. Este programa indica el número de unidades del motor Modelo 1 000 que se ensamblará cada semana durante las siguientes 12 semanas, presentado más adelante. En seguida, Phil decidió simplificar su ejemplo de programa de necesidades tomando en cuenta solo dos de las muchas piezas que se necesitan para completar el ensamble del motor Modelo 1 000. Estas dos piezas, la caja de engranes y el eje de entrada, se presentan a continuación, en el diagrama de estructura del producto. Phil se dio cuenta de que la caja de engranes se ensamblaba en el departamento de subensamble y se enviaba a la línea de ensamble principal del motor. El eje de entrada es una de las piezas que fabrica Brunswick y que se necesitan para producir el subensamble de una caja de engranes. Por tanto, en el diagrama de estructura del producto se indican, con

los niveles 0, 1 y 2, las tres etapas de manufactura en la producción de un motor: el departamento de ensamble de motores, el departamento de subensamble y el taller de máquinas.

Los tiempos de entrega de manufactura necesarios para producir la caja de engranes y las piezas del eje de entrada también aparecen en el diagrama de la estructura del producto. Se observa que se requieren dos semanas para producir un lote de cajas de engranes y que se deben enviar todas las cajas de engranes al almacén de piezas de la línea de ensamble antes de la mañana del lunes de la semana que se van a usar. Asimismo, se necesitan tres semanas para producir un lote de ejes de entrada, y los ejes requeridos para la producción de las cajas de engranes de una semana determinadas se deben entregar al almacén del departamento de subensamble antes de la mañana del lunes de esa semana.

Durante la preparación del ejemplo de MRP, Phil planeó el uso de las hojas de cálculo que se presentan adelante e hizo las siguientes suposiciones:

1. A principios de la semana 1 hay 17 cajas de engranes en existencia y están por entregarse por pedido cinco cajas de engranes a principios de la semana 2.

Cuestionario

1. Lógica para calcular las piezas, componentes y otros materiales necesarios para producir un artículo final.
2. Esto promueve los cálculos de la MRP y es un plan detallado de cómo se espera satisfacer la demanda.
3. Periodo durante el cual un cliente tiene un nivel especificado de oportunidad para hacer cambios.
4. Esto identifica los materiales específicos para fabricar cada artículo y las cantidades correctas de cada uno.
5. Si se usa un artículo en dos lugares en una lista de material, por ejemplo, en el nivel 3 y en el nivel 4, ¿qué clave de nivel inferior se le asignaría al artículo?
6. Una unidad de la parte C se usa en el artículo A y en el artículo B. Actualmente se tienen 10 A, 20 B y 100 C en inventario. Deseamos enviar 60 A y 70 B. ¿Cuántas C adicionales es necesario comprar?
7. Pedidos ya expedidos y están por llegar en el futuro.
8. Cantidad total requerida para un artículo particular.
9. Cantidad necesaria después de considerar lo que se tiene actualmente y lo que se espera que llegue en el futuro.
10. Las entradas de los pedidos planificados y las expediciones de pedidos planificados se compensan por esta cantidad de tiempo.
11. Cantidades de piezas entregadas en la sección de expedición de pedidos planificados de un reporte de MRP.
12. Ordenar exactamente lo necesario en cada periodo sin detenerse en consideraciones económicas.
13. Ninguna de las técnicas para determinar la cantidad de pedido considera este importante factor no económico que podría hacer imposible la cantidad de pedido.

1. Planificación de requerimientos de material (MRP) 2. Programa maestro 3. Limitación de tiempo 4. Lista de materiales 5. Nivel 4 6. Cero 7. Entradas programadas 8. Necesidades brutas 9. Necesidades netas 10. Tiempo de entrega 11. Tamaños de lote 12. Pedido de lote por lote 13. Capacidad

Bibliografía seleccionada

Orlicky, J., *Materials Requirements Planning*, 2a. ed., Nueva York, Mc-Graw-Hill, 1994. (Obra clásica sobre MRP.)
 Sheikh, K., *Manufacturing Resource Planning (MRP II) with Introduction to ERP, SCM and CRM*, Nueva York, McGraw-Hill, 2002.

Vollmann, T. E., W. L. Berry, D. C. Whybark y F. R. Jacobs, *Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management*, 5a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 2004.