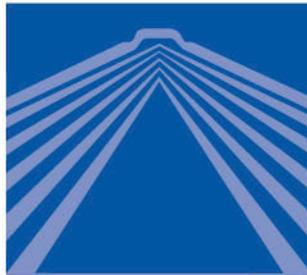




# Gestión de la producción en la empresa

Planificación, programación y control

Juan Velasco Sánchez  
Juan Antonio Campins Masriera



**PIRÁMIDE**





# Gestión de la producción en la empresa

Planificación, programación y control



**JUAN VELASCO SÁNCHEZ**

ASESOR EN ORGANIZACIÓN DE EMPRESAS.  
EXCATEDRÁTICO DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL EN LA ESCUELA  
DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL DE BARCELONA (UPC)

**JUAN ANTONIO CAMPINS MASRIERA**

PROFESOR TITULAR DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN  
EMPRESARIAL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL  
DE BARCELONA (UPC)

# Gestión de la producción en la empresa

Planificación, programación y control

**EDICIONES PIRÁMIDE**

COLECCIÓN «ECONOMÍA Y EMPRESA»

Director:

Miguel Santesmases Mestre

Catedrático de la Universidad de Alcalá

Edición en versión digital

Está prohibida la reproducción total o parcial de este libro electrónico, su transmisión, su descarga, su descompilación, su tratamiento informático, su almacenamiento o introducción en cualquier sistema de repositorio y recuperación, en cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, conocido o por inventar, sin el permiso expreso escrito de los titulares del copyright.

© Juan Velasco Sánchez y Juan Antonio Campins Masriera, 2013

© Primera edición electrónica publicada por Ediciones Pirámide (Grupo Anaya, S. A.), 2013

Para cualquier información pueden dirigirse a [piramide\\_legal@anaya.es](mailto:piramide_legal@anaya.es)

Juan Ignacio Luca de Tena, 15. 28027 Madrid

Teléfono: 91 393 89 89

[www.edicionespiramide.es](http://www.edicionespiramide.es)

ISBN: 978-84-368-2956-3

*Dedicado a mi esposa, Mireia, así como  
a nuestros hijos David, Daniel y Carles.*



# Índice

Agradecimientos.....	15
Prólogo.....	17
<b>1. Sistema general de planificación, programación y control de la producción .....</b>	<b>19</b>
1.1. Visión general.....	19
1.2. Predicción de demanda .....	20
1.3. Planificación de producción .....	22
1.4. Control y gestión de stocks .....	23
1.5. Programación de producción.....	23
1.6. Lanzamiento y control de producción.....	24
1.7. Relaciones .....	24
Resumen .....	26
Cuestiones .....	29
Respuestas a las cuestiones.....	29
<b>2. Predicción de la demanda.....</b>	<b>31</b>
2.1. Introducción.....	31
2.2. Ciclo de vida de un producto .....	32
2.3. Etapas en la elaboración del modelo de predicción .....	33
2.4. Clasificación de técnicas.....	34
2.4.1. Métodos cualitativos.....	35
2.4.2. Métodos de proyección predictiva (series temporales).....	36
2.5. Comparación de modelos.....	37
2.6. Predicción basada en el análisis de la serie temporal mediante regresión lineal.....	39
Resumen .....	49
Cuestiones .....	50
Respuestas a las cuestiones.....	53

<b>3. Planificación de producción: Introducción.....</b>	<b>55</b>
3.1. Planificación a medio plazo de la producción (planificación agregada).....	55
3.1.1. Plan de ventas presupuestado.....	56
3.1.2. Plan de producción agregado.....	58
3.2. Tipos de planes de producción a medio plazo.....	58
3.3. Ejemplo de planificación agregada de la producción.....	59
3.3.1. Producción uniforme (programa n.º 1).....	60
3.3.2. Producción ajustada a las necesidades (programa n.º 2).....	61
3.4. Determinación del plan más económico mediante el método de Bowman.....	64
3.5. Técnicas de planificación agregada.....	70
3.6. Planificación a corto plazo de la producción (plan maestro de la producción) ..	70
3.7. Información necesaria para la planificación a corto plazo de la producción.....	71
3.8. Diagrama de flujo de planificación a corto plazo de la producción.....	72
3.9. Método de Gozinto.....	76
3.9.1. Descripción de los productos.....	76
3.9.2. Información técnica de los productos requerida para la planificación de la producción: lista de materiales, gráfica de explosión, procesos de fabricación.....	77
3.9.3. Determinación matricial de la estructura de los productos.....	80
3.9.4. Determinación matricial del resto de información.....	81
3.9.5. Cálculo de las necesidades netas.....	82
3.9.6. Matriz de calidad.....	83
3.9.7. Determinación de la carga de trabajo por grupos de máquinas.....	84
3.9.8. Determinación de la capacidad disponible.....	85
3.9.9. Requerimientos <i>versus</i> capacidad disponible.....	85
Resumen.....	87
Cuestiones.....	88
Respuestas a las cuestiones.....	97
Apéndice. Programación lineal.....	118
<b>4. Planificación de producción: MRP.....</b>	<b>123</b>
4.1. Introducción al MRP I.....	123
4.2. Plan maestro de producción (PMP, MPS).....	124
4.3. Funcionamiento del MRP I. Diagrama y ficheros necesarios para su ejecución ..	126
4.4. Técnicas de lotificación.....	127
4.4.1. Pedidos lote a lote.....	127
4.4.2. Mínimo coste unitario.....	128
4.4.3. Mínimo coste total.....	128
4.4.4. Lote económico.....	129
4.4.5. Método de <i>Silver Meal</i> .....	129
4.4.6. Máximos y mínimos.....	129
4.4.7. Múltiplos.....	129
4.5. Descripción del funcionamiento del MRP I.....	130
4.5.1. Determinación matricial de la estructura de los productos.....	131
4.5.2. Determinación del plan maestro de producción (MPS).....	131

4.5.3.	Información de control y gestión de stocks .....	133
4.5.4.	Determinación de las necesidades brutas por períodos de los componentes (nivel 1).....	134
4.5.5.	Determinación de las necesidades netas por períodos de los componentes (nivel 1) teniendo en cuenta el efecto lotificación .....	134
4.5.6.	Determinación de las necesidades netas por períodos de la materia prima (nivel 2) teniendo en cuenta el efecto lotificación .....	137
4.5.7.	Determinación de las cantidades a pedir por períodos teniendo en cuenta las mermas y el decalaje por los plazos de fabricación y de aprovisionamientos.....	138
4.6.	Funcionamiento del MRP II. Diagrama y ficheros necesarios para su ejecución	144
4.7.	Cuestiones a tener en cuenta en la determinación de la capacidad disponible...	146
4.7.1.	Tasa de rendimiento sintético (TRS) .....	146
4.7.2.	Afectación de que salgan piezas defectuosas .....	149
4.7.3.	Consideraciones respecto a la forma de tener en cuenta las pérdidas de efectividad del equipo .....	150
4.8.	Determinación de la carga de trabajo .....	150
4.9.	Cálculo de la capacidad disponible .....	152
4.10.	Carga de trabajo <i>versus</i> capacidad disponible .....	154
4.11.	Postponement.....	154
4.12.	Planificación de recursos empresariales (ERP).....	155
	Resumen .....	157
	Cuestiones .....	159
	Respuestas a las cuestiones.....	170
	Apéndice. Programas informáticos para la planificación, programación y control de la producción.....	190
<b>5.</b>	<b>Control y gestión de stocks.....</b>	<b>199</b>
5.1.	Introducción.....	199
5.2.	Tipos de costes de los stocks .....	200
5.3.	Gráfica de variación de las existencias .....	200
5.4.	Stock de seguridad y punto de pedido .....	201
5.5.	Determinación del lote económico.....	203
5.6.	Diagrama ABC .....	204
5.7.	Técnicas de gestión empleadas .....	205
5.7.1.	Aprovisionamiento en fechas fijas .....	206
5.7.2.	Caja de reserva .....	207
5.8.	Ejemplo de determinación del stock de seguridad.....	207
	Resumen .....	211
	Cuestiones .....	213
	Respuestas a las cuestiones.....	214
<b>6.</b>	<b>Programación, lanzamiento y control de producción (planificación a muy corto plazo) .....</b>	<b>217</b>
6.1.	Introducción.....	217
6.2.	Terminología .....	219

6.3.	Problemas en programación de operaciones.....	220
6.4.	Objetivos de la programación de operaciones .....	220
6.5.	Fases de la programación .....	221
6.6.	Diagrama de la función de programación .....	222
6.7.	Carga de máquinas y evaluación de la carga.....	223
6.7.1.	Carga de máquinas: método de los índices .....	223
6.7.2.	Evaluación de la carga.....	225
6.8.	Poner en secuencia y programa detallado.....	226
6.8.1.	Tipos de enfoques para el secuenciado .....	226
6.8.2.	Enfoque iterativo .....	227
6.8.3.	Enfoque tabular y gráfico .....	229
6.8.3.1.	Cartas de carga .....	229
6.8.3.2.	Diagrama de Gantt: planning de progresión del trabajo y de carga detallada .....	230
6.9.	Enfoque heurístico .....	233
6.9.1.	Programación de $n$ órdenes de fabricación en una máquina.....	234
6.9.2.	Programación de $n$ órdenes de fabricación en dos máquinas.....	235
6.9.2.1.	Algoritmo de Jhonson $n/2/F/Lmáx$ .....	235
6.9.2.2.	Algoritmo de Jackson $n/2/G/Lmáx$ .....	236
6.9.3.	Programación de $n$ órdenes de fabricación en $m$ máquinas .....	237
6.9.3.1.	Algoritmo de los trapecios $n/m/F/Lmáx$ .....	237
6.9.3.2.	Algoritmo de Palmer $n/m/F/Lmáx$ .....	238
6.9.3.3.	Algoritmo de Gupta $n/m/F/Lmáx$ .....	239
6.10.	Consideración de las horas de preparación en la programación .....	239
6.11.	Programación en entornos MRP y de arrastre PULL.....	240
6.12.	Lanzamiento y control de producción.....	241
6.12.1.	Decisiones de despacho y control de progreso.....	241
	Resumen .....	243
	Cuestiones .....	246
	Respuestas a las cuestiones.....	249
<b>7.</b>	<b>Sistema Toyota de producción.....</b>	<b>255</b>
7.1.	Antecedentes del sistema de producción de Toyota (TPS).....	256
7.2.	Estructura global del sistema Toyota .....	256
7.3.	Comparación entre los sistemas originarios de Toyota y Ford .....	257
7.4.	Tipos de actividades en los procesos .....	259
7.5.	Los siete despilfarros (muda) de Ohno.....	260
7.6.	El símil de la filosofía just-in-time.....	265
7.7.	El sistema de arrastre (pull) de la producción .....	265
7.8.	¿Qué es un kanban?.....	267
7.9.	Funcionamiento de la cadena de montaje en Toyota mediante el kanban .....	269
7.9.1.	Kanban urgente.....	271
7.10.	Reglas kanban.....	271
7.11.	Aplicación del sistema kanban a los proveedores.....	271
7.11.1.	Kanban de proveedores .....	271

7.11.2.	Información mensual y diaria a proveedores.....	273
7.11.3.	Sistema de aprovisionamiento de proveedor mediante kanban .....	274
7.12.	Planificación y programación de producción .....	275
7.13.	Nivelado de la producción .....	277
7.14.	Planificación mensual de la producción .....	277
7.15.	Programación de la producción diaria .....	280
7.15.1.	Transmisión del programa de secuencias a la línea de montaje .....	280
7.15.2.	Relaciones entre programas decenales y pedidos diarios del vendedor y la secuencia de programas de producción .....	281
7.16.	Producción equilibrada y sincronizada.....	283
7.16.1.	Determinación del <i>track-time</i> (ciclo máximo de fabricación) .....	283
7.16.2.	Establecer la ruta estándar de operaciones .....	283
7.16.3.	Mínima cantidad de trabajo en curso.....	285
7.17.	Adaptación a la demanda mediante la flexibilidad ( <i>shojinka</i> ) .....	286
7.18.	Distribución de líneas en «U» combinadas .....	287
7.19.	Comparación del sistema kanban con el MRP .....	290
7.20.	Sistema «Synchro MRP» .....	292
	Resumen .....	297
	Cuestiones .....	300
	Respuestas a las cuestiones.....	301
<b>8.</b>	<b>Implantación del <i>lean production</i> .....</b>	<b>303</b>
8.1.	Introducción.....	303
8.2.	Objetivos .....	303
8.3.	Principios clave del <i>lean production</i> .....	304
8.4.	Proceso de implantación del <i>lean</i> .....	304
8.5.	Herramientas <i>lean</i> .....	305
8.6.	Flexibilidad .....	306
8.6.1.	El sistema <i>one-piece-flow</i> .....	306
8.6.2.	Producción segmentada y mezclada .....	307
8.6.3.	Células en U (personal polivalente, kanban) .....	308
8.6.4.	Flujo lineal <i>pull</i> (equilibrado y sincronizado de procesos) .....	312
8.6.4.1.	Ejemplo de cómo conseguir un flujo <i>pull</i> : fabricación de ópticas de faros .....	312
8.6.5.	<i>Value stream map</i> (mapa de los flujos del valor del producto) .....	318
8.6.5.1.	Definición .....	318
8.6.5.2.	Objetivos.....	318
8.6.5.3.	Metodología y ejemplo .....	319
	Resumen .....	326
	Cuestiones .....	328
	Respuestas a las cuestiones.....	329
<b>9.</b>	<b>Fundamentos de la teoría de las restricciones (OPT) .....</b>	<b>333</b>
9.1.	Introducción.....	333
9.2.	Obstáculos para el incremento de la productividad.....	334

## Índice

9.2.1. Cuellos de botella .....	335
9.2.2. Cambios de preparación de máquinas .....	336
9.2.3. Tamaño de los lotes .....	336
9.2.4. Prioridades .....	337
9.2.5. Incertidumbre .....	338
9.2.6. La contabilidad de costes y el balance de la planta de fabricación .....	339
9.3. Diagrama de flujo del OPT .....	340
9.4. Modelo de una planta de fabricación y funcionamiento del sistema .....	341
9.4.1. Modelo inicial .....	341
9.4.2. Búsqueda de los cuellos de botella .....	342
9.4.3. Programación de la planta .....	343
9.4.4. Protección de la programación mediante la creación de stocks de seguridad .....	344
9.5. El OPT incrementa la productividad .....	345
Resumen .....	348
Cuestiones .....	350
Respuestas a las cuestiones .....	350
<b>Bibliografía .....</b>	<b>353</b>

# Agradecimientos

Queremos agradecer su colaboración a los profesores del departamento de Organización de Empresas de la UPC, Michel Guerra y especialmente Jordi Pereira, profesor titular y coordinador de la asignatura Organización de la Producción, por sus valiosas observaciones, así como la contribución de nuestros alumnos del último curso de carrera de Ingeniería de la EUETIB (UPC) de las asignaturas: organización industrial; diseño del sistema productivo y mejora de los métodos y de los tiempos; planificación, programación y control de la producción; planificación, programación y control de proyectos; logística industrial.



# Prólogo

Para que las empresas tengan éxito, no solo deben fabricar productos a un coste competitivo y cuya calidad en si mismos satisfagan a los clientes finales, sino que también deben ser capaces de suministrarlos cuando los necesitan, pero no en base de crear stocks en muchas ocasiones excesivo en muchos de ellos mientras que de otros quedan a cero. Lo ideal sería trabajar prácticamente sin stocks, pero teniendo una rapidez de respuesta que satisfaga la demora que puede aceptar el cliente. Un buen sistema de planificación, programación y control de producción puede llegar a conseguir dicho objetivo. Esto se da en todo tipo de industrias, tanto las que fabrican en lotes como seriados, y en sectores diversos como el del electrodoméstico, el del automóvil y su industria auxiliar y el del gran consumo.

El presente libro intenta ayudar a resolver esta problemática, exponiendo de forma clara la teoría y la práctica correspondiente; al final de los diferentes capítulos hay un resumen y se plantean preguntas y problemas que más adelante se encuentran resueltos, permitiendo una autoevaluación.

El libro se ha estructurado en nueve capítulos:

- El capítulo primero es introductorio ya que nos da una visión general del sistema de planificación, programación y control de la producción.
- El capítulo segundo está dedicado a la predicción de la demanda, donde pueden verse las distintas técnicas de predicción, profundizando en el de la predicción basada en el análisis de regresión de series temporales que queda perfectamente aclarado con un completo ejemplo.
- El capítulo tercero trata de la planificación de la producción a medio plazo (planificación agregada), con ejemplos de producción uniforme y producción ajustada a las necesidades, así como de la planificación a corto plazo (plan maestro) cuyo procedimiento de ejecución queda claramente explicado mediante un diagrama de flujo. Se explica también el método Gozinto mediante un significativo ejemplo.
- El capítulo cuarto se dedica al MRP, tanto al MRPI como su evolución al MRPII. Dentro de la explicación del MRPI se indican los ficheros que además del plan

maestro de producción (PMP, MPS), se requieren como información de entrada para su ejecución, así como las técnicas de lotificación empleadas cuando la demanda es dependiente. Mediante un ejemplo se describe claramente su funcionamiento. En la explicación del MRPII se describen los ficheros complementarios requeridos y cuestiones a tener en cuenta para la determinación de la capacidad disponible. Al final del capítulo se da a conocer la técnica del postponement y la planificación de recursos empresariales (ERP).

- El capítulo quinto trata del control y gestión de los stocks cuando la demanda es independiente, dando se a conocer los distintos conceptos de stock de seguridad, punto de pedido, diagrama ABC y otras técnicas de gestión. Al final del capítulo se presenta un ejemplo de determinación del stock de seguridad.
- El capítulo sexto está dedicado a la programación, lanzamiento y control de producción (planificación a muy corto plazo), se comenta la problemática de la programación de operaciones, el procedimiento de funcionamiento mediante un diagrama de flujo, así como el método de los índices para la asignación de las cargas de máquinas. Para la determinación del secuenciado de operaciones se exponen los distintos tipos de enfoque, y dentro del enfoque heurístico los diferentes algoritmos empleados como el de Johnson, Jackson, Trapecios, Palmer y Gupta.
- El capítulo séptimo estudia el sistema Toyota de producción, comenzando por los antecedentes, su estructura global queda reflejada por un completo diagrama de flujo. Se comparan los sistemas clásicos de Ford y Toyota; a continuación se dan a conocer los siete despilfarros que enumeró Ohno. Se explica el sistema «pull» de la producción, el concepto de kanban y sus diferentes tipos. Con un claro esquema se detalla el funcionamiento de la cadena de montaje de Toyota mediante el uso del kanban. Se explica cómo se planifica mensualmente y se realiza la programación diaria con el método secuencial para el nivelado de la producción (Heijunka), la transmisión del programa de secuencias a las líneas de montaje y las relaciones entre los programas del vendedor y la secuencia del programa de producción. Se explican los conceptos de producción equilibrada y sincronizada, tack-time y como las líneas en «U» combinadas permiten la adaptación a la demanda. Finalmente se comparan el sistema kanban con el MRP y se explica el sistema Synchro MRP.
- El capítulo octavo trata de la implantación del «lean production», es decir, un sistema basado en el de Toyota aplicado a otras industrias para así poder conseguir en ellas un flujo continuo desde la materia prima al cliente con el mínimo despilfarro (muda), el menor plazo (lead time) y la mejor calidad. Se comentan los principios claves, los pasos a seguir para su proceso de implantación, las herramientas «lean»: producción segmentada y mezclada, células en «U»... y finalmente el value stream map con un completo ejemplo.
- El capítulo noveno está dedicado a los fundamentos de la teoría de las restricciones (OPT), se da a conocer sus orígenes, los obstáculos que impiden el incremento de la productividad y en que consiste el sistema mediante un diagrama de flujo. Finalmente partiendo de un modelo de planta de fabricación se analiza el funcionamiento del sistema.

# 1

## Sistema general de planificación, programación y control de la producción

### Después de leer este capítulo usted deberá:

- Describir las funciones que componen el sistema general de planificación, programación y control de producción.
- Dibujar el diagrama general del sistema de planificación, programación y control de la producción.
- Describir las entradas de información necesarias para realizar la predicción de la demanda y las salidas de información obtenidas.
- Ídem para la planificación, programación, gestión de stocks y lanzamiento y control de la producción.
- Describir de qué forma se relaciona el sistema general de planificación con otras áreas de la empresa.

### 1.1. VISIÓN GENERAL

Por lo general, en una industria manufacturera, existen una serie de actividades a efectuar, que son muy similares independientemente de lo que se fabrique, lo cual implica resolver continuamente una serie de decisiones relacionadas con el producto (cantidades a fabricar de cada producto, cuándo y cómo fabricar, etc.), y con los recursos (utilización de equipo e instalaciones, niveles adecuados de mano de obra, turnos, horas extras, etc.).

Las principales funciones de la planificación y control de producción son:

- Predicción o estimación de la demanda en términos de qué tipo de productos, qué cantidad y cuándo se presentará la demanda.
- Planificación de la producción, o sea, aplicación de los recursos productivos disponibles a los requerimientos de producción determinados para satisfacer la predicción de la demanda.

- Control y gestión de stocks, con establecimiento de órdenes de producción y de compras, a los tres niveles: de materias primas, partes compradas y productos terminados.
- Programación de la producción, que asigna actividades específicas a puestos de trabajo específicos, con tiempos de iniciación y de terminación.
- Lanzamiento y control de la producción, provisión de herramientas, materiales y comunicación de instrucciones a la planta. El control de ejecución retroalimenta las funciones anteriores para la acción correctiva.

El sistema que se diseñará dependerá del tipo de producción de la empresa, el cual, según el grado de certidumbre de la demanda, será de uno de estos dos tipos:

- Fabricación para almacenar.
- Fabricación bajo pedido.

Y la importancia de las diferentes funciones en uno u otro caso será diferente:

Así para la fabricación para almacenar son de gran importancia las funciones de predicción, planificación de producción y control y gestión de stocks; mientras que la programación de la producción y el lanzamiento y control tienen una importancia moderada.

Para la fabricación bajo pedido, las tendencias se invierten.

A continuación, en la figura 1.1, puede verse el diagrama patrón de flujo del sistema de planificación y control de producción de forma reducida y compacta.

## 1.2. PREDICCIÓN DE DEMANDA

**Entradas.** *Los mercados del producto*, con las estadísticas de ventas, pudiendo estudiar la evolución de la demanda de los productos actuales (tendencias) y en especial la información comercial (productos nuevos de la competencia), constituyen la entrada más tangible de la función de predicción de demanda.

Las tendencias de la demanda pueden determinarse cuantitativamente tanto para la propia empresa como para toda la industria. La información especial de la comercialización puede tanto modificar como explicar las tendencias de demanda.

Los *programas de marketing* en cuanto a los cambios previstos en inversiones en publicidad y promoción que pueden modificar la demanda que inicialmente se había previsto con la información de mercados del producto.

Los *factores económicos externos*, los cuales representan la salud económica general del país (y posiblemente de otros países).

El estado de la economía nacional depende de los efectos colectivos de factores tales como la situación política, el grado de participación gubernamental en grandes proyectos (espaciales, seguridad social, construcción de vías, otras construcciones), condiciones laborales, tendencias del mercado de valores y muchos otros factores. Es muy difícil para una empresa evaluar cuantitativamente el efecto total de la economía nacional en sus propias operaciones, pero debe intentarse su cuantificación.

*Sistema general de planificación, programación y control de la producción*

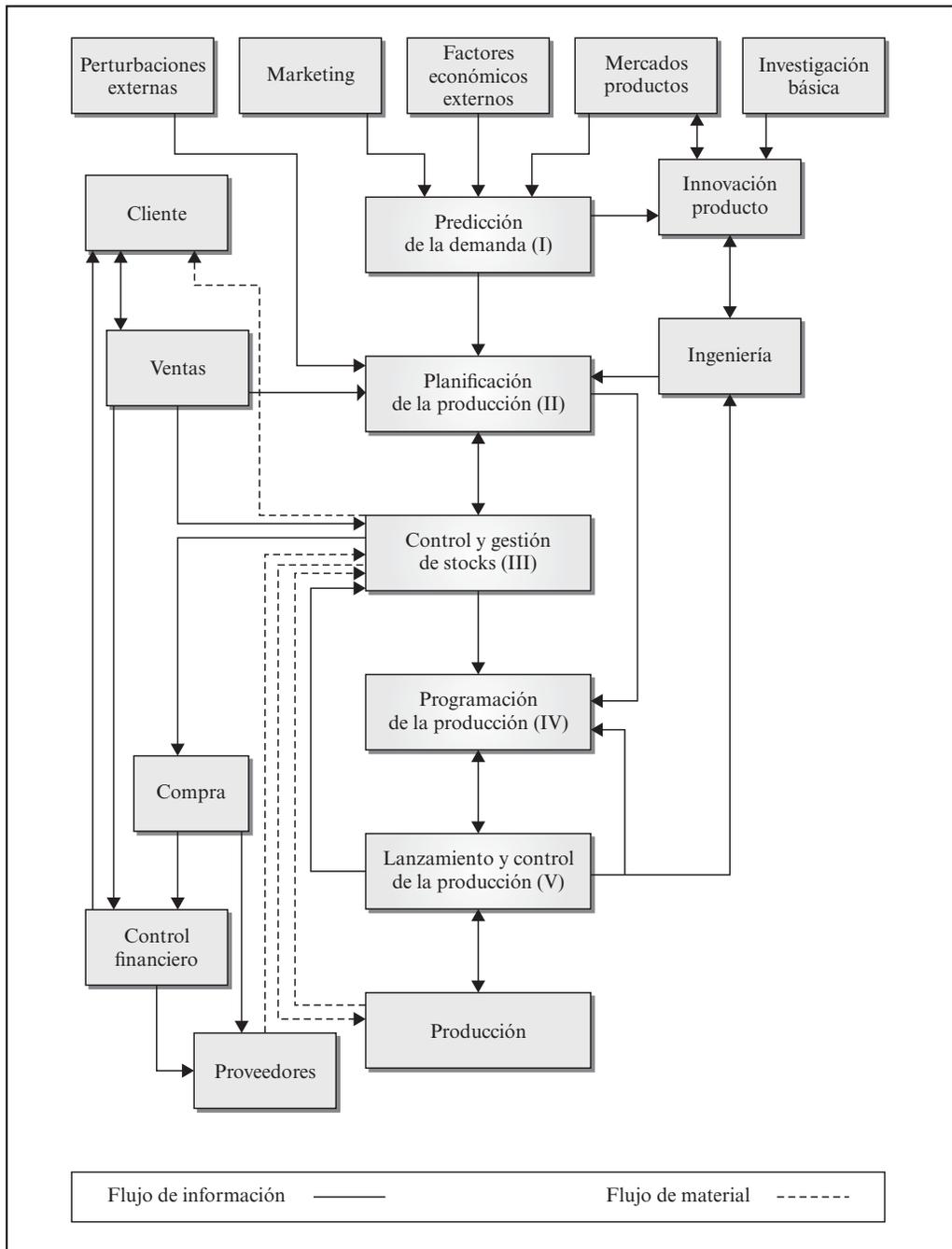


Figura 1.1

**Salidas.** La salida principal de la función de predicción de demanda es el establecimiento de la cantidad de *demanda esperada* para los diferentes productos (o familias de productos<sup>1</sup>) sobre el período planeado. Esta salida es enviada a la función de planificación de producción.

Otra salida importante, aunque a menudo subestimada, es la identificación de la disminución de la demanda para un producto. Cualquier indicación de una demanda en declive es enviada a innovación del producto para posibles modificaciones del mismo. Cuando se pone en evidencia que una línea de producto dejará pronto de ser suficientemente rentable, la gerencia deberá tomar la decisión de abandonar dicha línea.

### 1.3. PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN

**Entradas.** La entrada principal de la función de planificación de producción proviene de la *predicción de demanda*. Ésta suministra la base para determinar el nivel de actividad a la cual la empresa deberá operar durante el período planeado.

*Ventas*, la demanda real (incluye pedidos de emergencia, pedidos cancelados) que se compara con la demanda prevista.

*Ingeniería* (tanto de producto, como de proceso) proporciona otro conjunto amplio e importante de datos de entrada concerniente a nuevos productos, modificaciones de los existentes o modificaciones de los procesos de producción. Estos datos incluyen secuencias de fabricación, lista de materiales, tiempos estándar de operaciones, tiempos de preparación, etc.

*Perturbaciones externas*, huelgas, recursos no disponibles y otros problemas del mundo externo.

**Salidas.** Existen tres amplias categorías de salidas de la función de planificación de producción.

La primera se relaciona con *planificación a largo plazo* (varios años) de posibles ampliaciones de la fábrica y nuevas adquisiciones de medios productivos. En esta categoría se considera el ciclo total de vida de nuevas líneas de producto y el impacto que puedan tener sobre las capacidades de producción y de recursos.

La segunda categoría se relaciona con la *planificación a medio plazo* (6 a 18 meses). Se desarrolla la planificación a largo plazo, definiendo dentro de cada línea de productos sus distintas «familias», se planifican las ventas, planes de producción, se realizan presupuestos, se seleccionan y se establecen contratos con proveedores, se contrata mano de obra.

La tercera categoría se relaciona con *planificación a corto plazo* (1 semana a 6 meses) y consiste primordialmente en determinar las necesidades de «productos acabados» por períodos y de material (subconjuntos, componentes, materias primas, suministros, etc.), así como los requerimientos (de mano de obra y horas de máquinas) y la asignación de los recursos disponibles a estos requerimientos de producción.

Esta información se envía a *control y gestión de stocks y programación de producción*.

---

<sup>1</sup> Grupo de productos que suelen tener similitudes morfológicas y que requieren de los mismos recursos.

## 1.4. CONTROL Y GESTIÓN DE STOCKS

En la figura 1.1, el bloque III representa, además de las actividades de control y gestión de los stocks, los almacenes de materias primas, componentes y productos acabados.

**Entradas al control y gestión de stocks.** Los requerimientos planificados por la función de *planificación de producción* son fundamentales.

Otras informaciones de entrada importante, son las órdenes de venta que provienen de *ventas* y los pedidos de materiales que hace *lanzamiento*. Además de las entradas de información, se realiza la recepción de materiales y productos. El material y componentes externos se reciben del proveedor, y los componentes internos, subconjuntos y productos acabados se reciben de producción.

**Salidas de control y gestión de stocks.** Se determinan las cantidades a pedir, los niveles de reposición (punto de pedido), stock de seguridad de materias primas y componentes, tamaño de los lotes de producción de componentes y productos terminados. Esta información se envía a planificación de producción.

Cuando las existencias disponibles de materias primas, componentes y subconjuntos externos alcanzan su nivel de reposición se envía a compras una orden de compra; cuando las existencias disponibles de componentes y subconjuntos internos alcanzan su nivel de reposición se envía una orden de producción a programación de producción.

Otra información que el almacén de recepción envía a compras es la notificación de la recepción de materiales procedente del proveedor.

Además de las salidas de información, se realizan entregas de materiales para la fabricación de componentes y la entrega de componentes para la fabricación de subconjuntos y el montaje de productos.

## 1.5. PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN

**Entradas.** La planificación de las necesidades de productos acabados, de subconjuntos y de componentes por períodos procedente de planificación de producción, así como las solicitudes provenientes de control y gestión de stocks de fabricación de componentes y subconjuntos. Otra entrada que proviene de control de producción es el estado de las órdenes de producción actualmente en proceso, algunas de ellas interrumpidas o atrasadas por incidencias tales como averías de máquinas, de utillaje, falta de operarios, etc.

**Salidas.** A lanzamiento se entregan secuencias detalladas de operaciones, así como los tiempos de inicio y terminación de cada una de ellas. El nuevo trabajo se asigna a las máquinas prestando la consideración adecuada al trabajo ya en proceso y a las prioridades asignadas y se resuelven los conflictos de programación.

Esta función es la base del sistema total de planeamiento y control puesto que es en esta fase donde deberán producirse acuerdos en relación con tamaños económicos de lotes, fechas de entrega, restricciones de recursos, ajuste de la mano de obra y utilización de las máquinas. Aquí también se efectúan correcciones a comportamientos extraños del proceso.

## 1.6. LANZAMIENTO Y CONTROL DE PRODUCCIÓN

Las actividades que se desarrollan en este bloque son las siguientes:

**Lanzamiento.** La iniciación de la producción de acuerdo con lo programado es responsabilidad de esta función, o sea, la entrega a almacén de los vales de material y a producción de las órdenes de trabajo (vales de utillajes y bonos de trabajo) en el momento apropiado para fabricar el nuevo artículo.

**Recolección de datos.** A medida que el trabajo avanza se obtiene información de diferentes puntos del proceso en la planta. Los datos específicos que se requieren son: el progreso del trabajo en producción, el estado del trabajo en espera de proceso, el estado de los medios de producción y la disponibilidad de los trabajadores que se requieren.

**Acción correctiva.** Se toman decisiones específicas en relación con problemas de operación. Estas decisiones incluyen dar prioridad a las operaciones críticas, el equilibrio de las cargas de trabajo entre los distintos centros de operación, manejo de problemas de personal, problemas relativos a la calidad del producto, estado del utillaje, paradas del equipo, etc.

Estas decisiones se envían a programación de producción para proceder a los ajustes correspondientes en la programación diaria.

**Medidas de efectividad.** La ejecución real se compara con la ejecución planeada en relación con medidas de efectividad tales como niveles de producción y cantidad de desperdicio. Si las desviaciones son importantes se informa a ingeniería de procesos y se utiliza para revisar los porcentajes de mermas de material y producciones-hora de las operaciones.

## 1.7. RELACIONES

*Producción.* Las órdenes de producción llegan a la planta a través de la función de lanzamiento.

*Investigación básica.* La investigación básica da origen a ideas de nuevos productos independientemente de consideraciones de mercado.

*Innovación del producto.* Esta función integra ideas para el diseño de nuevos productos y las modificaciones de los actuales, pudiendo haberse originado estas ideas en el mercado del producto, investigación básica, o por ingeniería del producto.

*Ingeniería.* Aquí se contempla tanto ingeniería de productos como de procesos.

Se culminan las configuraciones específicas de todos los modelos de la línea de productos, a menudo con la ayuda de innovación del producto. Igualmente aquí se realizan las funciones de ingeniería de proceso, que incluyen la determinación de las operaciones de fabricación, los requerimientos de materias primas y partes compradas. Los tiempos estándar de proceso, tiempos de preparación, etc. Se preparan los procedimientos estándar de operación para realizar trabajos, y se envían a planificación de producción los dosieres completos para cada producto nuevo o modificado.

Se recibe información retroactiva importante de *medidas de efectividad*, que incluye información sobre tasas de producción, porcentaje de paros de la mano de obra y de mermas de material etc.

## *Sistema general de planificación, programación y control de la producción*

*Ventas.* Recibe pedidos de clientes, lo notifica a almacén de acabados que los prepara y expide a los clientes. A la recepción de éstos, el cliente confirma su recepción en una copia del albarán de entrega. Finalmente ventas lo notifica a control financiero para que pueda prever las fechas de cobros a clientes.

*Compras.* Las órdenes de compra se reciben de control y gestión de stocks. Se selecciona un proveedor y se formula el pedido. Las entradas de materiales se notifican a control financiero para poder prever las fechas de pago a proveedores.

*Control financiero.* Entre otras funciones, se cuidan de determinar las fechas en que se habrá de pagar a los proveedores los materiales comprados y cobrar a los clientes los productos vendidos.

## RESUMEN

1. Las principales funciones de la planificación y control de producción son:
  - Predicción de la demanda en términos de qué, cuánto y cuándo se presentará la demanda.
  - Planificación de la producción, o aplicación de los recursos productivos disponibles a los requerimientos de producción determinados por la predicción de la demanda.
  - Control y gestión de stocks, con establecimiento de órdenes de producción y de compras, a los tres niveles: de materias primas, partes compradas y productos terminados.
  - Programación de la producción, que asigna actividades específicas a puestos de trabajo específicos, con tiempos de iniciación y de terminación.
  - Lanzamiento y control de la producción, que pone en marcha lo programado proveyendo a fabricación de la documentación necesaria para sacar los materiales y herramientas, y para el control de la producción. El control de producción retroalimenta la información a las funciones anteriores para la acción correctiva.
2. Las entradas de información necesarias para realizar la predicción de la demanda son: *mercados del producto*, en cuanto a la evolución de la demanda de los productos actuales (tendencias) y en especial la información comercial (productos nuevos de la competencia).

*Programas de marketing*, para anticipar las variaciones que en la demanda prevista inicialmente originan los cambios previstos en inversiones en publicidad y promoción.

*Factores económicos externos*, los cuales representan la salud económica general del país.

Por último, la demanda real proviene de las *ventas* y luego se compara con la demanda prevista.
3. La salida principal de la función de predicción de demanda es el establecimiento de la cantidad de *demanda esperada* para los diferentes productos o familias de productos sobre el período planeado. Esta salida es enviada a la función de planificación de producción.

Otra salida importante es la identificación de la *disminución de la demanda para un producto*. Esta información es enviada a innovación del producto para posibles modificaciones del mismo.
4. La entrada de información principal de la función de planificación de producción proviene de la *predicción de demanda*. Ésta suministra la base para determinar el nivel de actividad al cual la empresa deberá operar durante el período planeado.

*Ingeniería* proporciona otro conjunto amplio e importante de datos de entrada concerniente a nuevos productos, modificaciones de los existentes o modificaciones de los procesos de producción. Estos datos incluyen secuencias de fabricación, lista de materiales, tiempos estándar de operaciones, tiempos de preparación, etc.

Una tercera entrada es *perturbaciones externas* e incluye pedidos de emergencia, pedidos cancelados, huelgas, recursos no disponibles y otros problemas del mundo externo.
5. Existen tres categorías de salidas de la función de planificación de producción.

Una se relaciona con *planificación a largo plazo* (varios años) de ampliaciones de la fábrica y nuevas adquisiciones de medios productivos.

La segunda se relaciona con la planificación a medio plazo (6 a 12 meses), se define dentro de cada línea de producto sus distintas familias, se planifican las ventas, planes de producción, se realizan presupuestos, se seleccionan y se establecen contratos con proveedores, se contrata la mano de obra.

La tercera categoría se relaciona con *planificación a corto plazo* (usualmente seis meses o menos) y consiste primordialmente en determinar las necesidades de productos acabados por períodos y de material (subconjuntos, componentes, materias primas, suministros, etc.), requeridos para satisfacer el plan de operaciones, así como los requerimientos (de mano de obra y horas de máquinas) y la asignación de los recursos disponibles a estos requerimientos de producción. Esta información se envía hacia control y gestión de stocks y programación de producción.

6. La entrada de información principal de la función de control y gestión de stocks son los requerimientos planificados por la función de *planificación de producción*. Otras informaciones de entrada importantes son las órdenes de venta que provienen de *ventas* y los pedidos de materiales que hace *lanzamiento*.

Además de las entradas y salidas de información, se realiza la recepción y la entrega de materiales y productos. El material y componentes externos se reciben del proveedor y los componentes internos, subconjuntos y productos acabados se reciben de producción.

7. Las salidas de información de control y gestión de stocks son las cantidades de pedido, niveles de reposición, stock de seguridad de materias primas y componentes, tamaño de los lotes de producción de componentes y productos terminados. Esta información se envía a planificación de producción.

Cuando las existencias disponibles de materias primas, componentes y subconjuntos externos alcanzan su nivel de reposición, se envía a *compras* una orden de compra; cuando las existencias disponibles de componentes y subconjuntos internos alcanzan su nivel de reposición, se envía una orden de producción a programación de producción.

8. La entrada de información principal de la función programación de producción son las

necesidades de productos acabados, subconjuntos y componentes por períodos procedentes de planificación de producción, así como las solicitudes de fabricación y montaje provenientes de control y gestión de stocks. Otra entrada importante proviene de control de producción en forma de prioridades actualizadas y ajuste de programas de órdenes de producción actualmente en proceso.

9. A *lanzamiento* se entregan secuencias detalladas de operaciones para actividades individuales de trabajo, así como los tiempos de inicio y terminación para todas las operaciones. El nuevo trabajo se asigna a las máquinas prestando la consideración adecuada al trabajo ya en proceso y a las prioridades asignadas.

Se resuelven los conflictos de programación.

10. Las actividades que se desarrollan en lanzamiento y control de producción son:

*Lanzamiento.* La iniciación de la producción de acuerdo con lo programado, entregando al almacén los vales de material y a producción las órdenes de trabajo (vales de utillajes y bonos de trabajo), en el momento apropiado para fabricar el nuevo artículo.

*Recolección de datos.* Los datos específicos que se requieren son: el progreso del trabajo en producción el estado del trabajo en espera de proceso, el estado de los medios de producción, y la disponibilidad de los trabajadores que se requieren.

*Acción correctiva.* Es aquí donde se realiza la acción correctiva a corto plazo. Se toman decisiones en relación con problemas de operación. Estas decisiones incluyen la facilitación de trabajos críticos, la determinación de nuevas prioridades, el equilibrio de las cargas de trabajo entre los distintos centros de operación, manejo de problemas de personal, problemas relativos a la calidad del producto, estado del utillaje, paros, etc.

Estas decisiones se envían a programación de producción para proceder a los ajustes correspondientes en la programación diaria.

*Medidas de efectividad.* La ejecución real se compara con lo previsto en re-

lación con niveles de producción y cantidad de desperdicio. Si las desviaciones son importantes se informa a ingeniería de procesos y se utiliza para revisar los parámetros directrices pertinentes (porcentaje de mermas de material, producciones-hora).

## CUESTIONES

1. Dibujar el diagrama general del sistema de planificación, programación y control de la producción.
2. ¿Qué tipo de información se requiere para poder realizar la predicción de la demanda?
3. ¿Qué tipo de información se requiere para poder realizar la planificación de la producción?
4. ¿Qué tipo de información se requiere para poder realizar el control y gestión de los stocks?
5. ¿Qué tipo de información se requiere para poder realizar la programación de la producción?
6. ¿Qué clase de documentación entrega lanzamiento para el inicio de la producción y a qué departamentos?
7. ¿Qué información suministra ingeniería de procesos al sistema general de planificación?
8. ¿Qué actividad realiza control financiero en relación con los materiales que se requieren de proveedores y los productos vendidos a los clientes?

## RESPUESTAS A LAS CUESTIONES

1. Véase figura 1.1.
2. Mercados del producto, con las estadísticas de ventas, pudiendo estudiar la evolución de la demanda de los productos actuales (tendencias) y en especial la información comercial (productos nuevos de la competencia). Programas de marketing, para anticipar las variaciones que en la demanda originan los cambios previstos en inversiones en publicidad y promoción. Factores económicos externos, los cuales representan la salud económica general del país.
3. Las entradas de información principal provienen de la predicción de demanda. Ésta suministra la base para determinar el nivel de actividad al cual la empresa deberá operar durante el período planeado. Ventas informa de la demanda real (incluye pedidos de emergencia, pedidos cancelados, etc.) que se compara con la demanda prevista. Ingeniería proporciona otro conjunto amplio e importante de datos de entrada concerniente a nuevos productos, modificaciones a los existentes o modificaciones de los procesos de producción. Estos datos incluyen secuencias de fabricación, lista de materiales, tiempos estándar de operaciones, tiempos de preparación, etc.  
Perturbaciones externas e incluye pedidos de emergencia, pedidos cancelados, huelgas, recursos no disponibles y otros problemas del mundo externo.
4. Principalmente los requerimientos planificados por la función de planificación de producción. Otras informaciones de entrada importantes son las órdenes de venta que provienen de ventas y los pedidos de materiales que hace lanzamiento. En adición a las entradas y salidas de información se realizan la recepción y la entrega de materiales y productos. El material y componen-

tes externos se reciben del proveedor y los componentes internos, subconjuntos y productos acabados se reciben de producción.

5. Principalmente información de las necesidades de productos acabados, subconjuntos y componentes por períodos precedente de planificación de producción, así como las solicitudes de fabricación y montaje provenientes de control y gestión de stocks. Otra entrada importante proviene de control de producción en forma de prioridades actualizadas y ajuste de programas de órdenes de producción actualmente en proceso.
6. Al almacén los vales de material y a producción las órdenes de trabajo (vales de utillajes y bonos de trabajo).
7. Los procesos de fabricación, los requerimientos de materias primas y partes compradas, los tiempos estándar de proceso, tiempos de preparación, etc.
8. Los materiales son pagados a los proveedores y los productos vendidos son cobrados a los clientes.

# 2

## Predicción de la demanda

### Después de leer este capítulo usted deberá:

- Describir las consecuencias negativas de errores en la predicción de la demanda.
- Definir lo que se entiende por ciclo de vida de un producto.
- Listar los tipos de técnicas de predicción de la demanda y en qué se basa cada una de ellas.
- Recordar en qué consiste la técnica Delphi.
- Recordar en qué consiste la técnica de análisis y proyección de series temporales.
- Calcular la predicción de la demanda mediante la aplicación de la técnica de análisis y proyección de series temporales.

### 2.1. INTRODUCCIÓN

La predicción de demanda es la estimación de las peticiones de productos por parte de los clientes, por tanto, es el volumen de ventas que la empresa puede esperar en un determinado período.

Es la entrada principal de la función de planificación y control de la producción.

Los errores de previsión se traducirán en decisiones poco acertadas que ocasionarán repercusiones no deseadas con consecuencias económicas negativas: así, por ejemplo, si se asignan recursos sobre una previsión de la demanda futura que sea más alta que la real ocurrirá lo siguiente:

- Aumentarán los stocks de productos acabados.
- Capacidad de producción no aprovechada (aumento de costes fijos innecesarios).
- La plantilla tenderá a ser excesiva.

Por el contrario si la previsión es más baja:

- Los clientes no serán atendidos (buscarán otros proveedores).
- Los medios de producción se verán sobrecargados.
- La adquisición de medios de producción adicionales se realizará de forma apresurada.

Para la predicción de la demanda existen muchas técnicas de previsión y cada una de ellas tiene un campo de aplicación particular; van desde muy simples a muy sofisticadas y costosas, por tanto, hay que elegir la técnica correcta en cada caso.

Por ejemplo, si se emplean técnicas de proyección al futuro de valores del pasado, se pueden emplear técnicas matemáticas sofisticadas, con cálculos realizados por ordenador, con lo que existe el peligro de creer que lo delicado y poderoso de los instrumentos empleados da validez por sí mismo al resultado obtenido.

El dinero y esfuerzo dedicado a la previsión deberá estar en consonancia con las posibles consecuencias de los errores de la misma. Más que hablar de «exactitud» de la previsión, es más correcto hablar de la «utilidad» de la previsión, es decir, aquella que permite adoptar buenas decisiones.

La selección del método depende principalmente:

1. De la disponibilidad de datos históricos.
2. Grado de exactitud buscado, en el intervalo de tiempo que hay que cubrir la previsión, teniendo en cuenta el costo que ello representa para la empresa.
3. Tiempo de que se dispone para efectuar el análisis (hay métodos rápidos y lentos).
4. Etapa del ciclo de vida del producto para el que se ha de realizar la predicción.

Veamos a continuación qué se entiende por ciclo de vida de un producto.

## **2.2. CICLO DE VIDA DE UN PRODUCTO**

En cada etapa del ciclo de vida del producto (nacimiento, crecimiento rápido, madurez, vejez), las decisiones que la dirección ha de tomar y los datos disponibles para realizar la previsión son diferentes:

- En la etapa de nacimiento del producto, se desea conocer las oportunidades de crecimiento, cómo se han comportado productos parecidos (si los hay), qué aceptación puede tener el producto; es decir, evaluar la intensidad del esfuerzo de desarrollo del producto y la estrategia de la empresa.

En esta etapa, generalmente no se dispone de demasiados datos históricos del producto. Si es un mercado definido (existen productos comparables), se puede comparar con la competencia.

- En la etapa de crecimiento rápido, interesa verificar que la previsión de crecimiento que teníamos y la real coinciden. Por otra parte, es interesante determinar la fecha

aproximada en que las ventas alcanzarán la estabilidad. En esta etapa, generalmente, ya se dispone de datos históricos.

- En la etapa de madurez (ventas estables), las decisiones que se han de adoptar son diferentes a las anteriores, pues la planificación de instalaciones y la producción es ya una cuestión resuelta. Las variaciones tendrán que ver con los cambios de coyuntura económica, aparición de nuevos productos, campañas de la competencia, etc. En esta etapa dispondremos de suficientes datos históricos, incluso podremos apreciar las posibles variaciones cíclicas estacionales.
- En la etapa de vejez las decisiones son, bien la de un posible rediseño para intentar mantener las ventas, o bien su retirada cuando estas ventas están próximas a dejar de ser rentables.

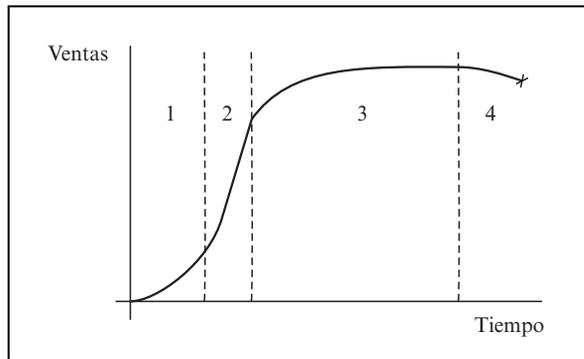


Figura 2.1.

## 2.3. ETAPAS EN LA ELABORACIÓN DEL MODELO DE PREDICCIÓN

- Identificar el problema.** Éste es un punto muy importante para abordar la resolución de cualquier tipología de problema que se quiera resolver. Es un punto obvio, pero en la realidad muchas veces ocurre que se resuelve bien el problema incorrecto.  
En este caso consistirá en identificar de qué producto (o grupo de productos) se quiere obtener una predicción de demanda. Hay que tener en cuenta que, en general, suele ser más difícil realizar buenas predicciones de un único producto que de una familia de ellos (producto agregado).
- Recopilar datos.** Con frecuencia éste suele ser el punto más delicado del proceso, ya que la calidad de los datos recopilados condicionará en gran medida la exactitud o utilidad de la predicción realizada. Si tenemos datos incorrectos o erróneos será difícil ajustar un modelo; es más, en el caso de que se ajuste, posiblemente los valores obtenidos sean de dudosa utilidad. Lo mismo puede decirse en el caso de

ventas extraordinarias por problemas puntuales de la competencia, éstas no deben ser tenidas en cuenta en el ajuste.

Además, es necesario tener una serie lo suficientemente larga y esto requiere que si, por ejemplo, estamos analizando las ventas mensuales, necesitemos tener registros de las unidades vendidas en meses de años anteriores.

Estos históricos en ocasiones no existen o pueden contener cifras erróneas. De todos modos, las ventas mensuales por producto suelen ser un tipo de información que las empresas acostumbran a tener sistematizada en mayor o menor grado y almacenada en su sistema de gestión.

Otro punto que debe tenerse en cuenta a la hora de recopilar los datos de años anteriores, es que las condiciones de mercado o gustos del consumidor cambian durante el tiempo. Por tanto, hay que saber definir el intervalo temporal del que se van a utilizar los datos. Por ejemplo, el sector de productos tecnológicos sufre cambios de una forma bastante rápida, quedando anticuados algunos productos con la aparición de otros nuevos. Por ese motivo, a pesar de que la empresa guardase registros históricos de ventas de ordenadores desde la década de 1980, con toda seguridad estos valores no serán representativos para predecir la demanda en 2013.

Por lo general se pueden utilizar los valores de períodos previos en los que las condiciones de entorno del problema en estudio no hayan sufrido cambios importantes (en algunos casos se puede hablar de 2-3 años y en otros 10-15 años).

- c) **Realizar el modelo y validarlo.** En esta fase se construye el modelo que presente el mejor ajuste a la serie de datos que tenemos y se valida que éste y sus parámetros cumplan las hipótesis sobre las que se sustenta el modelo.
- d) **Efectuar el pronóstico.** Finalizado el paso anterior podemos obtener el valor de predicción del período o períodos siguientes.
- e) **Revisar el modelo en el tiempo para asegurar su validez.** La realidad no es totalmente estática y, por tanto, no es válida la idea de explotar el modelo obtenido de forma indefinida. A medida que obtengamos nuevos datos, se debe ir retroalimentando el sistema y comprobar que el modelo sigue siendo útil. En caso contrario debemos volver a ajustar un nuevo modelo (etapa c).

## 2.4. CLASIFICACIÓN DE TÉCNICAS

Dado el carácter introductorio del presente capítulo y sin querer realizar un tratamiento exhaustivo de todas las técnicas y/o enfoques que existen, citaremos únicamente los siguientes métodos que consideramos de interés:

1. **Métodos cualitativos:** utilizan datos cualitativos (opinión de expertos); no precisan de datos históricos.
2. **Métodos de proyección predictiva (series temporales):** se basan en el uso de datos históricos para obtener la predicción de un valor a futuro. Se pueden dividir en dos grupos:

- Deterministas: proyección de tendencias y técnicas de descomposición.
  - Estocásticos: modelos ARIMA.
3. **Métodos causales:** utilizan la información sobre las relaciones causa-efecto entre elementos del sistema para realizar una predicción de la demanda (por ejemplo, utilizar un modelo de regresión para relacionar el consumo de refrescos con la temperatura media diaria).

### 2.4.1. Métodos cualitativos

Al no precisar de datos históricos para su realización, son técnicas muy indicadas para lanzamientos de productos y para la previsión tecnológica.

Básicamente emplean **juicios subjetivos** y unos **esquemas de puntuación** para transformar estas opiniones (juicios subjetivos) en **estimaciones cuantitativas**.

Por tanto, el objetivo es reunir de forma lógica, equilibrada y sistemática toda la información y opiniones relativas a los factores que se trata de estudiar. Las más conocidas son:

— *Técnica de DELPHI:*

- Se pregunta a un panel de expertos mediante cuestionarios sucesivos, de tal manera que las respuestas de un cuestionario sirven para confeccionar el siguiente. De esta forma, la información poseída por un experto es transferida a los otros de modo que todos ellos tengan acceso a la información existente para realizar la previsión (eliminando el «factor de arrastre» que origina la opinión de la mayoría).

Su realización suele durar unos dos meses y es cara. Se suele emplear en previsiones de venta a largo plazo (aunque también se pueda emplear a corto y medio plazo) de nuevos productos, para previsión de márgenes y para previsión tecnológica a largo plazo.

— *Consenso de grupo:*

- Se basa en que varios expertos pueden obtener una previsión mejor que una sola persona. No existe secreto y se estimula la comunicación.

— *Impacto cruzado:*

- Formulario tipo damero que relaciona la ocurrencia de ciertos acontecimientos con la probabilidad de que ocurran otros.

— *Previsión imaginativa:*

- Profecía basada en intuiciones.

— *Analogías históricas:*

- Cuando hay productos similares a los nuevos.

## 2.4.2. Métodos de proyección predictiva (series temporales)

En primer lugar, será necesario definir lo que se entiende por serie temporal. Se trata de un conjunto de valores correspondientes a una variable observada que están ordenados cronológicamente y separados por una distancia temporal constante (ventas de vehículos mensuales, consumo de combustible diario en un país, número de usuarios por hora en un servicio de transporte público, etc.).

Este conjunto de técnicas o métodos analizan los datos de la serie temporal (carácter retroactivo) para producir la predicción de uno o varios valores a futuro. Hay que tener en cuenta que la capacidad o fiabilidad de predicción de estos métodos disminuye a medida que los valores estimados se alejan del presente y que, por tanto, son herramientas útiles para predicciones a corto plazo.

Por ejemplo, los datos a recoger en el caso de querer predecir la demanda de un producto (o familia de productos) durante un próximo período de un año serían las ventas que hubo de este producto durante los tres o cuatro años anteriores mes a mes.

Por tanto, estas técnicas son utilizables cuando disponemos de datos de un producto durante un intervalo temporal (serie temporal).

### Clasificación de los métodos de proyección

Se pueden dividir en dos grupos:

- a) **Deterministas:** implican que la serie temporal tenga un comportamiento supuestamente fijo y que cuando se producen alteraciones se considere que son exógenas a la serie, de modo que no afectan a su comportamiento básico.
- b) **Estocásticos:** se considera que la serie tiene unas perturbaciones o variabilidad que forman parte de ella.

### Componentes de la serie temporal

Los componentes de una serie temporal son los siguientes:

- **Tendencia (*T*):** tiene que ver con la evolución a largo plazo de la serie temporal. Por ejemplo, cuál es el comportamiento observado a lo largo de los años. Se pueden observar tendencias crecientes, decrecientes o constantes.
- **Ciclo (*C*):** en este caso el patrón repetitivo se produce en períodos temporales superiores al año y van oscilando alrededor de la tendencia. Pueden responder a fenómenos de recesión, expansión, etc.
- **Estacionalidad (*E*):** está relacionada con los patrones repetitivos que se producen en un período temporal que podría ser de un mes u otro período de tiempo que tenga lógica con el problema que se estudia. Muchos productos tienen estacionalidad en las ventas, como puede ser la venta de libros (con incrementos en los meses de abril y de septiembre), venta de helados (incremento durante los meses estivales), etc.

La serie temporal puede explicarse así:

$$Y_t = f(T_t, C_t, E_t) \pm V$$

En la que  $V$  representa la aleatoriedad entre las medidas de la realidad y el modelo seguido para el fenómeno observado, el cual pretende minimizar el peso de  $V$ .

## 2.5. COMPARACIÓN DE MODELOS

Una vez que disponemos de una serie temporal y queremos realizar la predicción de uno o varios valores a futuro, podemos utilizar diferentes modelos para realizar el ajuste.

Está claro que no todos los modelos utilizados serán igual de buenos para nuestro objetivo y, por tanto, se plantea o aparece el problema de decidir con cuál de ellos nos quedamos.

Llegados a este punto parece interesante poder contar con algún criterio que nos permita realizar una comparación de forma objetiva.

A continuación vamos a describir algunos de estos criterios o medidas de precisión:

— MAD (*Mean Absolute Deviation* - Desviación absoluta media).

$$\text{MAD} = \frac{\sum_{t=1}^T |Y_t - P_t|}{T}$$

Donde  $Y_t$  corresponde al valor que se predice en el instante  $t$ ,  $P_t$  el valor observado en el instante  $t$ ,  $t$  es el número de período y  $T$  es el número total de períodos que integran el intervalo de estudio.

— RMSE (*Root Mean Squared Error* - Raíz cuadrada del error cuadrático medio).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (Y_t - P_t)^2}{T}}$$

En general nos quedaremos con aquel modelo que presente el valor de estos dos estadísticos más bajo.

A continuación, en la tabla 2.1, se muestra un ejemplo para ilustrar el uso de los dos estadísticos anteriores, en el que se han ajustado dos modelos para la predicción de la demanda. La primera columna (observación) recoge los valores de demanda correspondientes a once meses. La segunda columna (predicción 1) contiene los valores obtenidos con el modelo 1, la tercera columna (predicción 2) contiene los valores obtenidos con el modelo 2.

TABLA 2.1  
Resultados de la predicción con los modelos 1 y 2

ID	Observación	Predicción 1	Predicción 2
1	200	202,0	200,0
2	135	200,0	167,5
3	195	193,5	181,3
4	197,5	193,7	189,4
5	310	194,0	249,7
6	175	205,6	212,3
7	155	202,6	183,7
8	130	197,8	156,8
9	220	191,0	188,4
10	277,5	193,9	233,0
11	235	202,3	234,0

Como se puede apreciar, los valores pronosticados por el modelo 1 y el modelo 2 son diferentes y, por tanto, el objetivo será determinar cuál de los dos modelos es el que vamos a seleccionar a partir de ahora.

A continuación, en primer lugar, en la tabla 2.1 obtenemos el error de predicción ( $E'_t$ ) para cada período ( $t$ ), obtenido como el valor absoluto de la diferencia entre el valor observado ( $Y'_t$ ) y el valor pronosticado ( $P'_t$ ).

Aplicando la fórmula:

$$\text{MAD} = \frac{\sum_{t=1}^T |Y_t - P_t|}{T}$$

y siendo  $T = 11$  (número de períodos) se obtiene 43,6 para el primer modelo y 25,9 para el segundo.

$$\begin{aligned} \text{MAD modelo 1} &= (2 + 65 + 1,5 + 3,8 + 116 + 30,6 + 47,6 + 67,8 + 29 + \\ &\quad + 83,6 + 32,7)/11 = 43,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MAD modelo 2} &= (0 + 32,5 + 13,8 + 8,1 + 60,3 + 37,3 + 28,7 + 26,8 + \\ &\quad + 31,6 + 44,5 + 1)/11 = 25,9 \end{aligned}$$

después, se obtiene el cuadrado del error ( $E'_t$ ) y se calcula el RMSE con la fórmula:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (Y_t - P_t)^2}{T}}$$

y siendo  $T = 11$ , los valores de RMSE son de 55,9 y 31,4 para los modelos 1 y 2 respectivamente.

**TABLA 2.2**  
*Valores de  $E_t$  y  $E_t^2$  con los modelos 1 y 2*

Modelo 1				Modelo 2			
Observación	Predicción 1	$E_t$	$E_t^2$	Observación	Predicción 2	$E_t$	$E_t^2$
200	202,0	2,0	4,0	200	200,0	0,0	0,0
135	200,0	65,0	4.225,0	135	167,5	32,5	1.056,3
195	193,5	1,5	2,3	195	181,3	13,8	189,1
197,5	193,7	3,8	14,8	197,5	189,4	8,1	66,0
310	194,0	116,0	13.447,9	310	249,7	60,3	3.637,6
175	205,6	30,6	938,3	175	212,3	37,3	1.394,6
155	202,6	47,6	2.262,7	155	183,7	28,7	822,1
130	197,8	67,8	4.598,4	130	156,8	26,8	720,2
220	191,0	29,0	839,2	220	188,4	31,6	997,4
277,5	193,9	83,6	6.984,4	277,5	233,0	44,5	1.983,9
235	202,3	32,7	1.070,3	235	234,0	1,0	1,0

	MAD	RMSE
	43,6	55,9

	MAD	RMSE
	25,9	31,4

Se elige el modelo 2 ya que sus valores de MAD y RMSE son mejores que los del modelo 1.

## 2.6. PREDICCIÓN BASADA EN EL ANÁLISIS DE LA SERIE TEMPORAL MEDIANTE REGRESIÓN LINEAL

Conocidos los volúmenes de ventas mensuales de un producto o familia de productos durante los tres o cuatro últimos años, se trata en principio de obtener la tendencia de la serie temporal y, una vez calculados los coeficientes estacionales medios de cada mes, ya podremos obtener la predicción de ventas mes a mes del próximo año.

Vamos a suponer el caso más sencillo y aquel en que la tendencia de la serie temporal se puede ajustar a una recta.

En este caso se utiliza la regresión lineal para ajustar una ecuación de la forma:

$$y'_t = ax + b$$

donde:

- $y'_t$ : representa el valor de la ordenada de la recta de tendencia para un determinado instante  $t$ .
- $a$ : es el coeficiente de regresión, que representa el incremento que se produce en el valor de la variable  $Y_t$  cada vez que  $t$  se incrementa en una unidad (al incrementar en una unidad el valor de  $x$ , el valor  $Y'_t$  se incrementa en  $a$  unidades).
- $b$ : es el término independiente de la recta de regresión (ordenada del punto de corte de la recta de tendencia con el eje de las  $Y$ ).
- $x$ : hace referencia a la variable independiente de la regresión lineal y representa un instante temporal.

Por tanto,  $y'_t$  representa la variable dependiente o respuesta de la regresión que está en función de la variable independiente o explicativa  $x$  (instante temporal).

El objetivo es ajustar una recta por mínimos cuadrados de modo que se minimice el valor medio del cuadrado de los errores. La recta ajustada de este modo definirá la tendencia de la serie temporal.

### EJEMPLO

Disponemos de las ventas mensuales mes a mes durante cuatro años consecutivos (tabla 2.3). Se trata de deducir por extrapolación las ventas por meses del año 2012 y determinar el margen de error por mes.

Tomando como abscisas el número del mes y como ordenadas las ventas se puede hacer la representación gráfica de la figura 2.2. Antes de extrapolar se debe observar la serie tem-

TABLA 2.3

*Ventas mensuales mes a mes durante cuatro años consecutivos*

	2008	2009	2010	2011
Enero	48	65	80	96
Febrero	46	62	74	89
Marzo	49	60	73	88
Abril	46	54	68	81
Mayo	43	52	62	75
Junio	37	46	55	66
Julio	36	46	53	64
Agosto	48	57	68	81
Septiembre	56	68	81	96
Octubre	59	74	85	102
Noviembre	67	84	95	114
Diciembre	74	90	102	123

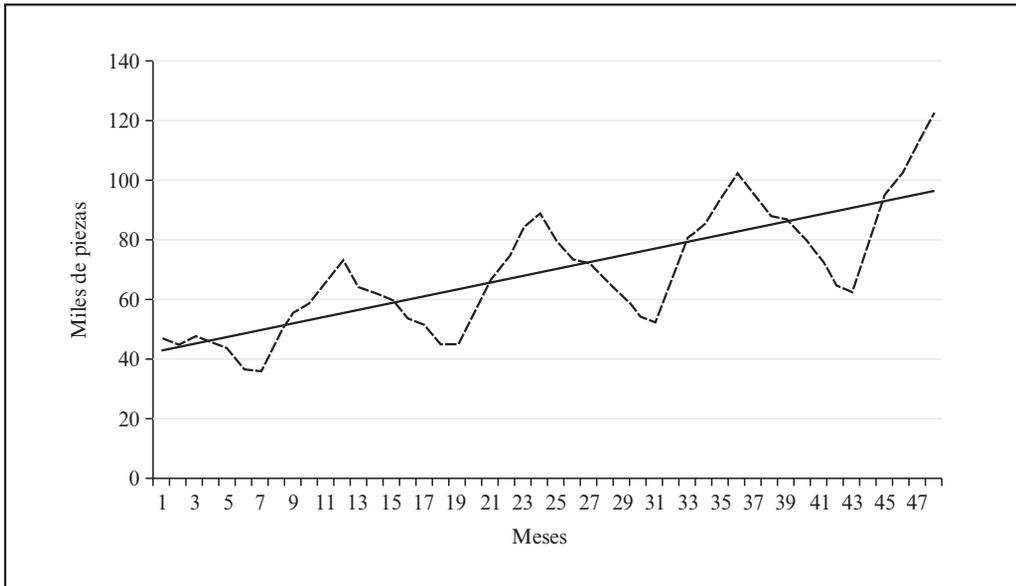


Figura 2.2. Serie temporal y recta de tendencia aproximada.

poral de los meses correspondientes al último año, y si hubiera puntos anómalos investigar la causa y decidir si ese valor se toma tal cual o debe ser corregido antes de extrapolar; podría haber ocurrido, por ejemplo, que, por motivo de una huelga, la competencia no hubiera podido atender el mercado y tuviésemos que haber llevado a cabo acciones especiales (turnos extras, etc.) para satisfacer el mercado. Lógicamente no se pueden dar estas ventas como normales y habríamos de corregir a la baja antes de extrapolar.

Llamando  $x$  al número del mes, e  $y$  a la venta real de cada mes, los puntos de la recta de tendencia  $y'$  se calculan por la expresión:

$$y' = ax + b$$

Aplicando el método de los mínimos cuadrados, los parámetros se obtendrán por las fórmulas:

$$a = \frac{n \sum_{t=1}^T xy - \sum_{t=1}^T x \sum_{t=1}^T y}{n \sum_{t=1}^T x^2 - \left( \sum_{t=1}^T x \right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{t=1}^T y - a \sum_{t=1}^T x}{n}$$

Los valores de las expresiones a introducir en las fórmulas se calculan mediante una hoja de cálculo de Excel y son las que en la tabla 2.4 aparecen en el acumulado total.

Una vez calculados los valores de  $a$  y de  $b$ , ya se podrán calcular los valores de  $y'$  que aparecen en la tabla. Posteriormente se calculan los valores de  $t$  (coeficiente estacional) de cada uno de los meses.

**TABLA 2.4**  
*Cálculo de los valores a introducir en las fórmulas*

Mes	$x$	$y$	$x \times y$	$x_2$	$y'$	$t = y/y'$
Enero-08	1	48	48	1	42,8	1,12
Febrero	2	46	92	4	43,9	1,05
Marzo	3	49	147	9	45	1,09
Abril	4	46	184	16	46,2	1,00
Mayo	5	43	215	25	47,3	0,91
Junio	6	37	222	36	48,5	0,76
Julio	7	36	252	49	49,6	0,73
Agosto	8	48	384	64	50,7	0,95
Septiembre	9	56	504	81	51,9	1,08
Octubre	10	59	590	100	53	1,11
Noviembre	11	67	737	121	54,2	1,24
Diciembre	12	74	888	144	55,3	1,34
Enero-09	13	65	845	169	56,4	1,15
Febrero	14	62	868	196	57,6	1,08
Marzo	15	60	900	225	58,7	1,02
Abril	16	54	864	256	59,9	0,90
Mayo	17	52	884	289	61	0,85
Junio	18	46	828	324	62,1	0,74
Julio	19	46	874	361	63,3	0,73
Agosto	20	57	1.140	400	64,4	0,89
Septiembre	21	68	1.428	441	65,6	1,04
Octubre	22	74	1.628	484	66,7	1,11
Noviembre	23	84	1.932	529	67,8	1,24
Diciembre	24	90	2.160	576	69	1,30

TABLA 2.4 (continuación)

Mes	$x$	$y$	$x \times y$	$x_2$	$y'$	$t = yly'$
Enero-10	25	80	2.000	625	70,1	1,14
Febrero	26	74	1.924	676	71,3	1,04
Marzo	27	73	1.971	729	72,4	1,01
Abril	28	68	1.904	784	73,5	0,93
Mayo	29	62	1.798	841	74,7	0,83
Junio	30	55	1.650	900	75,8	0,73
Julio	31	53	1.643	961	77	0,69
Agosto	32	68	2.176	1.024	78,1	0,87
Septiembre	33	81	2.673	1.089	79,2	1,02
Octubre	34	85	2.890	1.156	80,4	1,06
Noviembre	35	95	3.325	1.225	81,5	1,17
Diciembre	36	102	3.672	1.296	82,7	1,23
Enero-11	37	96	3.552	1.369	83,8	1,15
Febrero	38	89	3.382	1.444	84,9	1,05
Marzo	39	88	3.432	1.521	86,1	1,02
Abril	40	81	3.240	1.600	87,2	0,93
Mayo	41	75	3.075	1.681	88,4	0,85
Junio	42	66	2.772	1.764	89,5	0,74
Julio	43	64	2.752	1.849	90,6	0,71
Agosto	44	81	3.564	1.936	91,8	0,88
Septiembre	45	96	4.320	2.025	92,9	1,03
Octubre	46	102	4.692	2.116	94,1	1,08
Noviembre	47	114	5.358	2.209	95,2	1,20
Diciembre	48	123	5.904	2.304	96,3	1,28
	<b>1.176</b>	<b>3.338</b>	<b>92.283</b>	<b>38.024</b>		

A partir de estos datos, se puede deducir la ecuación de la recta de tendencia:

$$a = \frac{n \sum_1^{48} xy - \sum_1^{48} x \sum_1^{48} y}{n \sum_1^{48} x^2 - \left( \sum_1^{48} x \right)^2} = \frac{48 \times 92.283 - 1.176 \times 3.338}{48 \times 38.024 - 1.176^2} = 1,14$$

$$b = \frac{\sum_1^{48} y - a \sum_1^{48} x}{n} = \frac{3.338 - 1,14 \times 1.176}{48} = 41,61$$

La expresión de la **recta de tendencia** es

$$y' = ax + b, \text{ entonces:}$$

$$y' = 1,14x + 41,61$$

Ahora se podrán calcular los valores de  $y'$  y posteriormente los valores de  $t$  de cada uno de los meses.

Una vez calculados los valores de  $y'$ , la venta prevista  $y$  se calculará así:  $y = y' \times \bar{t}$   
Siendo  $\bar{t}$  el coeficiente estacional medio del mes correspondiente.

Tomando los valores  $y$  y  $y'$  de cada mes de los cuatro años, se pueden calcular los coeficientes medios de variación estacional para cada mes, por la fórmula:

$$\bar{t} = \frac{\sum_1^4 yy'}{\sum_1^4 y'^2}$$

Los cálculos realizados mediante la hoja de cálculo Excel figuran en la tabla 2.5:

TABLA 2.5  
*Coefficientes medios de la variación estacional*

	$\sum_1^4 y \times y'$	$\sum_1^4 y'^2$	$\bar{t}$
Enero	19.372,6	16.948,1	1,14
Febrero	18.419,6	17.530,3	1,05
Marzo	18.587,7	18.122,9	1,03
Abril	17.419,8	18.725,9	0,93
Mayo	16.461,6	19.339,3	0,85
Junio	14.726,5	19.963,2	0,74

TABLA 2.5 (continuación)

	$\sum_1^4 y \times y'$	$\sum_1^4 y'^2$	$\bar{r}$
Julio	14.574,3	20.597,4	0,71
Agosto	18.849,9	21.242,0	0,89
Septiembre	22.699,1	21.897,0	1,04
Octubre	24.487,2	22.562,4	1,09
Noviembre	27.920,9	23.238,1	1,20
Diciembre	30.577,7	23.924,3	1,28

Ahora ya podremos obtener las ventas medias previstas para cada uno de los doce meses del próximo año (tabla 2.6).

TABLA 2.6

*Ventas mensuales medias previstas para el próximo año*

Mes	$x$	Tendencia $y'$	Coficiente estacional medio $\bar{r}$	$y$ (previsión) = $y' \times \bar{r}$
Ene.-12	49	97,5	1,14	111,4
Feb.-12	50	98,6	1,05	103,6
Mar.-12	51	99,8	1,03	102,3
Abr.-12	52	100,9	0,93	93,9
May.-12	53	102,0	0,85	86,8
Jun.-12	54	103,2	0,74	76,1
Jul.-12	55	104,3	0,71	73,8
Ago.-12	56	105,5	0,89	93,6
Sep.-12	57	106,6	1,04	110,5
Oct.-12	58	107,7	1,09	116,9
Nov.-12	59	108,9	1,20	130,8
Dic.-12	60	110,0	1,28	140,6

No podemos decir con una seguridad total que las ventas previstas serán las calculadas, sino que habremos de calcular con un cierto grado de confianza entre qué márgenes estarán las ventas.

Habremos de calcular la desviación típica ( $\sigma$ ) de los coeficientes estacionales medios de cada uno de los meses del año. Tomando los valores  $t$  de cada mes de los cuatro años, se calculará así:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^4 (t - E)^2}{n}}$$

(los valores de  $t$  figuran en la última columna de la tabla 2.4.)

Así, para los meses de enero:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(1,12 - 1,14)^2 + (1,15 - 1,14)^2 + (1,14 - 1,14)^2 + (1,15 - 1,14)^2}{4}} = 0,01$$

Los valores obtenidos mediante la hoja de cálculo Excel, para todos los meses mediante la aplicación de la fórmula, figuran en la tabla 2.7.

TABLA 2.7

Valores de  $\sigma$

	$\sigma$
Enero	0,01
Febrero	0,01
Marzo	0,03
Abril	0,04
Mayo	0,03
Junio	0,01
Julio	0,02
Agosto	0,03
Septiembre	0,02
Octubre	0,02
Noviembre	0,03
Diciembre	0,04

Para un grado de confianza de un 95%, se prevé que las ventas estarán comprendidas entre:  $y \pm 2\sigma \times y$ .

La variación aleatoria  $2\sigma \times y$  puede verse calculada en la tabla 2.8.

TABLA 2.8  
Valores de la variación aleatoria

Mes	$x$	$\sigma$	$y$ (previsión) = $y' \times \bar{t}$	Variac. aleat. $2\sigma \times y$
Ene.-08	49	0,01	111,4	2,5
Feb.-08	50	0,01	103,6	3,0
Mar.-08	51	0,03	102,3	6,7
Abr.-08	52	0,04	93,9	6,8
May. 08	53	0,03	86,8	5,3
Jun.-08	54	0,01	76,1	2,2
Jul.-08	55	0,02	73,8	2,4
Ago.-08	56	0,03	93,6	5,7
Sep.-08	57	0,02	110,5	5,0
Oct.-08	58	0,02	116,9	5,4
Nov.-08	59	0,03	130,8	8,2
Dic.-08	60	0,04	140,6	11,2

Así pues, podremos decir con una probabilidad de un 95% que las ventas previstas para el mes de enero están comprendidas entre  $111,4 \pm 2,5$ , es decir, entre 108,9 y 113,9.

La representación gráfica de las ventas previstas para el próximo año está indicada en la figura 2.3 (meses 49 a 60).

Una vez acabado el mes de enero, si la venta real se sale de los límites de  $111,4 \pm 2,5$  se habrá de reconsiderar la predicción para el resto de los meses del año.

Se habría de calcular una nueva recta de tendencia cuyo arranque estaría a final de enero en una ordenada superior a la actual y con una pendiente mayor (si el desvío fue positivo) o todo lo contrario (si el desvío fue negativo).

El coeficiente normalmente utilizado para hacer la corrección es  $\alpha = 0,20$ , es decir, se da un peso del 20% a dicha desviación.

En el supuesto de que el desvío fuese negativo, el nuevo punto de arranque  $y'_i$  se calcularía con la siguiente fórmula:

$$y'_i(\text{nuevo}) = y'_i(\text{previsto}) - \alpha \left( \frac{y_{t-1} \text{ prevista} - y_{t-1} \text{ real}}{\bar{t}_{t-1}} \right)$$

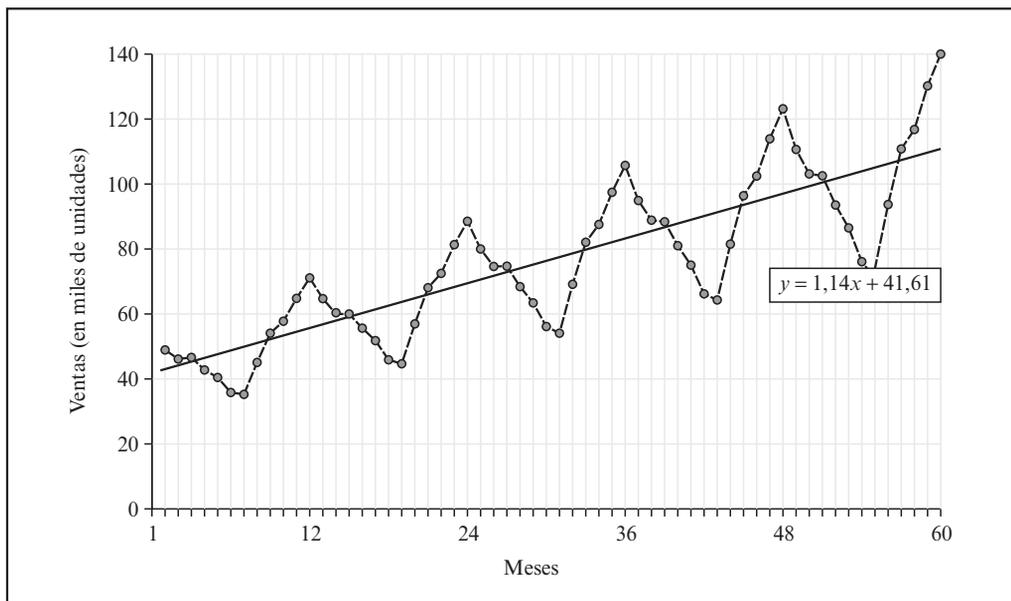


Figura 2.3. Representación gráfica de las ventas previstas.

## RESUMEN

**La predicción de demanda** es la estimación de las peticiones de productos por parte de los clientes, por tanto, es el volumen de ventas que la empresa puede esperar en un determinado período.

**Los errores de previsión** se traducirán en consecuencias económicas negativas, así, por ejemplo, si es más alta que la real: aumentarán los stocks de productos acabados, capacidad de producción no aprovechada, la plantilla tenderá a ser excesiva. Por el contrario si la previsión es más baja: los clientes no serán atendidos (buscarán otros proveedores), los medios de producción se verán sobrecargados, la adquisición de medios de producción adicionales se realizará de forma apresurada.

**Ciclo de vida de un producto:** nacimiento, crecimiento rápido, madurez, vejez.

**Técnicas de predicción.** Básicamente existen tres tipos: Técnicas cualitativas: utilizan datos cualitativos (opinión de expertos); no precisan de datos históricos. Análisis y proyección de series temporales: se apoya en datos históricos que proyecta al futuro. Modelos causales: utilizan la información sobre las relaciones causa-efecto entre elementos del sistema.

**Técnicas cualitativas:** muy indicadas para lanzamientos de productos y para la previsión tecnológica.

Básicamente emplean **juicios subjetivos** y unos **esquemas de puntuación** para transformar estas opiniones (juicios subjetivos) en **estimaciones cuantitativas**.

**Técnica de DELPHI:** se pregunta a un panel de expertos, mediante cuestionarios sucesivos, de tal manera que las respuestas de un cuestionario, sirven para confeccionar el siguiente.

**Serie temporal** es un conjunto de puntos ordenados cronológicamente. En nuestro caso será las ventas de un producto expresado en determinados períodos de tiempo (por ejemplo, meses durante varios años).

**Análisis y proyección de series temporales:** se basa en «un futuro como el pasado», es

decir, se considera que los patrones presentes se mantendrán invariables en el futuro; con los datos pasados se obtiene la rapidez con que asciende o desciende el nivel de actividad.

Se trata, pues, de realizar una proyección de los datos históricos hacia el futuro mediante un cierto modelo. Por otra parte, es frecuente que los niveles y tendencias se mezclen con variaciones estacionales u otros factores, distorsionando los datos obtenidos.

**Previsión basada en el análisis de series temporales:** conocidos los volúmenes de ventas mensuales de tres o cuatro años anteriores, se trata de deducir por extrapolación las ventas del año próximo detalladas por meses, asignando para cada uno de ellos un margen de error según un nivel de confianza previamente aceptado. Se estudian separadamente la *tendencia*, la *variación estacional* y la *variación aleatoria*.

**La tendencia**, o curva media de todos los valores dados, se obtiene realizando previamente la representación gráfica de los valores y analizando si puede asimilarse a una recta, o bien se trata de otra forma geométrica. En el primer caso, puede utilizarse el método de ajuste por mínimos cuadrados, también pueden asimilarse los valores a los de una progresión geométrica o ajustarlos a una función de tipo exponencial. Por extrapolación, se deducen los valores por meses del año próximo.

**Variación estacional** se da cuando los consumos son distintos en invierno y verano, etc. Entonces es preciso corregir cada uno de los valores obtenidos de la tendencia, por el factor promedio de los años considerados de la variación estacional del mes. El factor de estacionalidad de cada mes se calcula dividiendo la venta real del mes por la ordenada correspondiente

al punto de la recta de tendencia:  $t = \frac{y}{y'}$

**La variación aleatoria** se obtiene buscando la dispersión de los datos de cada mes de los años considerados.

## CUESTIONES

1. Tipos de técnicas de predicción y en qué consisten.
2. En qué consiste la técnica Delphi.
3. En qué consiste la técnica de predicción basada en el análisis de series temporales.
4. Llamando  $x$  al número del mes, e  $y$  a la venta real de cada mes, los puntos de la recta de tendencia  $y'$  se calculan por la expresión...
5. Calculados los valores de  $y'$  y  $\bar{t}$ , la venta prevista  $y$  se calculará así...
6. Para un grado de confianza de un 95%, las ventas estarán comprendidas entre...
7. Dados los siguientes cinco puntos a realizar para el cálculo de la predicción de la demanda de un producto:
  1. Análisis de la serie temporal para depurar datos del pasado.
  2. Extrapolar al futuro los datos del pasado.
  3. Representación gráfica de las ventas de varios años anteriores.
  4. Calcular el margen de la demanda esperada para una probabilidad determinada.
  5. Corregir los datos gracias a información de marketing, publicidad y otros factores económicos externos.  
¿Cuál sería la secuencia correcta para el cálculo de la predicción?:
    - a) 3-2-5-1-4.
    - b) 3-5-1-2-4.
    - c) 1-3-5-2-4.
    - d) 3-1-2-5-4.
8. La previsión para la demanda futura por el método de análisis de regresión de series temporales, una vez obtenidos la  $y'$  (extrapolando la recta de regresión) y el coeficiente estacional promedio ( $\bar{t}$ ), el intervalo en que se espera esté la demanda con una confianza del 95% se obtiene efectuando:
  - a)  $\bar{t} \times y' \pm 2 \times \sigma \times y'$
  - b)  $y' \pm 2 \times \sigma \times \bar{t}$
  - c)  $y' \times \bar{t} \pm 2 \times \sigma \times y' \times \bar{t}$
  - d)  $\bar{t} \times y' \pm 2 \times \sigma$
9. En el análisis de regresión de series temporales para la predicción de la demanda, el factor estacional de un mes se obtiene:
  - a) Por cociente entre el valor correspondiente a la recta de regresión dividido por la venta real del mes.

- b) Por cociente entre la venta real del mes dividido por el valor correspondiente en la recta de regresión.
  - c) Sustituyendo en la recta de regresión el valor del mes correspondiente.
  - d) Como promedio de las diferencias entre venta real y valor de la recta de regresión del mes.
10. En la predicción de la demanda por el análisis de regresión de series temporales en un producto de venta estacional, los puntos obtenidos al extrapolar hacia el futuro la recta de regresión nos dan:
- a) La tendencia de la demanda.
  - b) La demanda esperada.
  - c) La variación estacional.
  - d) El coeficiente estacional del producto.
  - e) La variación aleatoria de la demanda respecto de la demanda actual.
  - f) \_\_\_\_\_
11. Hemos realizado la predicción de la demanda mediante el análisis de regresión de una serie temporal de la demanda de los últimos cuatro años de un producto. Cuando hemos conocido la demanda real, ésta ha caído fuera de los límites  $\pm 2\sigma$  que habíamos previsto; podemos pensar que:
- a) El sistema ha cambiado y el método no es aplicable.
  - b) Debemos recalcarlo tomando más datos anteriores.
  - c) Existe variación estacional.
  - d) Existe variación aleatoria.
  - e) Los factores estacionales no siguen una ley normal.
12. Calcular entre qué límites, con una probabilidad del 95%, se situará la demanda para el mes de mayo del año próximo, en el que el valor de la tendencia para mayo de 2013 es:  $y' = 100$ ; si para el mes de mayo el factor estacional promedio vale 1,2 y la desviación tipo vale 0,025.
- a) Entre 115 y 125 unidades.
  - b) Entre 95 y 105 unidades.
  - c) Entre 114 y 126 unidades.
  - d) No es correcto ninguno de los anteriores.
13. ¿Qué grado de confianza podemos tener en que la venta esperada para el mes de enero sea de 4.750 a 5.250 unidades, si la desviación típica del coeficiente estacional es de 0,05 ?
- a) 68%.
  - b) 95%.
  - c) 99,7%.
  - d) Ninguna de las anteriores.
14. Para estimar la demanda de un producto se tienen los datos de la venta real de los tres últimos años (36 meses) desde enero de 2010 a diciembre de 2012, de los que se ha calculado la recta de regresión resultando ser:  $y' = 0,1x + 150$  (siendo  $x$  el número de orden del mes). La venta

real de los tres últimos meses de enero ha sido: 175; 205; 195 unidades. Para el mes de enero el factor estacional promedio calculado vale: 1,3 y la desviación tipo: 0,05.

¿Entre qué valores con una probabilidad del 95% se espera esté la demanda real de enero de 2013?

Valor máximo	
Valor mínimo	

15. La predicción de unidades a vender de un determinado producto para un período fue de 200. La venta real ha sido de 180 unidades. Considerando que la parte de error cometido por causas completamente aleatorias es del 80%, ¿cuál será la predicción para el siguiente período según el método del ajuste exponencial (o promedio móvil ponderado exponencialmente)?:
- 176 unidades.
  - 184 unidades.
  - 196 unidades.
  - 160 unidades.
  - Ninguna de las anteriores.
16. ¿Cuál es la predicción de la demanda para el mes de febrero del año 2013 sabiendo que  $y' = 2x + b$  y la  $y'$  de diciembre del 2012 es igual a 116 unidades y el coeficiente estacional medio de febrero es 1,5?:
- 174 unidades.
  - 180 unidades.
  - 177 unidades.
  - Ninguna de las anteriores.
17. Se conocen las cantidades mensuales, desde enero de 2010 hasta diciembre de 2012, que se han vendido en los tres años de un producto. Del estudio de la tendencia se ha obtenido que la pendiente de la recta de regresión vale  $a = 1,2$  y la ordenada en el origen  $b = 20$ . Las ventas, en miles de unidades, correspondientes a los meses de julio de estos tres últimos años han sido:

Año	2010	2011	2012
Julio	25	30	34

1. El coeficiente estacional medio del mes de julio vale:
- 0,666.
  - 0,693.
  - 0,858.
  - 1,442.

2. Si el valor hallado en el apartado anterior para el coeficiente estacional medio fuera 0,7, la desviación típica en tanto por uno vale:
  - a) 0,01.
  - b) 0,06.
  - c) 0,10.
  - d) 0,12.
  
3. La predicción de la media de las ventas de julio del año 2013 en miles de unidades será:
  - a) 38,50.
  - b) 40,04.
  - c) 42,80.
  - d) 50,12.
  
4. Suponiendo que el valor de la desviación típica mencionada en el apartado anterior es 0,1, los valores (en miles de unidades) entre los que con un 95% de probabilidad oscilaría el valor esperado de las ventas del mes de julio del 2013 será:
  - a) Entre 46,2 y 30,8.
  - b) Entre 60,144 y 40,096.
  - c) Entre 48,048 y 32,032.
  - d) Entre 51,36 y 34,24.

## RESPUESTAS A LAS CUESTIONES

1. Básicamente existen tres tipos: Técnicas cualitativas: utilizan datos cualitativos (opinión de expertos); no precisan de datos históricos. Análisis y proyección de series temporales: se apoya en datos históricos que proyecta al futuro. Modelos causales: utilizan la información sobre las relaciones causa-efecto entre elementos del sistema.
2. Se pregunta a un panel de expertos, mediante cuestionarios sucesivos, de tal manera que las respuestas de un cuestionario sirven para confeccionar el siguiente.
3. Conocidos los volúmenes de ventas mensuales de tres o cuatro años anteriores, se trata de deducir por extrapolación las ventas del año próximo detalladas por meses, asignando para cada uno de ellos un margen de error según un nivel de confianza previamente aceptado. Se estudiarán separadamente la *tendencia*, la *variación estacional* y la *variación aleatoria*.
4.  $y' = ax + b$
5.  $y = y' \times \bar{t}$
6.  $y \pm 2\sigma \times y$

7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17.1	17.2	17.3	17.4
d)	c)	b)	a)	e)	c)	a)	$\frac{220}{180}$	c)	b)	a)	d)	d)	b)



# 3

## Planificación de producción: Introducción

### Después de leer este capítulo usted deberá:

- Describir cómo se determina el programa de ventas presupuestado.
- La diferencia entre la planificación a largo, medio y corto plazo.
- Describir en qué consiste el plan maestro de producción.
- Dibujar el diagrama de planificación de la producción.
- Diferenciar el plan de producción uniforme del plan ajustado a las necesidades.
- Determinación del plan más económico mediante el método de Bowman.
- Dibujar una carta de explosión.
- Utilizar matrices para representar la estructura de los productos.
- Utilizar matrices para representar el resto de la información requerida.
- Conocer el método Gozinto.
- Calcular las necesidades de productos y componentes a fabricar o pedir al exterior.
- Calcular las cargas de trabajo por tipos de máquinas.

### 3.1. PLANIFICACIÓN A MEDIO PLAZO DE LA PRODUCCIÓN (PLANIFICACIÓN AGREGADA)

La planificación a corto plazo es una consecuencia de la planificación a medio plazo y ésta de la de a largo, la cual persigue cumplir los objetivos a largo plazo marcados por la dirección de la empresa.

**Planificación a largo plazo** (varios años): en función de los objetivos a largo plazo se plantea nuevos sectores en los que se desea estar presente, la dimensión que la empresa debe tener, instalaciones, *líneas de productos*, volúmenes de producción etc., se proyectan nuevas construcciones para incrementar la capacidad de la planta y modernización de las instalaciones. Asimismo, las actividades de logística: planificación de la cadena de suministros, ubicación de los almacenes y sistema de transporte.

**Ejemplo de líneas de productos de una empresa del sector auxiliar del automóvil: faros, climatización, filtros.**

**Planificación a medio plazo** (entre seis y dieciocho meses): se desarrolla la planificación a largo plazo, definiendo dentro de cada línea de productos sus distintas «familias», se planifican las ventas, planes de producción, se realizan presupuestos, se seleccionan y se establecen contratos con proveedores, se contrata mano de obra.

A esta planificación a medio plazo, nexo de unión entre la planificación a largo y a corto plazo, se la conoce también como *planificación agregada* proviniendo este nombre de que se agrupan (agregan) productos que utilizan recursos (instalaciones, máquinas, mano de obra) similares formando una *familia de productos*.

### 3.1.1. Plan de ventas presupuestado

El objetivo es establecer un **plan de ventas** que optimice los beneficios sin incurrir en insolvencia. Por lo que habrán de realizarse, antes de dar el plan por válido, tanto los presupuestos operativos (ventas, existencias, producción, distribución, administrativos y generales) como los financieros (caja, créditos a clientes, existencias, inversiones) comprobando globalmente que el plan es factible en cuanto a capacidad de los medios productivos con posible apoyo externo y asumible financieramente.

Se parte inicialmente de un programa de ventas establecido en períodos trimestrales o mensuales obtenido mediante técnicas de predicción de la demanda, como la que se vio en el capítulo 2: **análisis de series temporales**, o de previsión de necesidades facilitadas por los clientes (caso de la industria auxiliar del automóvil) a nivel *de familia de productos*, ya que siempre es más precisa la predicción cuando se hace sobre familias de productos que de productos concretos de la familia.

**Ejemplos de familias de productos de una empresa que fabrica faros: la agrupación de los faros de distintas marcas de automóvil, la agrupación de faros de las distintas marcas de motos, la agrupación de los faros antiniebla.**

Los presupuestos operativos desembocan en la obtención de la cuenta de explotación, donde puede verse el beneficio que podría obtenerse con este programa. Si este beneficio se considera insuficiente, dirección comercial deberá plantear un plan de ventas más ambicioso pero factible, con el cual se pueda llegar a conseguir el beneficio y rentabilidad esperados en coherencia con los planes a largo plazo de la empresa y la coyuntura económica.

A continuación se desarrollan los presupuestos financieros, que desembocan en el balance, siendo, de estos presupuestos, el de caja el definitivo con el cual se verán las necesidades de financiación y si éstas pueden ser asumidas por la dirección financiera sin incurrir en falta de liquidez, en cuyo caso el **plan de ventas** es fijado como un objetivo a cumplir, ya que con él se obtendrán el beneficio y la rentabilidad deseados.

Como puede verse es una labor de equipo en la que participan los diferentes directores y donde el objetivo a cumplir se asume por todos ellos como algo que requerirá esfuerzo pero que es factible.

En la figura 3.1 puede verse el diagrama de obtención del plan de ventas presupuestado.

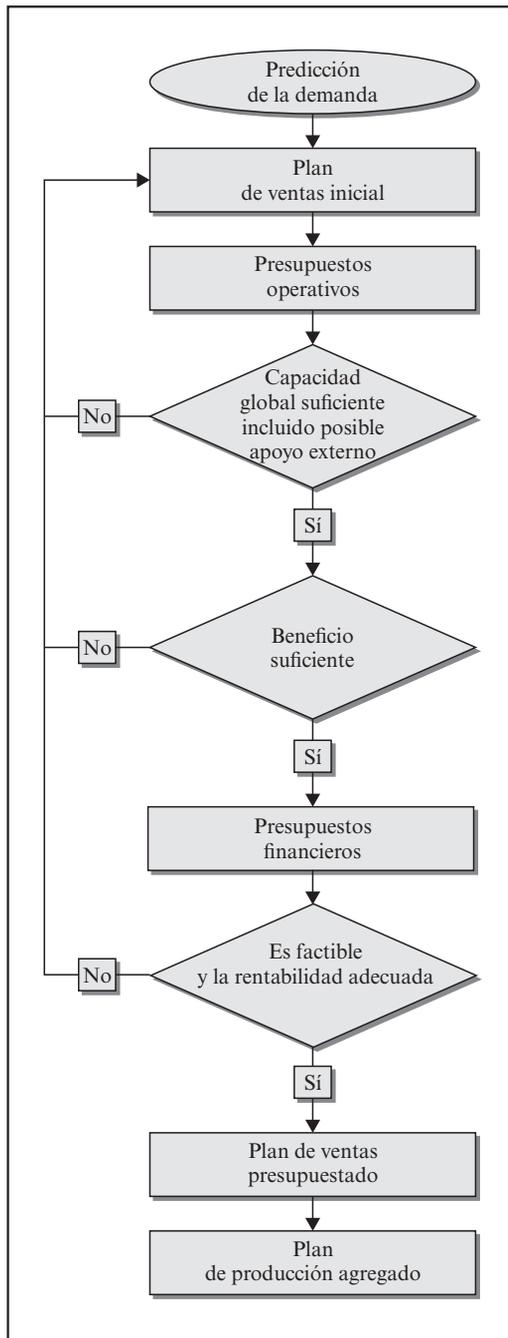


Figura 3.1. Diagrama de obtención del plan de ventas presupuestado.

### 3.1.2. Plan de producción agregado

Las cargas de trabajo de, por ejemplo, los próximos 12 meses originadas por el plan de ventas por períodos mensuales se calcula en número total de productos de la familia, o bien en horas y en este caso sirviendo como base los tiempos medios por unidad de producto de cada familia (sin embargo, cuando se calculen las necesidades de recursos a corto plazo donde ya está determinada la cantidad de cada producto de la familia, sí que se tendrán en cuenta los tiempos específicos de cada uno de ellos).

Las cargas de trabajo por períodos, originadas por el plan de ventas, no coinciden generalmente con una utilización uniforme de las capacidades normales de la empresa, sobre todo en las que fabrican productos estacionales, por lo que habría períodos en que los medios productivos quedarían infrautilizados mientras que en otros se requeriría una capacidad extraordinariamente mayor e imposible de conseguir.

Se debería intentar disminuir estas diferencias temporales entre carga y capacidad para conseguir que fuese factible y a la vez **minimizar los costes**.

Hay empresas, sobre todo las de *servicios*, en que es posible disminuir estas diferencias a través de actuaciones para *modificar la demanda prevista*, como es el caso del sector turístico ofreciendo precios más baratos determinados meses del año.

En las empresas *manufactureras* es posible disminuir estas diferencias viendo la posibilidad de fabricar productos complementarios, es decir, de venta estacional contraria.

Si ello no fuera posible, para *modificar la capacidad normal* se habría de aumentar la capacidad en los *períodos punta*, para lo que se utilizan diversas estrategias: establecimiento de dobles o triples turnos en los requerimientos críticos, contratación temporal de personal, subcontratación de trabajos a empresas externas, horas extraordinarias (en algunas empresas se pacta que las horas extraordinarias, en lugar de ser abonadas en metálico, serán para disponer de mayor número de días de vacaciones en los períodos valle).

En los *períodos valle* se trata de disminuir la capacidad para evitar infrautilización, tratando al máximo posible de que las vacaciones anuales se disfruten en estos períodos, y/o bien generando stock para los meses punta.

Con todo ello ya puede verse que no habría una exacta coincidencia en el tiempo entre el *plan de ventas* y el *plan de producción agregado*.

El plan de producción expuesto es el que se denomina «ajustado a las necesidades». Veamos un ejemplo en comparación con el que se denomina plan de producción «*uniforme*», único posible en *fabricaciones continuas* como la fabricación de vidrio plano, en la que no se puede modificar el ritmo de producción y donde se trabaja con continuidad a tres turnos todos los días del año y durante varios años seguidos, hasta el final de campaña en que se para y enfría el horno para proceder a la reparación de los refractarios deteriorados.

## 3.2. TIPOS DE PLANES DE PRODUCCIÓN A MEDIO PLAZO

En la búsqueda de un plan de producción se encuentran dos tipos de planes contrapuestos en función de uno u otro de los dos objetivos siguientes:

- a) Estabilización de la producción (producción uniforme).
- b) Minimización del nivel de las existencias tratando de ajustarse a las necesidades.

Ambos objetivos son importantes, pero se hallan en oposición entre sí.

Estabilizar el volumen de producción es importante porque permite alcanzar una alta eficiencia en el aprovechamiento de los recursos. Es posible planificar cuidadosamente la producción para todo el año, conocer a tiempo las necesidades de mano de obra y de material y aplicar métodos económicos de trabajo.

Por otra parte, minimizar el nivel de las existencias es también importante. Las existencias, incluyendo las materias primas, los productos en curso de fabricación y los productos terminados, representan una gran parte del activo de la empresa y un coste de posesión de stocks que debería ser el menor posible.

Las existencias de almacén significan un coste por muchos aspectos:

1. Capital invertido.
2. Espacio de almacén ocupado.
3. Gastos de personal, seguros y elementos similares.
4. Riesgo de obsolescencia de los productos y de disminución de su valor.

Puesto que estos costes crecen con el nivel de las existencias, se impone el estudio de una disminución de este nivel, compatibilizándolo con las exigencias operativas.

La posibilidad de una reducción de este nivel ha de ser comparada, sin embargo, con las siguientes consecuencias negativas de tal acción:

1. Aumento del riesgo de no satisfacer la demanda de la clientela (rotura de stocks).
2. Aumento del coste de una producción no estabilizada.

### 3.3. EJEMPLO DE PLANIFICACIÓN AGREGADA DE LA PRODUCCIÓN

Supongamos que el plan de ventas de faros de automóvil por meses para el próximo año y los stocks de seguridad deseados son los indicados en la tabla 3.1.

Hipótesis: stock inicial es cero.

TABLA 3.1

*Plan de ventas*

Mes	Plan de ventas cantidades	Días laborables	Unidades por día	Stock de seguridad
Enero	4.000	20	200	1.200
Febrero	5.000	20	250	1.800
Marzo	7.000	20	350	3.000

TABLA 3.1 (continuación)

Mes	Plan de ventas cantidades	Días laborables	Unidades por día	Stock de seguridad
Abril	8.000	21	381	3.500
Mayo	9.000	21	429	3.500
Junio	13.000	20	650	2.500
Julio	14.000	14	1.000	3.000
Agosto	15.000	10	1.500	4.000
Septiembre	17.000	20	850	4.000
Octubre	18.000	21	857	3.000
Noviembre	13.000	20	650	2.500
Diciembre	12.000	18	667	2.000
Total	135.000	225	600	2.830 (promedio)

Se dispone de la siguiente información:

La capacidad de producción normal de fabricación es de 600 unidades/día, en cuyo caso el coste directo de fabricación (mano de obra, materiales y gastos industriales) es de 100 u.m./unidad.

Mediante la realización de horas extraordinarias podrían llegar a realizarse 100 unidades más por día, con lo que el coste del producto se encarece un 2%.

Podrían llegar a subcontratarse al exterior hasta 300 unidades más por día y entonces el coste del producto se encarece un 4%.

El coste de los cambios para modificar el ritmo de producción es de 600 u.m.

La tasa de posesión de stocks es de un 12%.

Existen dos tipos extremos de planes de producción:

1. **Producción uniforme** (fabricar 600 unidades/día).
2. **Producción ajustada lo más posible a las necesidades reales.**

Véase a continuación el desarrollo de cada uno de estos dos tipos de programas.

### 3.3.1. Producción uniforme (programa n.º 1)

Para una producción uniforme de 600 unidades por día, la producción mensual y el stock a fin de cada mes puede calcularse según la tabla 3.2:

TABLA 3.2  
*Plan de producción uniforme*

Mes	Plan de ventas Cantidades	Stock de seguridad	Cantidades acumuladas	Días laborables	Plan de producción agregada Producción mes	Producción acumulada	Stock fin de mes
Enero	4.000	1.200	4.000	20	12.000	12.000	8.000
Febrero	5.000	1.800	9.000	20	12.000	24.000	15.000
Marzo	7.000	3.000	16.000	20	12.000	36.000	20.000
Abril	8.000	3.500	24.000	21	12.600	48.600	24.600
Mayo	9.000	3.500	33.000	21	12.600	61.200	28.200
Junio	13.000	2.500	46.000	20	12.000	73.200	27.200
Julio	14.000	3.000	60.000	14	8.400	81.600	21.600
Agosto	15.000	4.000	75.000	10	6.000	87.600	12.600
Septiembre	17.000	4.000	92.000	20	12.000	99.600	7.600
Octubre	18.000	3.000	110.000	21	12.600	112.200	2.200
Noviembre	13.000	2.500	123.000	20	12.000	124.200	1.200
Diciembre	12.000	2.000	135.000	18	10.800	135.000	0
		2.830 (promedio)					168.200

Como puede verse, el stock de seguridad de los meses de octubre, noviembre y diciembre no está del todo cubierto; también se ha considerado que se empezaba sin ningún stock inicial, pero en la hipótesis de que se hubiese comenzado con un stock de unas 2.000 unidades los stocks de seguridad de los tres últimos meses quedarían cubiertos.

De ser considerada esta hipótesis, el stock promedio del año sería:

$$170.200/12 = 14.183 \text{ unidades}$$

Las ventajas de un plan de fabricación uniforme ya han sido enumeradas, como desventaja principal tiene que los volúmenes de stock son considerables.

### 3.3.2. Producción ajustada a las necesidades (programa n.º 2)

Veamos cómo elaborar este plan de producción de la forma más económica posible teniendo en cuenta las posibilidades de realizar horas extraordinarias y de subcontratación,

así como los otros tipos de sobrecostos que se producen al hacer cambios en las cadenas de montaje.

Hacemos un **primer intento** ajustándonos al máximo a las necesidades (necesidades + stock de seguridad).

Consideramos que las unidades por día serán múltiplos de 100.

TABLA 3.3  
*Plan de producción ajustado (1.º intento)*

Mes	Plan de ventas Cantidades	Stock de seguridad	Cantidades acumuladas	Días laborables	Unidades por día	Plan de producción agregada Producción mes	Producción acumulada	Stock fin de mes
Enero	4.000	1.200	4.000	20	300	6.000	6.000	2.000
Febrero	5.000	1.800	9.000	20	300	6.000	12.000	3.000
Marzo	7.000	3.000	16.000	20	400	8.000	20.000	4.000
Abril	8.000	3.500	24.000	21	400	8.400	28.400	4.400
Mayo	9.000	3.500	33.000	21	500	10.500	38.900	5.900
Junio	13.000	2.500	46.000	20	500	10.000	48.900	2.900
Julio	14.000	3.000	60.000	14	1.000	14.000	62.900	2.900
Agosto	15.000	4.000	75.000	10	1.000	10.000	72.900	2.100
Septiembre	17.000	4.000	92.000	20				
Octubre	18.000	3.000	110.000	21				
Noviembre	13.000	2.500	123.000	20				
Diciembre	12.000	2.000	135.000	18				
		2.830 (promedio)						

Podemos observar que al ir tan ajustados llega el mes de julio, y al ser limitada la capacidad (incluida la ayuda externa) a 1.000 unidades diarias, ya no se cubre el stock de seguridad y mucho menos en agosto.

Luego habrá que tantear otro plan ajustado, pero generando previamente más stock para que cuando lleguen los meses punta, utilizando al máximo la capacidad (incluyendo ayuda externa), podamos cubrir las necesidades.

Hacemos un **segundo intento** (tabla 3.4).

Se ve que este plan puede considerarse factible, aunque no se cubre del todo el stock de seguridad del mes de diciembre.

TABLA 3.4  
Plan de producción ajustado (definitiva)

Mes	Plan de ventas Cantidades	Stock de seguridad	Cantidades acumuladas	Días laborables	Unidades por día	Plan de producción agregada Producción mes	Producción acumulada	Stock fin de mes
Enero	4.000	1.200	4.000	20	300	6.000	6.000	2.000
Febrero	5.000	1.800	9.000	20	300	6.000	12.000	3.000
Marzo	7.000	3.000	16.000	20	500	10.000	22.000	6.000
Abril	8.000	3.500	24.000	21	500	10.500	32.500	8.500
Mayo	9.000	3.500	33.000	21	500	10.500	43.000	10.000
Junio	13.000	2.500	46.000	20	600	12.000	55.000	9.000
Julio	14.000	3.000	60.000	14	1.000	14.000	69.000	9.000
Agosto	15.000	4.000	75.000	10	1.000	10.000	79.000	4.000
Septiembre	17.000	4.000	92.000	20	900	18.000	97.000	5.000
Octubre	18.000	3.000	110.000	21	800	16.800	113.800	3.800
Noviembre	13.000	2.500	123.000	20	600	12.000	125.800	2.800
Diciembre	12.000	2.000	135.000	18	600	10.800	136.600	1.600
		34.000						64.700

El stock medio será:  $64.700/12 = 5.392$  unidades.

La ventaja principal del plan ajustado a las necesidades consiste en que el nivel de stock disminuye considerablemente. Tiene en contra las pérdidas de tiempo por cambios en los puestos de trabajo para variar la capacidad de producción, los excesos de coste por horas extras y por la realización de trabajos en el exterior.

Para ver cuál de las dos soluciones es económicamente más ventajosa hay que calcular los costes marginales anuales de posesión de stocks y de incrementos de coste por variación en la capacidad mensual de producción, para la producción anual prevista de 135.000 piezas.

Como la tasa de almacenaje es del 12%, el coste de posesión por unidad año será de 12 u.m. ( $0,12 \times 100$ ). Las producciones superiores a 600 unidades/día, como se dijo al principio, tienen un exceso de coste de 2 u.m., por unidad hasta 700 unidades (las realizadas en horas extras) y de 700 a 1.000 (las subcontratadas al exterior) el exceso de coste es 4 u.m., por unidad.

Coste marginal anual plan n.º 1	
Coste posesión stocks = $14.183 \times 12 =$	170.196 u.m.
Coste marginal anual plan n.º 2	
Coste posesión stock = $5.392 \times 12 =$	64.704 u.m.
Coste fluctuaciones de fabricación	
Marzo (Fluct. 300 a 500 unid./día) = 600	
Junio (Fluct. 500 a 600") = 600	1.200 u.m.
Exceso coste por pasar de las 600 unidades/día	
Julio: $(100 \times 2 + 300 \times 4) \times 14 = 19.600$	
Agosto: $(100 \times 2 + 300 \times 4) \times 10 = 14.000$	
Septiembre: $(100 \times 2 + 200 \times 4) \times 20 = 20.000$	
Octubre: $(100 \times 2 + 100 \times 4) \times 21 = 12.600$	66.200 u.m.
Total sobrecostes plan n.º 2:	132.104 u.m.
Ventaja marginal anual plan n.º 2:	38.092 u.m.

Se podrían estudiar soluciones intermedias entre los planes 1 y 2. La valoración económica de los diversos planes permitiría elegir el más conveniente, que, en principio, sería el más económico. Este plan sería la planificación a medio plazo (planificación agregada).

### 3.4. DETERMINACIÓN DEL PLAN MÁS ECONÓMICO MEDIANTE EL MÉTODO DE BOWMAN

El método de Bowman es un procedimiento para obtener un *plan de producción ajustado a las necesidades suavizando la producción*, basado en que los recursos son limitados (capacidad finita) intentando equilibrar los costes de stocks y de horas extras de los centros de trabajo obteniendo el plan más económico (que la suma de costes de posesión de stocks, costes de horas extras y costes de subactividad sea la mínima posible).

Se parte del conocimiento de la carga de trabajo que supondría cada mes para el recurso crítico si hubiera de fabricarse el mismo mes en que se espera tener que expedir para la venta.

Antes veamos qué se entiende por capacidad finita.

#### Capacidad finita

Como su nombre indica, implica que el centro de trabajo cuenta con una capacidad conocida y finita. Si el centro de trabajo tiene una carga que excede su capacidad normal (se cuenta sólo con el horario laboral normal, es decir, sin horas extras) en un período dado, el trabajo o bien se desplaza a períodos anteriores si es posible (tiempo ocioso en horario laboral normal), que originará sobrecostes de posesión de stocks, o bien existe la posibilidad de realización de horas extras en el propio período (sobrecostes por horas extras), o en períodos anteriores (sobrecostes por horas extras y además de posesión de stocks), buscando aquella solución más económica.

Caso de que todo lo anterior no fuera posible, se desplazaría a un período posterior, con el inconveniente de que las fechas de vencimiento respecto del cliente pueden verse afectadas de manera negativa, pero sería la solución en operaciones donde añadir una capacidad a corto plazo resultara muy caro o imposible (esto que aquí se indica no corresponde realmente al método Bowman).

Determinamos la carga de trabajo por departamentos o grupo funcional homogéneo (GFH) en cada período.

Para hacerlo sobre un ejemplo, consideremos que las cargas de trabajo calculadas para cumplir el plan de ventas cada uno de los meses y las horas normales del GFH «A» que es un recurso crítico, son las indicadas en la siguiente tabla:

TABLA 3.5  
*Carga de trabajo por meses*

Mes	Días laborables	Horas normales/ Máquina/turno	Horas de carga GFH «A»
Enero	20	160	4.200
Febrero	20	160	4.000
Marzo	21	168	4.600
Abril	20	160	4.800
Mayo	21	168	4.500
Junio	20	160	4.000
Julio	18	144	4.000
Agosto	—	—	3.600
Septiembre	20	160	4.200
Octubre	22	176	4.500
Noviembre	18	144	4.800
Diciembre	20	160	5.000
Total	220	1.760	52.200

Vemos que el GFH «A» precisa de 52.200 horas-máquina para la producción total del año; como las horas normales por máquina y turno son 1.760, dividiendo encontraremos el número de máquinas necesarias para un solo turno:  $52.200/1.760 = 29,66$  máquinas trabajando un turno.

Se dispone de 12 máquinas, por lo que se habrá de trabajar a tres turnos.

Decidimos utilizar 12 máquinas en dos turnos (equivaldría a 24) y 6 de ellas en un tercer turno (en total 30).

Las otras 6 máquinas restantes del tercer turno caso de ser necesario podrían ser utilizadas en caso extremo realizando 4 horas extras por día por personal del 1.º y 2.º turnos (la otra posibilidad sería contratando personal eventual):

- El coste de la mano de obra directa es de 20 u.m., por hora; y el de la hora extra de 25 u.m. Por tanto, el sobrecoste o incremento de coste de una hora extra respecto de la normal es de 5 u.m.

- Es posible producir más de lo que se necesita durante un mes particular para ser vendido en algún mes siguiente, pero implica un coste de permanencia en stock de 0,5 u.m., por mes, en la producción de cada hora que se lleva al próximo mes; por ejemplo:

Si en enero trabajamos 100 horas produciendo artículos para marzo, el costo de llevar el stock será:

$$(0,5) \times (100) \times (2) = 100 \text{ u.m.}$$

- Deseamos regular la producción de todo el año de tal manera que se *minimicen la suma de los costes de posesión de stock y de horas extras*.

Las restricciones son:

- Número de máquinas disponibles.
- Horas normales disponibles por meses.
- Horas extras máximas posibles de realizar por meses.

Para ello se crea la **hoja del plan de producción** mediante una tabla de  $12 \times 12$  casillas (tabla 3.6):

- En la primera columna se enumeran los meses, en los cuales se requieren los tiempos de producción que aparecen en la segunda columna.
- En la primera fila (cuadros superiores) se enumeran los meses en que se efectuará la producción; en cada uno de estos cuadros aparecen dos columnas:
  - **(R)**: número de horas disponibles en horario laboral normal; por ejemplo para enero: son 30 máquinas trabajando 160 horas normales:

$$160 \times 30 = 4.800 \text{ horas}$$

- **(O)**: número de horas extras disponibles; tenemos 6 máquinas de tercer turno disponibles para horas extras, para enero:

$$160 \times 6 = 960 \text{ horas extras}$$

- Dentro de cada mes enumerado a la izquierda (con los tiempos de producción requeridos) aparecen tres filas:
  - **(D)**: número de horas-máquina disponibles para ese mes, tanto en tiempo normal como extra (a medida que se asignan estas horas disponibles a una producción particular de un mes, se reduce la cantidad disponible para cualquier mes siguiente).
  - **(C)**: coste incremental de una hora-máquina adicional. En el ejemplo, todas las horas extras experimentan un coste adicional de 5 u.m. Cuando se produce un

TABLA 3.6  
Plan de producción más económico mediante el método de Bowman

Mes	Tiempo requerido	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
		R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O
		4.800	960	4.800	960	5.040	1.008	4.800	960	5.040	1.008	4.800	960	4.320	864			4.800	1.008	5.280	1.056	4.320	432	4.320	864
		D	4.800	960																					
1	4.200	C	0	5																					
		P	4.200																						
		D	600	960	4.800	960																			
2	4.000	C	0,5	5,5	0	5																			
		P		4.000																					
		D	600	960	800	960	5.040	1.008																	
3	4.600	C	1	6	0,5	5,5	0	5																	
		P				4.600																			
		D	600	960	800	960	440	1.008	4.800	960															
4	4.800	C	1,5	6,5	1	6	0,5	5,5	0	5															
		P						4.800																	
		D	600	960	800	960	440	1.008	0	960	5.040	1.008													
5	4.500	C	2	7	1,5	6,5	1	6		5,5	0	5													
		P								4.500															
		D	600	960	800	960	440	1.008	0	960	540	1.008	4.800	960											
6	4.000	C	2,5	7,5	2	7	1,5	6,5		6	0,5	5,5	0	5											
		P										4.000													
		D	600	960	800	960	440	1.008	0	960	540	1.008	800	960	4.320	864									
7	4.000	C	3	8	2,5	7,5	2	7		6,5	1	6	0,5	5,5	0	5									

TABLA 3.6 (continuación)

Mes	Tiempo requerido	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
		R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O
		4.800	960	4.800	960	5.040	1.008	4.800	960	5.040	1.008	4.800	960	4.320	864			4.800	1.008	5.280	1.056	4.320	432	4.320	864
	P												4.000												
	D	600	960	800	960	440	1.008	0	960	540	1.008	800	960	320	864										
8	3.600	C	3,5	8,5	3	8	2,5	7,5	7	1,5	6,5	1	6	0,5	5,5										
		P	600		800		440			540		800		320	100										
		D	0	960	0	960	0	1.008	0	960	0	1.008	0	960	0	764		4.800	960						
9	4.200	C		9		8,5			7,5		7		6,5		6			0	5						
		P															4.200								
		D	0	960	0	960	0	1.008	0	960	0	1.008	0	960	0	764		600	960	5.280	1.056				
10	4.500	C		9,5		9		8,5	8		7,5		7		6,5			0,5	5,5	0	5				
		P																		4.500					
		D	0	960	0	960	0	1.008	0	960	0	1.008	0	960	0	764		600	960	780	1.056	4.320	432		
11	4.800	C		10		9,5			8,5		8		7,5		7			1	6	0,5	5,5	0	5		
		P																		480		4.320			
		D	0	960	0	960	0	1.008	0	960	0	1.008	0	960	0	764		600	960	300	1.056	0	432	4.320	864
12	5.000	C		10,5		10			9		8,5		8		7,5			1,5	6,5	1	6	0,5	5,5	0	5
		P																380		300				4.320	
	Produc-	RT	4.800		4.800		5.040		4.800		5.040		4.800		4.320			4.580		5.280		4.320		4.320	
	ción total	OT		0		0		0		0		0		0		100		0		0		0		0	0
	planeada																								

mes para el siguiente se incurre en un coste de 0,5 u.m., por mes, por cada hora-máquina utilizada.

- **(P):** producción planeada para cada mes, tanto normal como extra.
- Las dos últimas filas resumen la producción planeada, tanto en tiempo normal (*RT*) como tiempo extra (*OT*), para cada mes.
- Vamos llenando la tabla de forma que satisfacemos los requerimientos de cada mes, utilizando el tiempo-máquina disponible menos costoso; así nos aseguramos nuestro objetivo de llegar al plan de producción más económico.
- Si observamos la tabla, vemos que podemos satisfacer los requerimientos del año realizando 100 horas extras en el mes de julio; sin embargo en el mes de septiembre quedarían  $4.800 - 4.580 = 220$  horas sin utilizar que equivaldrían a un coste de  $220 \times 20 \text{ u.m.} = 4.440 \text{ u.m.}$
- A continuación determinamos los sobrecostes de este plan:

**TABLA 3.7**  
*Sobrecostes del plan de producción*

Enero	$600 \times 3,5$	2.100
Febrero	$800 \times 3$	2.400
Marzo	$440 \times 2,5$	1.100
Mayo	$540 \times 1,5$	810
Junio	$800 \times 1$	800
Julio	$(320 \times 0,5) + (100 \times 5,5)$	710
Septiembre	$380 \times 1,5$	570
Octubre	$(480 \times 0,5) + (300 \times 1)$	540
Costes totales de posesión de stocks		9.030

— *Sin utilizar el tiempo ocioso el sobrecoste total será:*

$$9.030 + 4.440 = 13.470 \text{ u.m.}$$

— *Utilizando el tiempo ocioso de septiembre:*

$$9.030 \text{ u.m.} + (220 \times 1,5) = 9.580 \text{ u.m.}$$

- Podemos ver que utilizar las 220 horas ociosas de septiembre, que probablemente crearían inventario a final de año, es preferible a dejarlas como tiempo ocioso.

### 3.5. TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN AGREGADA

Desde hace décadas se han desarrollado métodos matemáticos que pueden ayudar para establecer la planificación agregada.

- Programación lineal: trata de minimizar el coste o maximizar el beneficio cuando hay restricciones de recursos ya sea de materias primas, mano de obra o de horas de máquinas. El ejemplo anterior podría haberse resuelto mediante la hoja de cálculo Excel Solver.
- Métodos de simulación por ordenador.

Las empresas SAP y Oracle han incorporado este tipo de técnicas en sus paquetes de programación. (Véase apéndice).

### 3.6. PLANIFICACIÓN A CORTO PLAZO DE LA PRODUCCIÓN (PLAN MAESTRO DE LA PRODUCCIÓN)

Partiendo de la planificación a medio plazo (**planificación agregada**), pero conociendo ya las ventas previstas en los inmediatos períodos de tiempo (meses, semanas) y los pedidos reales de los distintos productos que integran la «familia» (en el caso del ejemplo, los distintos tipos de faros), así como de subconjuntos que se venden como recambios, la planificación de producción a corto plazo pretende establecer un plan maestro de producción (PMP, MPS), es decir, las cantidades de los diversos productos a producir, en los diferentes intervalos de tiempo (meses, semanas), habiendo tenido en cuenta para ello las existencias disponibles no reservadas, las existencias de seguridad al final de cada período y las órdenes de producción pendientes, de tal forma que satisfagan las ventas previstas y los pedidos reales y ello de la manera más económica posible.

Como hemos mencionado anteriormente, debe ser factible: realizarse con los recursos que se tienen, más aquellos de los que se pueda disponer de una forma económica, lo que hace necesario evaluar los requerimientos de recursos críticos en cada período, compararlos con los que se tienen y eliminar desajustes utilizando de las estrategias anteriormente mencionadas aquellas que resulten más económicas.

Se persiguen dos objetivos:

1. Plan maestro global a corto plazo (entre 1 y 6 meses), que nos permita conocer el plan de producción por productos con un horizonte suficientemente amplio como

para poder tomar las medidas adecuadas de *ajuste en los recursos críticos de producción*, definir cómo gestionar los stocks, horas extras, subcontratación, empleo temporal, etc., necesarias para cumplir el plan de ventas. La frecuencia de revisión es mensual.

- Plan maestro detallado a corto plazo (entre 1 y 4 semanas) para poder realizar el cálculo sin ambigüedades de las necesidades de subconjuntos, componentes y materiales en los diferentes intervalos de tiempo.

La frecuencia de revisión es semanal.

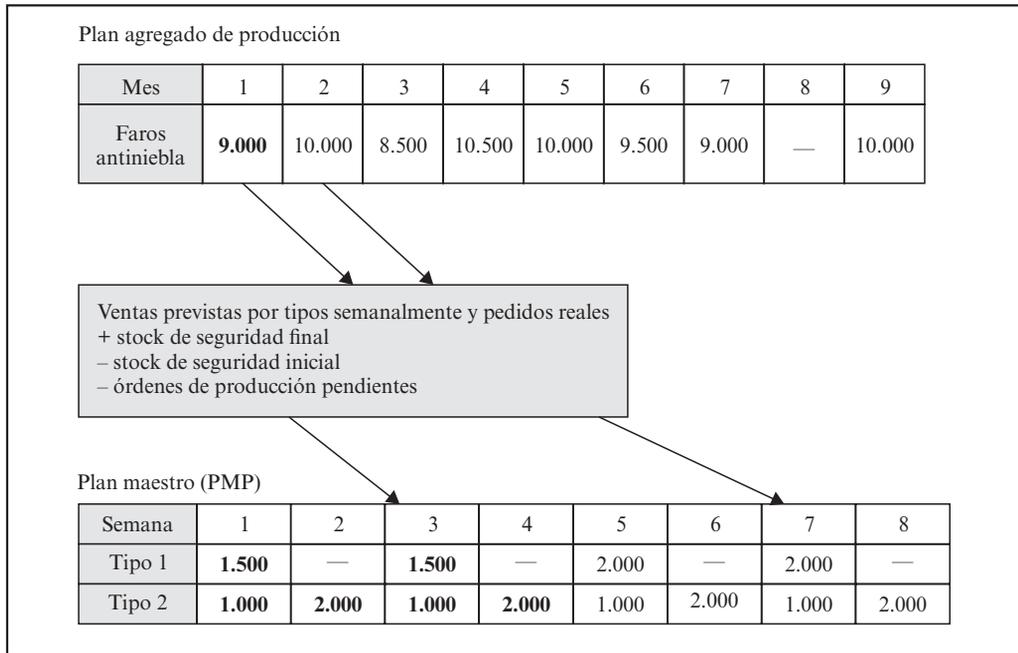


Figura 3.2. Diagrama de obtención del plan maestro.

### 3.7. INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA PLANIFICACIÓN A CORTO PLAZO DE LA PRODUCCIÓN

Se parte del PMP. Se requiere, además, disponer de información de diversas fuentes:

— *De ingeniería:*

- Listas de materiales (productos, subconjuntos, etc.).
- Procesos de montaje de productos y de fabricación de subconjuntos y componentes.

- Tiempos estándar de las operaciones del proceso y de las preparaciones de las máquinas.
- Capacidades de máquinas e instalaciones.
- Costes estándar de fabricación.

— *De control y gestión de stocks:*

- Existencias actuales disponibles.
- Existencias de seguridad establecidas.
- Tiempos de demora de producción y compras.
- Costes de posesión y rotura del stock.

— *De personal:*

- Calendario laboral.
- Número de operarios directos (por especialidades).
- Convenio sindical.
- Distribución de vacaciones, puentes, etc.
- Coste de horas extras.
- Costes de contrataciones temporales.

— *De compras:*

- Costes de subcontratar trabajos al exterior.

Además de información al momento de:

- Pedidos reales.
- La carga actual de los centros de trabajo.
- Capacidad actual de los centros.
- Perturbaciones externas (anulaciones de pedidos, urgencias, etc.).

### **3.8. DIAGRAMA DE FLUJO DE PLANIFICACIÓN A CORTO PLAZO DE LA PRODUCCIÓN**

Podemos ver a continuación, en las figuras 3.3 y 3.4, los diagramas de flujo simplificado y detallado de la planificación a corto plazo de la producción.

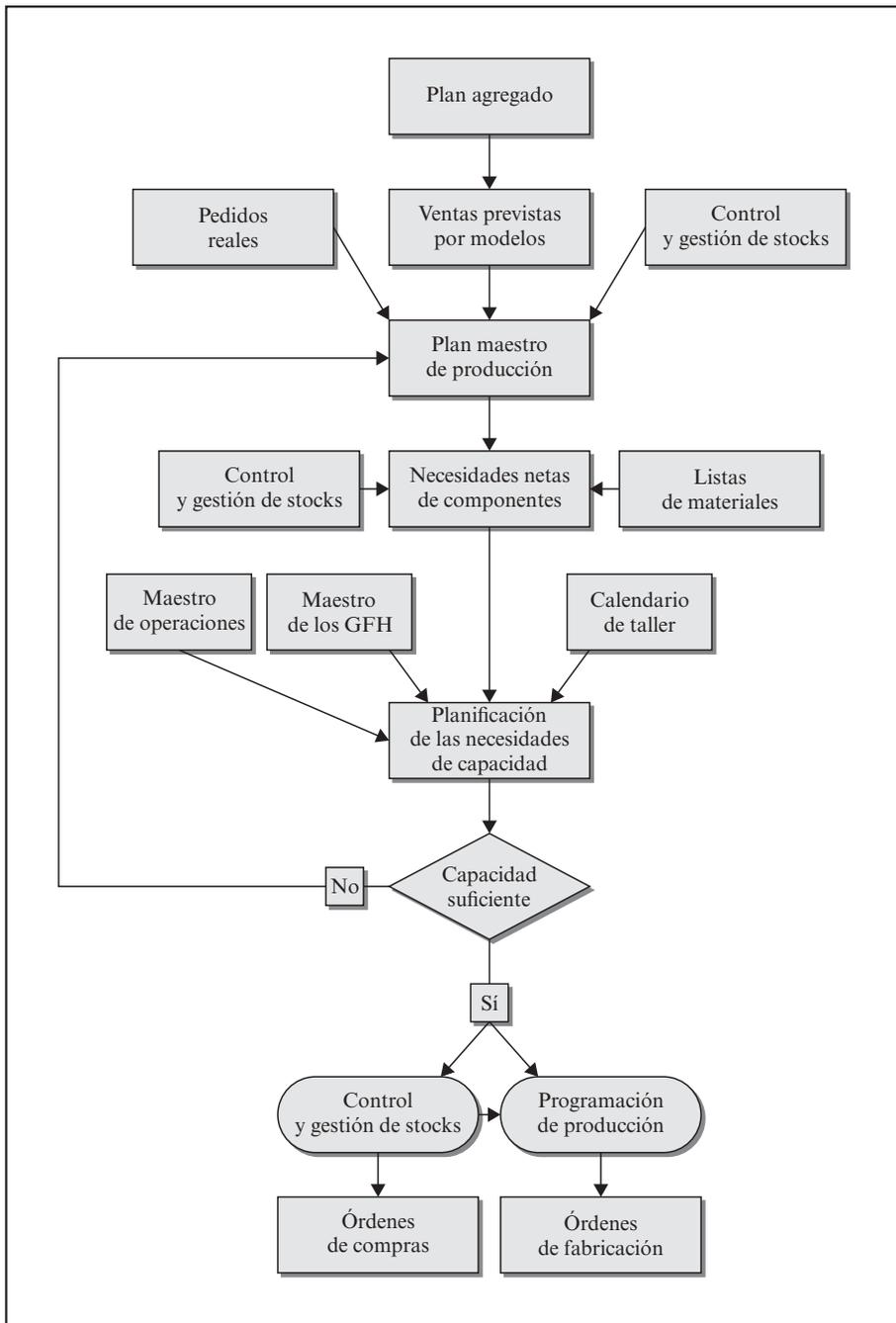
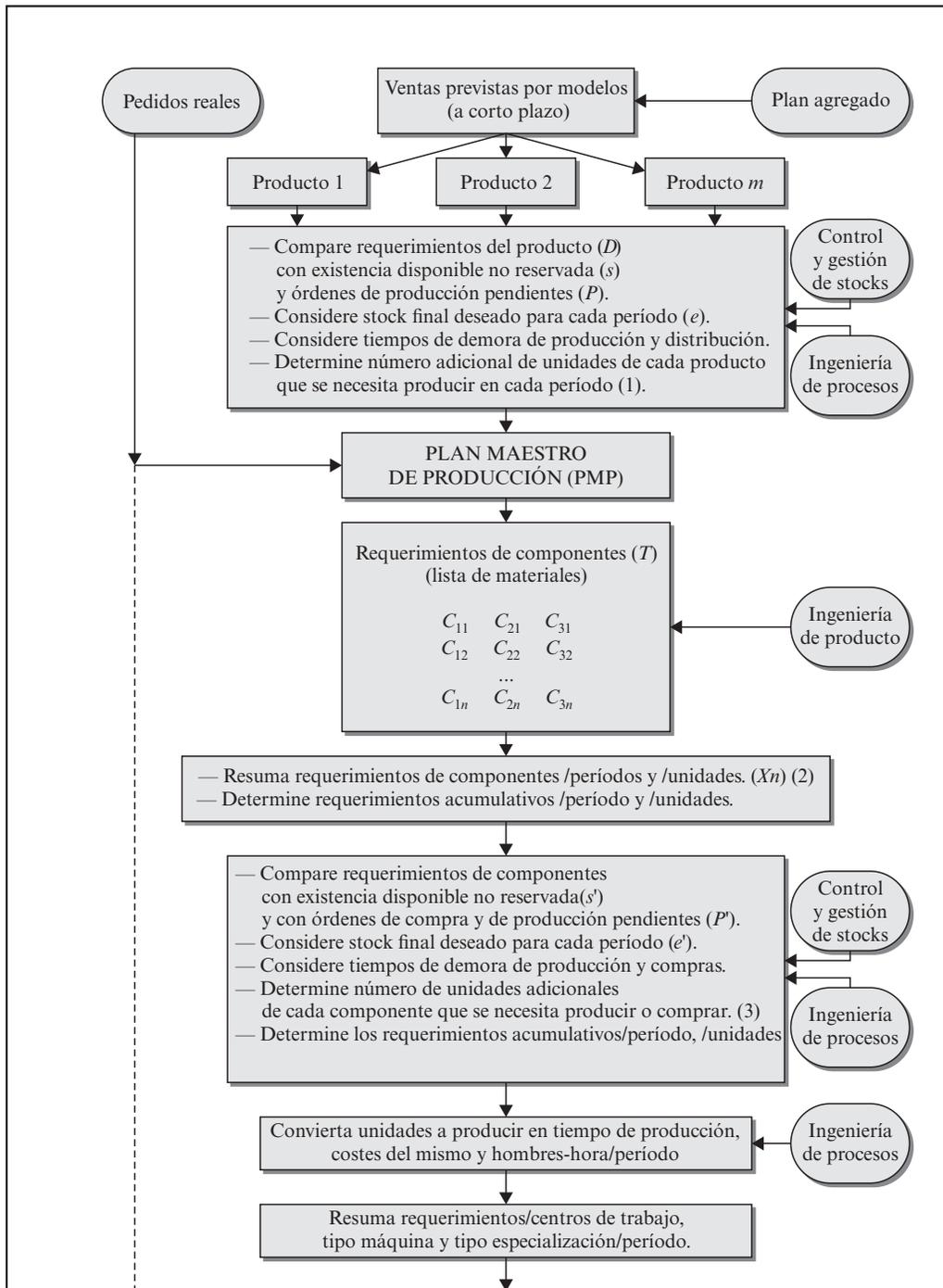


Figura 3.3. Diagrama simplificado de la planificación de la producción a corto plazo.



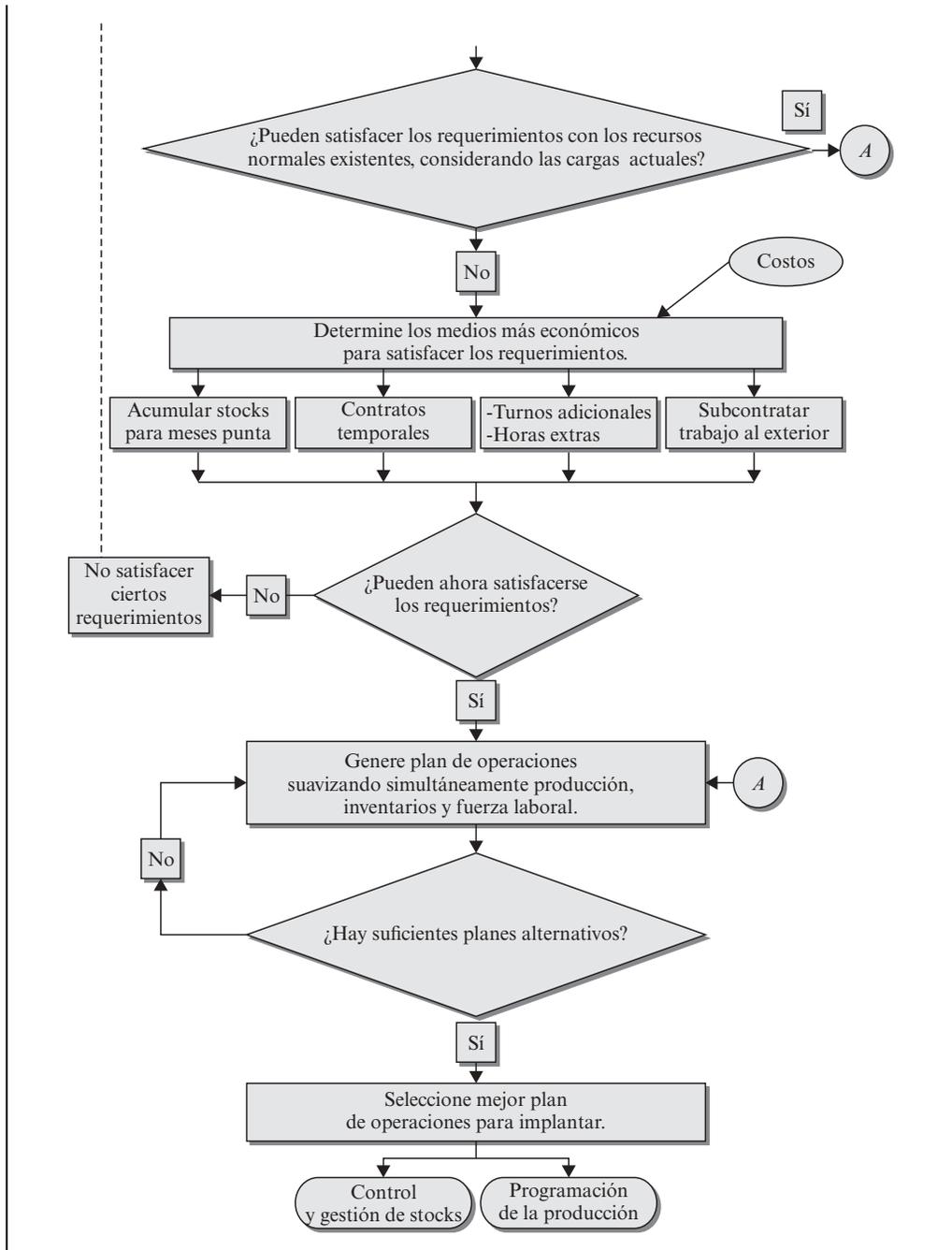


Figura 3.4. Diagrama detallado de la planificación de la producción a corto plazo.

**Aclaraciones:**

(1): El número adicional de unidades a producir de cada producto se obtendrá así:  $(D + e) - (s + P)$ .

$T$ : Representa el número de componentes que se requieren para montar una unidad de producto.

(2): El número de unidades que se requieren de cada componente se obtendrá así:

$$X_n = T \times (D + e - s - P).$$

(3): El número adicional de unidades a producir o comprar de cada componente se obtendrá así:  $X_n + e' - (s' + P')$ .

- En el diagrama puede verse la entrada de pedidos reales, los cuales a medida que se reciben «consumen» ventas previstas; la diferencia entre ventas previstas y pedidos reales para cada uno de los artículos representa la disponibilidad para cumplimentar nuevos pedidos reales.
- Hoy en día muchas empresas sólo ensamblan el producto final (de un mismo producto puede haber muchas variantes, en función del color, tipo de material de algunos componentes, etc.), cuando reciben el pedido real, partiendo de componentes ya disponibles en existencias, los cuales se combinan para obtener el producto. A esta técnica se la denomina «postponement» (véase 4.11.).

## 3.9. MÉTODO DE GOZINTO

En las aclaraciones indicadas en el apartado anterior podemos ver que son necesarios una serie de cálculos aritméticos para poder llevar a cabo la planificación de la producción.

Andrew Vaszonyi presentó en el primer número de la revista *Management Science*, atribuyéndolo al matemático italiano Zeparzat Gozinto, un procedimiento que permitía simplificar los cálculos mediante el álgebra matricial.

Se basa en expresar de forma matricial toda la información que se requiere para la planificación de la producción y así poder realizar los cálculos, en lugar de aritméticamente en forma matricial.

En este método se basó el posterior desarrollo del sistema MRP (cap. 4).

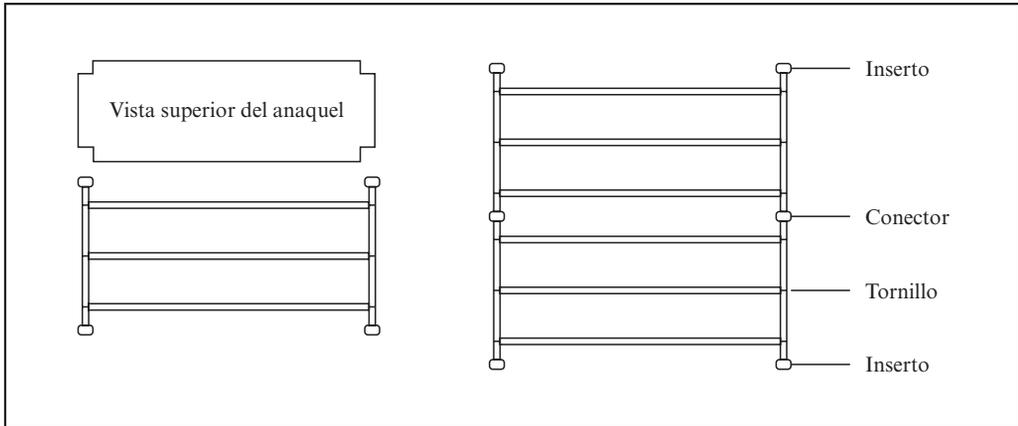
Veamos su aplicación mediante un ejemplo de planificación de la producción de dos estantes metálicos.

### 3.9.1. Descripción de los productos

Dos estanterías metálicas, la estantería pequeña de tres anaqueles y la grande de seis (formada por dos pequeñas unidas mediante unos conectores de plástico).

Las patas están formadas por prismas huecos de chapa a los que se unen los anaqueles (también de chapa) mediante tornillos.

Los extremos de las patas llevan insertados unos acoplamientos de plástico.



### 3.9.2. Información técnica de los productos requerida para la planificación de la producción: lista de materiales, gráfica de explosión, procesos de fabricación

Son de dos tipos:

1. Relativos a la estructura o definición del producto: **lista de materiales**, y **gráfica de explosión de la estructura**.
2. Relativos a la forma de fabricar: **procesos de fabricación**.

#### — Lista de materiales

Necesarios para pasar de necesidades de productos terminados a necesidades de subconjuntos, componentes y materiales.

- Cada subconjunto y componente se distingue por un código de referencia y su descripción.
- Se indica el número de unidades de cada componente que lleva cada unidad del producto o subconjunto.
- También se indica la fuente de suministro (comprada o fabricada).

LISTA DE MATERIAL			
<i>Descripción:</i> Estante metálico 3 anaqueles			
<i>Referencia:</i> E3			
Componente		Cantidad requerida	Fuente
Referencia	Descripción		
A	Anaqueles	3	Manufactura
P	Pata	4	Manufactura
I	Insertos	8	Compras
T	Tornillos	12	Compras

LISTA DE MATERIAL			
<i>Descripción:</i> Estante metálico 6 anaqueles			
<i>Referencia:</i> E6			
Componente		Cantidad requerida	Fuente
Referencia	Descripción		
A	Anaqueles	6	Manufactura
P	Pata	8	Manufactura
I	Insertos	8	Compras
T	Tornillos	24	Compras
C	Conectores	4	Compras

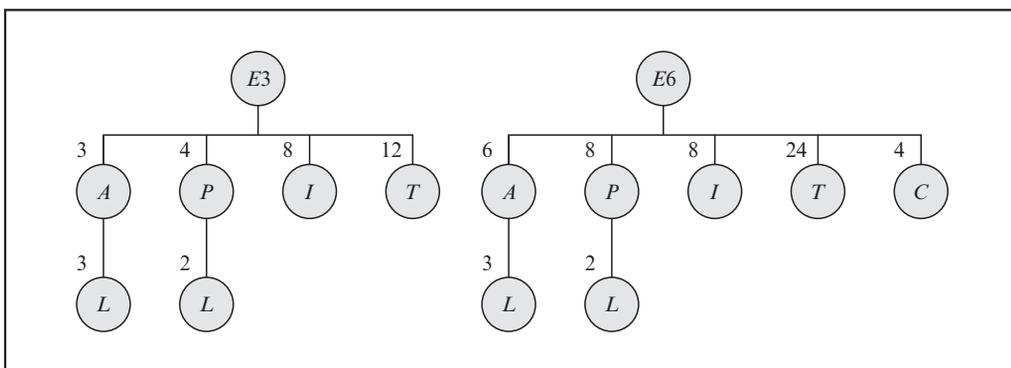
LISTA DE MATERIAL			
<i>Descripción:</i> Anaqueles			
<i>Referencia:</i> A			
Componente		Cantidad requerida	Fuente
Referencia	Descripción		
L	Lámina metal	3 pies <sup>2</sup>	Compras

LISTA DE MATERIAL			
<i>Descripción:</i> Pata			
<i>Referencia:</i> P			
Componente		Cantidad requerida	Fuente
Referencia	Descripción		
L	Lámina metal	2 pies <sup>2</sup>	Compras

— Gráfica de explosión de la estructura

Diagrama donde se indica por niveles las necesidades de subconjuntos y componentes para obtener un producto.

A partir de las listas de materiales podemos representar el árbol de cada producto terminado: gráfica de explosión de la estructura o BOM (*bill of materials*).



Otra forma de representar esta información es en forma de tabla o de forma matricial, que es la seguida en el método de Gozinto.

— **Proceso de fabricación**

Secuencia de operaciones necesarias para obtener un subconjunto o un componente, indicando en qué consiste cada operación, máquina a utilizar, utillaje, tiempo unitario y producción horaria.

PROCESO DE FABRICACIÓN							
<i>Descripción:</i> Estante metálico 3 anaqueles.							
<i>Referencia:</i> E3							
Operac. n.º	Depto.	Descripción operaciones	Materiales	Cantidad	Herramientas	Tiempo proceso (min)	Tiempo prep.(min)
1	1	Estampar pata	Lámina metal	2 pies <sup>2</sup>	A36	0,50	60
2	1	Estampar anaquel	Lámina metal	3 pies <sup>2</sup>	A40	0,67	60
3	2	Doblar pata	Pata estamp.	1	C17	1,00	120
4	2	Doblar anaquel	Anaquelel estamp.	1	C19	0,75	120
5	3	Montaje Alm. n.º 1	Pata Anaquel Tornillos Insertos	4 3 12 8		1,00	60

PROCESO DE FABRICACIÓN							
<i>Descripción:</i> Estante metálico 6 anaqueles.							
<i>Referencia:</i> E6							
Operac. n.º	Depto.	Descripción operaciones	Materiales	Cantidad	Herramientas	Tiempo proceso (min)	Tiempo prep. (min)
1	1	Estampar pata	Lámina metal	2 pies <sup>2</sup>	A36	0,50	60
2	1	Estampar anaquel	Lámina metal	3 pies <sup>2</sup>	A40	0,67	60
3	2	Doblar pata	Pata estamp.	1	C17	1,00	120
4	2	Doblar anaquel	Anaquelel estamp.	1	C19	0,75	120
5	3	Montaje Alm. n.º 2	Pata Anaquel Tornillos Insertos Conectores	8 6 24 8 4		1,50	60

### 3.9.3. Determinación matricial de la estructura de los productos

Con la información de las listas de materiales y/o de las gráficas de explosión de la estructura se construye una matriz  $|N|$ , de forma que en cada fila, asociada a un artículo  $i$ , se indica el número de unidades de  $i$  que entran directamente en la producción de una unidad de producto  $j$ , asociado a la correspondiente columna.

En esta tabla sólo se indica la pertenencia inmediata o requerimientos directos es decir, las unidades precisas de cada referencia de la fila ( $i$ ) para obtener una unidad de la referencia de la columna  $j$  (que es la que vemos en el nivel inmediato superior de la carta de explosión).

A partir de la tabla o matriz  $|N|$  se obtiene la tabla o matriz  $|T|$  o tabla de requerimientos totales unitarios en la que cada casilla  $[i, j]$  indica el número de unidades de  $i$  que entran directa o indirectamente (a través de elaboraciones intermedias) en la producción de una unidad de  $j$ . Es decir, en la matriz  $|T|$  constan los requerimientos directos y los indirectos para la producción de una unidad  $j$ .

Matemáticamente:  $|T| = (|I| - |N|)^{-1}$ ; siendo  $|I|$  la matriz unidad (identidad).

Como vemos,  $T$  es la inversa de la transformada de  $N$  (la cual es la diferencia entre la matriz unidad  $I$  y la matriz  $N$ ).

Para formar la matriz  $N$  (matriz cuadrangular) de manera que se reduzca a triangular habremos de conseguir que los valores que aparecen a la derecha de la diagonal principal sean ceros, lo que aumentaría la facilidad del cálculo; para ello las referencias que aparecen en las gráficas de explosión de la estructura deben numerarse de la siguiente forma:

- Con las gráficas de explosión de la estructura de los diversos productos a la vista, numerar cada referencia empezando por el 1 de forma correlativa iniciando por la izquierda y por el nivel cero (productos acabados) hacia la derecha hasta el final del nivel.
- Descender de nivel y seguir numerando de forma correlativa de la misma forma hasta el final del último nivel.
- Tener en cuenta que una misma referencia, sea cual sea su nivel, tendrá el mismo número y que al numerar lo haremos cuando llegemos a ella en el nivel más bajo de todos en los que se encuentra.

En este ejemplo no se da el tener una misma referencia en dos niveles distintos, pero de ser así debe tenerse en cuenta lo dicho en el párrafo anterior.

Así pues, en este caso procediendo como se ha indicado:  $E3$ : 1,  $E6$ : 2,  $A$ : 3,  $P$ : 4,  $I$ : 5,  $T$ : 6,  $C$ : 7,  $L$ : 8.

De acuerdo con esta numeración y con las gráficas de explosión de la estructura a la vista confeccionaremos la matriz  $N$  y posteriormente la  $T$  (en este caso tan simple aritméticamente podría ser calculada).

		<i>E3</i>	<i>E6</i>	<i>A</i>	<i>P</i>	<i>I</i>	<i>T</i>	<i>C</i>	<i>L</i>
<i>E3</i>		0	0	0	0	0	0	0	0
<i>E6</i>		0	0	0	0	0	0	0	0
<i>A</i>		3	6	0	0	0	0	0	0
<i>P</i>		4	8	0	0	0	0	0	0
<i>I</i>		8	8	0	0	0	0	0	0
<i>T</i>		12	24	0	0	0	0	0	0
<i>C</i>		0	4	0	0	0	0	0	0
<i>L</i>		0	0	3	2	0	0	0	0

 $N =$ 

		<i>E3</i>	<i>E6</i>	<i>A</i>	<i>P</i>	<i>I</i>	<i>T</i>	<i>C</i>	<i>L</i>
<i>E3</i>		1	0	0	0	0	0	0	0
<i>E6</i>		0	1	0	0	0	0	0	0
<i>A</i>		3	6	1	0	0	0	0	0
<i>P</i>		4	8	0	1	0	0	0	0
<i>I</i>		8	8	0	0	1	0	0	0
<i>T</i>		12	24	0	0	0	1	0	0
<i>C</i>		0	4	0	0	0	0	1	0
<i>L</i>		17	34	3	2	0	0	0	1

 $T =$ 

### 3.9.4. Determinación matricial del resto de la información

Definimos las siguientes tablas o matrices:

- $|D|$ : Matriz demanda.
- $|e|$ : Vector que indica el stock deseado de los artículos al final del trimestre.
- $|s|$ : Vector que indica el stock disponible de los artículos.
- $|P|$ : Matriz que indica la producción y las órdenes de compra pendientes y el período para el cual está programada su disponibilidad.
- $|B|$ : Matriz que indica la tasa de producción para cada centro de trabajo (tiempo/ unidad) para cada artículo que se produce.
- $|L|$ : Matriz que indica la carga actual en cada centro de trabajo.

	Ene.	Feb.	Mar.	$e =$		$s =$	$P =$	Ene.	Feb.	Mar.
$D =$	500	500	500	300		250	250	100	0	0
	400	450	500	300		100	100	0	0	0
	0	0	0	1.000		8.000	0	0	0	0
	0	0	0	1.500		1.200	400	0	0	0
	0	0	0	2.000		2.500	1.000	500	0	0
	0	0	0	10.000		20.000	10.000	10.000	0	0
	0	0	0	1.200		1.000	2.000	0	0	0
	0	0	0	3.000		42.000	8.000	4.000	0	0

Con la información de los procesos de fabricación podemos plantear la matriz de tiempos unitarios  $B$ .

$$B = \begin{array}{c} \text{Dpto. 1} \\ \text{Dpto. 2} \\ \text{Dpto. 3} \end{array} \left| \begin{array}{cccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ 0 & 0 & 0,67 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,75 & 1,0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1,0 & 1,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right| \begin{array}{c} \text{Dpto. 1} \\ \text{Dpto. 2} \\ \text{Dpto. 3} \end{array} \left| \begin{array}{cccc} \text{Ene.} & \text{Feb.} & \text{Mar.} & \text{Total} \\ 100 & 140 & 80 & 320 \\ 160 & 120 & 100 & 380 \\ 80 & 80 & 80 & 240 \end{array} \right| = L'$$

### 3.9.5. Cálculo de las necesidades netas

Para obtener las **necesidades netas**, tendremos en cuenta el stock inicial y las órdenes de fabricación y aprovisionamiento pendientes; se realizan los siguientes pasos:

#### Paso 1

- Se encuentra la matriz de disponibilidades:  $|P'|$ , sumando el vector  $|s|$  del stock inicial a la primera columna de la matriz de producción y órdenes de compra pendientes:  $|P|$ .

$$|P'| = |s + P|$$

$$P' = \begin{array}{c} \text{Ene.} \\ 500 \\ 200 \\ 8.000 \\ 1.600 \\ 3.500 \\ 30.000 \\ 3.000 \\ 50.000 \end{array} \begin{array}{c} \text{Feb.} \\ 100 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 500 \\ 10.000 \\ 0 \\ 4.000 \end{array} \begin{array}{c} \text{Mar.} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \begin{array}{c} \text{Total} \\ 600 \\ 200 \\ 8.000 \\ 1.600 \\ 4.000 \\ 40.000 \\ 3.000 \\ 54.000 \end{array} = P'_T$$

#### Paso 2

- Se obtiene una matriz:  $|Y|$  restándole a la suma de las matrices de demanda  $|D|$  y el vector stock deseado  $|e|$  la matriz de disponibilidades  $|P'|$ ,

$$|Y| = |D + e| - |P'|$$

$$Y = \begin{array}{c} \text{Ene.} \\ 500 \\ 400 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \begin{array}{c} \text{Feb.} \\ 500 \\ 450 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \begin{array}{c} \text{Mar.} \\ 500 \\ 500 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \begin{array}{c} e \\ 300 \\ 300 \\ 1.000 \\ 1.500 \\ 2.000 \\ 10.000 \\ 1.200 \\ 3.000 \end{array} - \begin{array}{c} \text{Ene.} \\ 500 \\ 200 \\ 8.000 \\ 1.600 \\ 3.500 \\ 30.000 \\ 3.000 \\ 50.000 \end{array} \begin{array}{c} \text{Feb.} \\ 100 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 500 \\ 10.000 \\ 0 \\ 4.000 \end{array} \begin{array}{c} \text{Mar.} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} = \begin{array}{c} \text{Ene.} \\ 0 \\ 200 \\ -8.000 \\ -1.600 \\ -3.500 \\ -30.000 \\ -3.000 \\ -50.000 \end{array} \begin{array}{c} \text{Feb.} \\ 400 \\ 450 \\ 0 \\ 0 \\ -500 \\ -10.000 \\ 0 \\ -4.000 \end{array} \begin{array}{c} \text{Mar.} \\ 500 \\ 500 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \begin{array}{c} e \\ 300 \\ 300 \\ 1.000 \\ 1.500 \\ 2.000 \\ 10.000 \\ 1.200 \\ 3.000 \end{array}$$

**Paso 3**

— Se obtiene la matriz  $|W|$ , multiplicando  $|T|$  por la matriz anterior  $|W| = |T| \times |Y|$

$$W = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 & 1 \\ 3 & 6 & 1 \\ 4 & 8 & 0 & 1 \\ 8 & 8 & 0 & 0 & 1 \\ 12 & 24 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 17 & 34 & 3 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \text{Ene.} & \text{Feb.} & \text{Mar.} & e \\ 0 & 400 & 500 & 300 \\ 200 & 450 & 500 & 300 \\ -8.000 & 0 & 0 & 1.000 \\ -1.600 & 0 & 0 & 1.500 \\ -3.500 & -500 & 0 & 2.000 \\ -30.000 & -10.000 & 0 & 10.000 \\ -3.000 & 0 & 0 & 1.200 \\ -50.000 & -4.000 & 0 & 3.000 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Ene.} & \text{Feb.} & \text{Mar.} & \text{Stock} \\ 0 & 400 & 500 & 300 \\ 200 & 450 & 500 & 300 \\ -6.800 & 3.900 & 4.500 & 3.700 \\ 0 & 5.200 & 6.000 & 5.100 \\ -1.900 & 6.300 & 8.000 & 6.800 \\ -25.200 & 5.600 & 18.000 & 20.800 \\ -2.200 & 1.800 & 2.000 & 2.400 \\ -70.400 & 18.100 & 25.500 & 24.300 \end{pmatrix}$$

**Paso 4**

— Los valores negativos de la matriz  $|W|$  indican exceso de stock sobre lo requerido, por lo que se distribuye el exceso entre los meses siguientes (por filas), obteniéndose:  $X_N$ , matriz de requerimientos netos (sincronizados en el tiempo y el stock a repartir en todo el período).

$$X_N = \begin{pmatrix} \text{Ene.} & \text{Feb.} & \text{Mar.} & \text{Stock} & \text{Total} \\ 0 & 400 & 500 & 300 & 1.200 \\ 200 & 450 & 500 & 300 & 1.450 \\ 0 & 0 & 1.600 & 3.700 & 5.300 \\ 0 & 5.200 & 6.000 & 5.100 & 16.300 \\ 0 & 4.400 & 8.000 & 6.800 & 19.200 \\ 0 & 0 & 0 & 19.200 & 19.200 \\ 0 & 0 & 1.600 & 2.400 & 4.000 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2.500 \end{pmatrix} = X'_N$$

Los valores de  $X'_N$  (vector totalizador) representan el número mínimo total de partes adicionales que deben fabricarse o comprarse en algún momento del período de planificación, si se desea satisfacer la demanda esperada y el stock final deseado, suponiendo ello la emisión de nuevas O.F. y de compras.

Estas necesidades netas mensuales no corresponden, en general, a lo que realmente vamos a fabricar o comprar, debido a la generación durante todo el período del stock final deseado, o por el lanzamiento en lotes de fabricación o aprovisionamiento en cantidades distintas a las necesidades del período en función de control y gestión de stocks: lotes económicos, cantidades múltiplos del contenido de un tipo de caja estándar, etc.

### 3.9.6. Matriz de calidad

Estos requerimientos netos anteriormente calculados serían los necesarios si no hubiese pérdidas durante la fabricación o montaje, pero caso de producirse, deben ser tenidas en cuenta, para lo cual habría que multiplicar la matriz  $X_N$  por la matriz de calidad.

	<i>E3</i>	<i>E6</i>	<i>A</i>	<i>P</i>	<i>I</i>	<i>T</i>	<i>C</i>	<i>L</i>
<i>E3</i>	1,02							
<i>E6</i>		1,02						
<i>A</i>			1,04					
<i>P</i>				1,04				
<i>I</i>					1,08			
<i>T</i>						1,02		
<i>C</i>							1,10	
<i>L</i>								1,06

Es decir, que de *E3* se habrán de montar un total de  $1.200 \times 1,02 = 1.224$  de los cuales 1.200 serían buenos.

### 3.9.7. Determinación de la carga de trabajo por grupos de máquinas

Para realizar la planificación de capacidad, además de conocer para cada uno de los productos acabados el tiempo total de montaje por unidad de producto, es necesario disponer para cada subconjunto y componente de su proceso de fabricación, es decir, la secuencia de operaciones necesarias para obtenerlos, de tal forma que indique para cada una de ellas el departamento o grupo de máquinas, los tiempos de proceso y de preparación.

Con estos datos podemos construir la tabla o matriz  $|B|$  que hemos definido anteriormente (matriz tasa de producción).

- La matriz de requerimientos de horas (carga de trabajo):  $|M|$  mes a mes, la podremos obtener fácilmente, multiplicando la matriz tasa de producción  $|B|$  por la matriz de requerimientos netos ( $X_N$ ). Si deseamos el tiempo necesario total, multiplicaríamos  $|B|$  por el vector de requerimientos totales netos ( $X'_N$ ).

$$|M| = |B| \times |X_N|$$

$$|M_T| = |B| \times |X'_N|$$

*Nota:* Se ha considerado que no hay pérdidas, por lo que los valores de  $X_N$  y  $X'_N$  son los calculados en el paso 4.

$$M = \begin{array}{c|cccccccc} \text{Dpto. 1} & 0 & 0 & 0,67 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{Dpto. 2} & 0 & 0 & 0,75 & 1,0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{Dpto. 3} & 1,0 & 1,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \times \begin{array}{c|cccc} \text{Ene.} & \text{Feb.} & \text{Mar.} & \text{Stock} \\ 0 & 400 & 500 & 300 \\ 200 & 450 & 500 & 300 \\ 0 & 0 & 1.600 & 3.700 \\ 0 & 5.200 & 6.000 & 5.100 \\ 0 & 4.400 & 8.000 & 6.800 \\ 0 & 0 & 0 & 19.200 \\ 0 & 0 & 1.600 & 2.400 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} =$$

$$= \begin{array}{c|cccc} \text{Ene.} & \text{Feb.} & \text{Mar.} & \text{Stock} \\ 0 & 2.600 & 4.072 & 5.029 \\ 0 & 5.200 & 7.200 & 7.875 \\ 300 & 1.075 & 1.250 & 750 \end{array} \text{ minutos} = \begin{array}{c|cccc} \text{Ene.} & \text{Feb.} & \text{Mar.} & \text{Stock} \\ 0 & 43 & 68 & 84 \\ 0 & 87 & 120 & 131 \\ 5 & 18 & 21 & 12 \end{array} \text{ horas}$$

$M_T =$	195
	338
	56

### 3.9.8. Determinación de la capacidad disponible

La **capacidad** disponible de cada centro de trabajo la obtenemos restándole a la capacidad total la capacidad comprometida, es decir, la carga actual de trabajo de cada centro representada por la matriz  $|L|$  (definida anteriormente).

Supongamos que se dispone de una sola máquina de estampar, una sola de doblar y de tres operarios, uno en cada departamento, y que se trabaja a un solo turno de 8 horas durante 20 días al mes. La capacidad total, pues, será de 160 horas/mes y turno por departamento; en los tres meses del horizonte de planificación que venimos considerando, equivale a 480 horas/departamento, a un turno. Por tanto, la capacidad disponible por departamento será:

Departamento 1 = 480 – 320 = 160 horas disponibles.

Departamento 2 = 480 – 380 = 100 horas disponibles.

Departamento 3 = 480 – 240 = 240 horas disponibles.

### 3.9.9. Requerimientos *versus* capacidad disponible

Comparando la carga de trabajo con la capacidad disponible nos resultarán faltas o sobrantes de horas.

	Carga	Capacidad disponible	
Departamento 1:	195	160	Faltan 35 horas
Departamento 2:	338	100	Faltan 238 horas
Departamento 3:	56	240	Sobran 184 horas

Podremos idear ahora algunos planes alternativos para resolver el problema.

Una posibilidad podría ser: que el operario del departamento 3, durante  $184 : 8 = 23$  días trabaje a turno de tarde en el departamento 2, y así no tendría horas de paro, a la vez que ya solo faltarían  $238 - 184 = 54$  horas por cubrir del departamento 2.

Estas 54 horas, así como las 35 horas del departamento 1, al no ser excesivas de realizar en todo un trimestre podrían ser realizadas mediante horas extras.

*Nota:* Todo lo que hemos realizado mediante cálculo matricial, se puede realizar igualmente en forma compacta mediante procedimientos iterativos o directos, después de haber determinado los niveles.

En el capítulo 4 veremos la determinación de las necesidades netas descendiendo nivel a nivel, que resulta de mayor comodidad para la introducción de procesos de lotificación de piezas, el decalaje de los plazos de fabricación y compras (que el procedimiento Gozinto no tiene en cuenta), así como el establecimiento del plan definitivo de producción más económico teniendo en cuenta que la capacidad de las máquinas e instalaciones es finita.

## RESUMEN

**Plan maestro de producción (PMP)** representa cantidades de los diversos productos a producir, en los diferentes intervalos de tiempo, habiendo tenido en cuenta para ello las existencias disponibles no reservadas, las existencias de seguridad al final de cada período y las órdenes de producción pendientes, de tal forma que satisfagan el programa de ventas y ello de la manera más económica posible. Debe ser factible: realizarse con los recursos que se tienen, más aquellos de los que se pueda disponer de una forma económica.

**La información necesaria para la planificación a corto plazo de la producción procede de diversas fuentes:**

- De predicción de la demanda: ventas previstas de los diferentes productos por períodos.
- De ingeniería: listas de materiales, procesos de montaje de productos y de fabricación de subconjuntos y componentes, tiempos estándar de las operaciones del proceso y de las preparaciones de las máquinas, capacidades de máquinas e instalaciones, costes estándar de fabricación.
- De personal: calendario laboral, número de operarios directos, convenio sindical, distribución de vacaciones, puentes, coste de horas extras, costes de contrataciones temporales.

- De control y gestión de stocks: existencias de seguridad de productos, tiempos de demora de producción y compras, costes de posesión y rotura del stock, existencias actuales disponibles.
- De compras: costes de subcontratar trabajos al exterior.

Además de información al momento como: la carga actual de los centros de trabajo, capacidad actual de los centros, perturbaciones externas (anulaciones, urgencias, etc.).

**Los requerimientos brutos se calculan con la siguiente fórmula:**  $X = |T| \times |D + e|$

Siendo  $T$  la matriz de requerimientos totales unitarios,  $D$  la matriz de demanda y  $e$  el vector de seguridad.

**Los requerimientos netos se calculan con la siguiente fórmula:**  $|W| = |T| \times |D + e| - |s + P|$

Siendo  $s$  el vector de existencias disponibles no reservadas y  $P$  la matriz de órdenes de producción y de compras pendientes de recibir.

**La carga de trabajo se calcula con la siguiente fórmula:**  $|M| = |B| \times |X_N|$

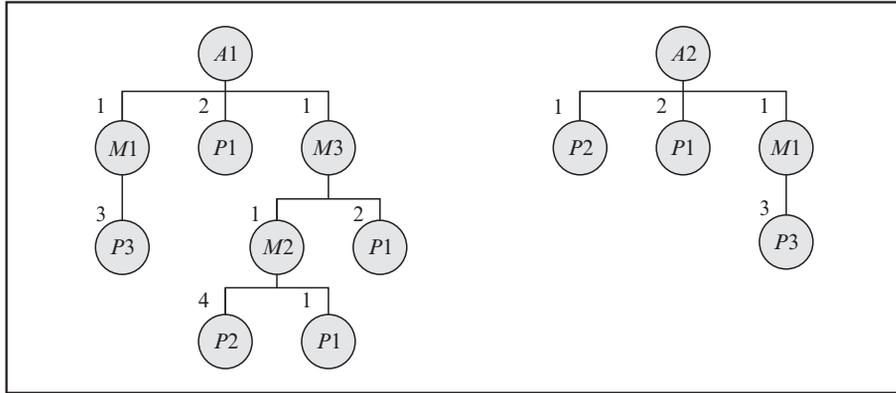
Siendo  $B$  la matriz de tiempos unitarios y  $X_N$  la matriz arreglada de requerimientos netos.

## CUESTIONES

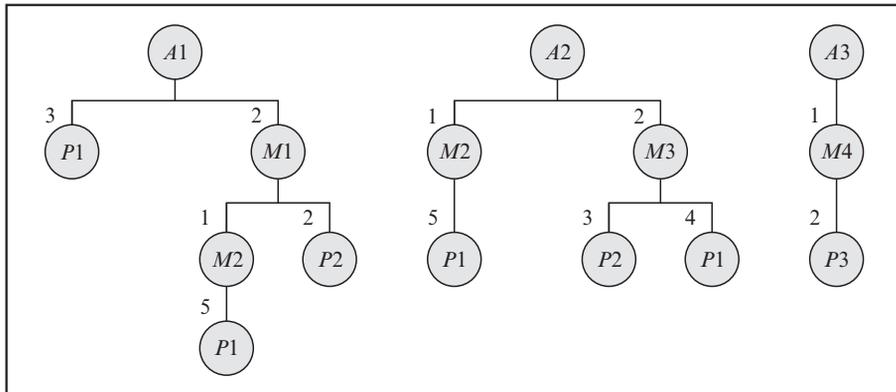
### Preguntas tipo test

- El objetivo principal de la función de planificación de las operaciones es:
  - Establecer un plan de operaciones que especifique qué operaciones deberán llevarse a cabo en un momento dado.
  - Un plan que resuelva los conflictos de producción (retrasos, excesos de carga, etc.), en el momento en que éstos ocurran.
  - Determinar el plan más económico para dar satisfacción a una demanda prevista.
  - Generar un plan que, teniendo en cuenta la carga de cada puesto, logre una secuencia de operaciones correcta.
  - Terminar a tiempo un alto porcentaje de órdenes de trabajo.
- En el procedimiento de Gozinto, si  $T$  = matriz de requerimientos totales unitarios y  $D$  = matriz demanda, el producto  $T \times D$  da:
  - Los requerimientos necesarios de tiempo para el período planificado.
  - Las horas comprometidas de tiempo para cada departamento en el período planificado.
  - Los requerimientos de materiales brutos para el período de planeamiento.
  - La matriz de carga actual, en unidades de tiempo, de cada departamento.
  - La producción y órdenes de compra pendientes programadas para el período.
- Siendo  $T$  = matriz de requerimientos totales unitarios;  $D$  = matriz demanda;  $e$  = vector stock final deseado;  $s$  = vector de existencias disponibles; y  $P$  = matriz de producción y compras pendientes de recibir, la matriz de requerimientos netos será:
  - $T \times [D + e - (P + s)]$
  - $T \times [D + s - (P + e)]$
  - $T \times [D - e + (P + s)]$
  - Ninguna de las anteriores.
- En el procedimiento de Gozinto, si  $B$  = matriz de tiempos unitarios;  $X'_T$  = matriz de requerimientos totales, el producto:  $B \times X'_T$  da:
  - Las horas comprometidas de tiempo para cada departamento en el período planificado.
  - Los requerimientos necesarios de tiempo para el período planificado de cada departamento.
  - Los requerimientos de materiales brutos y tiempos para el período de planeamiento.
  - La matriz de carga actual, en unidades de tiempo, de cada departamento.
  - La producción y órdenes de compra pendientes programadas para el período de tiempo.
- Una empresa fabrica dos productos  $A1$  y  $A2$  de acuerdo con las gráficas de explosión de la estructura que se indican, el orden correcto de los productos, ensambles y componentes para formular las matrices de requerimientos por el método de Gozinto sería:
  - $A1, A2, P1, M3, P2, M1, M2, P3$ .
  - $A1, A2, M3, M2, M1, P1, P2, P3$ .

- c)  $A1, A2, M1, M3, M2, P3, P2, P1$ .
- d)  $A1, A2, M1, M2, M3, P1, P2, P3$ .
- e) Ninguna de las anteriores.

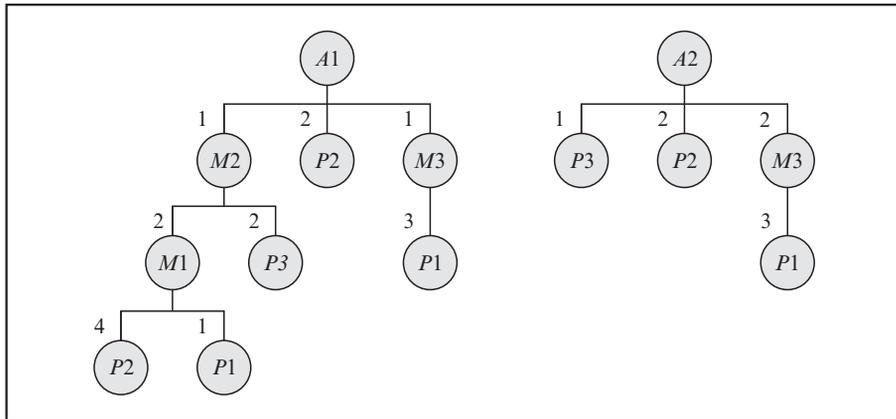


6. Dadas las gráficas de explosión de la estructura de los productos:  $A1, A2$  y  $A3$ , el orden correcto de los productos, ensambles y componentes para formular las matrices de requerimientos por el método de Gozinto sería:
- a)  $A1, A2, A3, M1, M3, M4, M2, P2, P3, P1$ .
  - b)  $A1, A2, A3, M1, M2, M3, M4, P1, P2, P3$ .
  - c)  $A1, A2, A3, P1, M1, M2, M3, M4, P2, P3$ .
  - d) Ninguna de las anteriores.



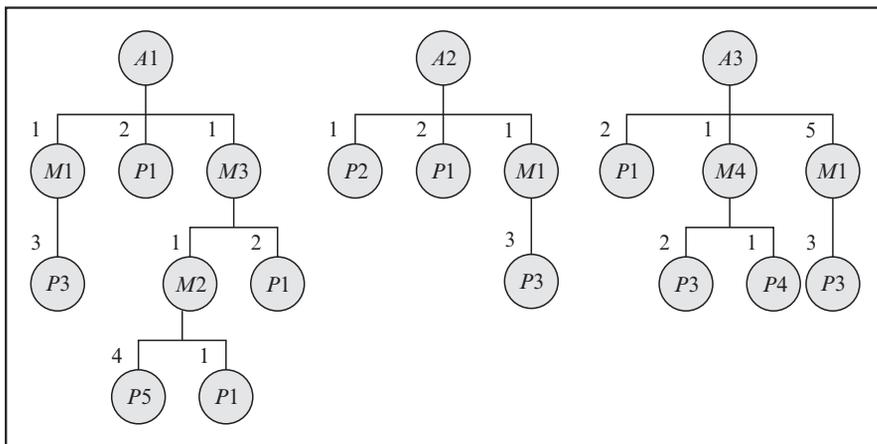
7. Una empresa fabrica dos productos  $A1$  y  $A2$  de acuerdo con las gráficas de explosión de la estructura que se indican. Siguiendo el método de Gozinto:
- a) Calcular la matriz de requerimientos directos ( $N$ ).
  - b) Calcular la matriz de requerimientos totales ( $T$ ).

- c) Si la demanda prevista para  $A1$  es de 300 unidades y de  $A2$  es 150 unidades, calcular la matriz de requerimientos ( $X$ ).



8. Una empresa fabrica tres productos  $A1$ ,  $A2$  y  $A3$  de acuerdo con las gráficas de explosión de la estructura que se indican. La demanda prevista para cada uno de ellos es de 110, 150 y 300 unidades por semana, respectivamente. Se pide calcular:

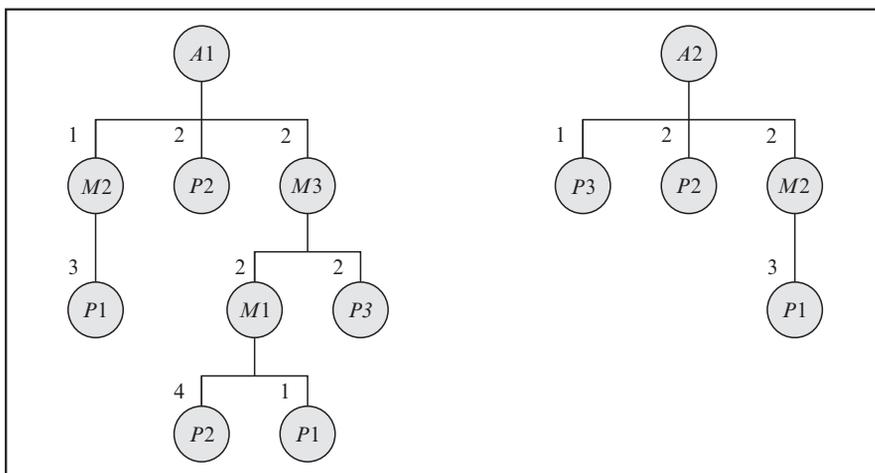
- a) La matriz de requerimientos totales  $T$ .  
 b) Los requerimientos brutos de los subconjuntos  $M1$ ,  $M2$ ,  $M3$  y  $M4$  para una semana.



9. Una empresa fabrica dos productos  $A1$  y  $A2$  de acuerdo con las gráficas de explosión de la estructura que se indican. Siguiendo el método de Gozinto:

- a) Calcular la matriz de requerimientos directos ( $N$ ).  
 b) Calcular la matriz de requerimientos totales unitarios ( $T$ ).

- c) Si la demanda prevista para  $A1$  es de 150 unidades y de  $A2$  es 200 unidades, calcular la matriz de requerimientos totales ( $X$ ).



10. Una empresa fabrica dos productos de referencias:  $A1$  y  $A2$ , a partir de los componentes:  $M1$ ,  $M3$  y  $M2$ , en sus cuatro talleres:  $X$ ,  $W$ ,  $Y$ ,  $Z$ . En las tablas se dan los tiempos unitarios de producción (en horas) para cada referencia, en cada taller, y la capacidad total y capacidad comprometida (en horas) para el período considerado. Si el número de unidades a producir en ese período, para cada referencia, es respectivamente de:  $A1 = 10$  uds.;  $A2 = 50$  uds.;  $M1 = 20$  uds.;  $M3 = 30$  uds.; y  $M2 = 40$  uds.

Se pide: 1.º Plantear las matrices de tiempos unitarios y requerimientos netos. 2.º Calcular los requerimientos de horas en cada taller. 3.º ¿Cuántas horas sobrarán o faltarán en cada taller?

Referencia	Tiempos unitarios por talleres	
	Taller	Horas
$A1$	$Z$	2
$A2$	$Z$	5
$M1$	$W$	4
$M3$	$Y$	3
$M2$	$X$	1

Taller	Capacidades	
	Total	Comprometida
$X$	200	100
$W$	200	100
$Y$	200	120
$Z$	200	30

Taller	Sobran/faltan	Horas
X		
W		
Y		
Z		

11. Representar el diagrama de flujo del plan de ventas presupuestado.
12. Representar el diagrama de flujo simplificado de la planificación de la producción a corto plazo.
13. Representar el diagrama de flujo de la **función planificación de la producción**, solamente hasta la obtención de requerimientos en unidades físicas y tiempos de producción necesarios para el período que se desea planificar.
14. Representar completo el diagrama de flujo de la **función planificación de la producción**.

#### Aplicaciones prácticas

15. Determinar la planificación de la producción más económica (para ello plantear varias opciones) mediante el método de Bowman de un componente de automóvil en el que intervienen dos departamentos: el de inyectoras y el de montaje.

Se trata del interruptor de marcha atrás. Es una pieza situada en la caja de cambios cuya misión es la de cerrar el circuito eléctrico correspondiente al indicador luminoso de la marcha atrás.

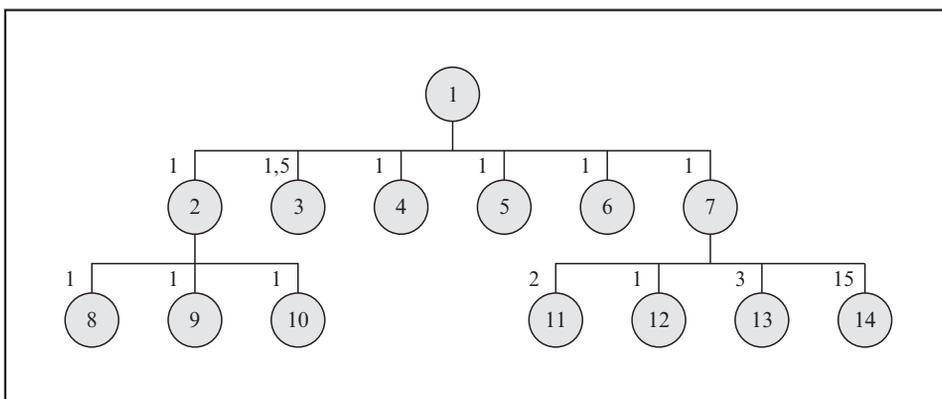
#### Lista de materiales

LISTA DE MATERIALES			
Descripción del producto: Marcha atrás MA-100. Número almacenamiento: 1.			
Componente Alm. N.º	Descripción	Cantidad requerida	Fuente
2	Cuerpo	1	Montaje
3	Membrana	1,5 cm <sup>2</sup>	Compras
4	Contacto fijo	1	Compras
5	Muelle base	1	Compras
6	Piolino	1	Inyectora
7	Base	1	Outsourced

LISTA DE MATERIALES			
Descripción del producto: Cuerpo. Número almacenamiento: 2.			
Componente Alm. N.º	Descripción	Cantidad requerida	Fuente
8	Pulsante	1	Compras
9	Muelle pulsante	1	Compras
10	Pulsador	1	Compras

Descripción del producto: Conj. base. Número almacenamiento: 7.			
Componente Alm. N.º	Descripción	Cantidad requerida	Fuente
11	Terminales	2	Compras
12	Láminas	1	Compras
13	Resina	3	Compras
14	Poliamida	15	Compras

Gráfica de explosión de la estructura del producto



Hojas de operaciones

	Montaje	Inyectoras
Tiempo de ciclo(s)	6,8	12,3
Factor corrector (paros, mala calidad, etc.)	1,3	1,15

Horas normales necesarias

Se conoce los días laborables de cada mes y por tanto las horas por máquina/turno y el número de unidades necesario por meses. Se determina la cantidad de horas necesarias por meses en cada uno de los departamentos para realizar la producción. Esta información aparece en la tabla siguiente:

*Horas normales necesarias para los departamentos de montaje e inyectoras*

Mes	Días laborales	Horas norm./ máq./turno	Producción necesaria (unidades)	Horas necesarias dpto. montaje	Horas necesarias dpto. inyectoras
Enero	21	168	115.200	283	453
Febrero	20	160	120.450	296	473
Marzo	23	184	103.200	253	405
Abril	17	136	140.300	345	551
Mayo	22	176	199.550	490	784
Junio	22	176	210.300	516	826
Julio	21	168	200.050	491	786
Agosto	15	120	105.600	259	415
Septiembre	20	160	145.300	357	571
Octubre	20	160	183.300	450	720
Noviembre	21	168	195.800	481	769
Diciembre	14	112	150.000	368	589
Total	236	1.888	1.869.050	4.590	7.344

*Costes unitarios*

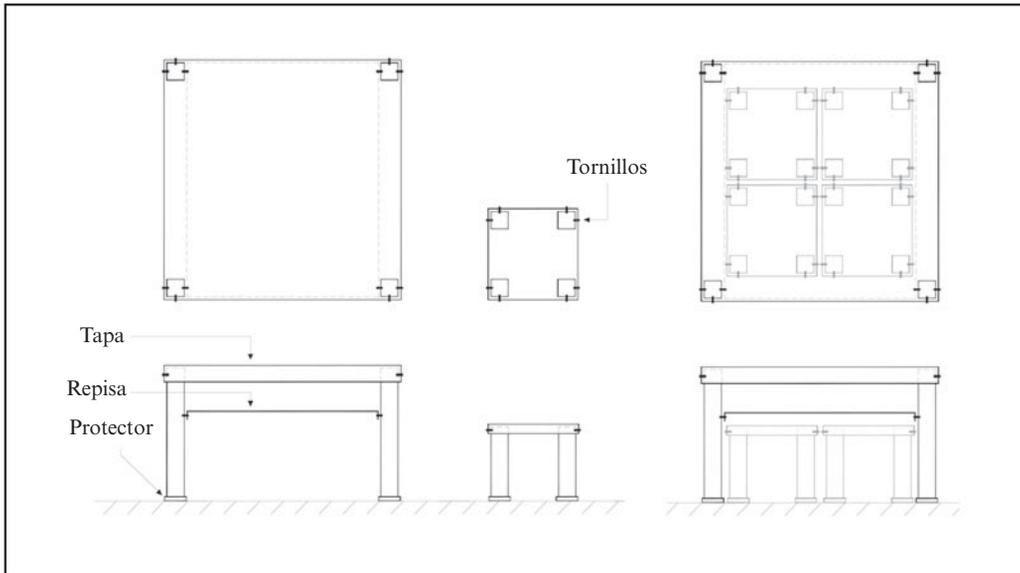
- Coste de la *mano de obra*: 3.000 u.m./hora; y el coste de la *hora extra*: 3.600 u.m./hora.
- Sobrecoste de una hora extra sobre una normal: 600 u.m.
- Coste de permanencia en stock por mes: 58 u.m. por producción de cada hora que se lleva al próximo mes.

16. Planificar por el método Gozinto la fabricación de una mesa con cuatro taburetes tal como la indicada en la figura siguiente.

Dicha mesa tiene unas dimensiones idóneas para poder albergar debajo de la repisa hasta 4 taburetes.

Seguir los siguientes pasos:

- 1.º Dibujar la gráfica de explosión de la estructura del producto.
- 2.º Determinar los requerimientos netos de materiales por períodos y total.
- 3.º Determinar la nueva carga de trabajo ocasionada por estos requerimientos netos, de forma total y por períodos.
- 4.º Proponer un plan para resolver (si la hubiera) la falta de capacidad.



Ingeniería de producto suministra las listas de materiales tanto de los productos como de los componentes, las cuales pueden verse a continuación:

Lista de material mesa			Lista de material taburete		
Referencia	Descripción	Cantidad	Referencia	Descripción	Cantidad
<i>a</i>	Patas	4	<i>f</i>	Patas	4
<i>b</i>	Tapa	1	<i>g</i>	Tapa	1
<i>c</i>	Repisa	1	<i>d</i>	Tornillos	8
<i>d</i>	Tornillos	12	<i>e</i>	Protector	4
<i>e</i>	Protector	4			
Lista de material componentes					
Referencia	Descripción	Cantidad m <sup>2</sup>	Material: tipo y referencia		
<i>a</i>	Pata mesa	0,1	Lámina de aluminio h		
<i>b</i>	Tapa mesa	0,8	Lámina de aluminio h		
<i>c</i>	Repisa	0,7	Lámina de aluminio h		
<i>f</i>	Pata taburete	0,04	Lámina de aluminio h		
<i>g</i>	Tapa taburete	0,2	Lámina de aluminio h		

Ingeniería de proceso: las hojas de operaciones

Dpto.	Hoja operaciones	Utillaje	Tiempo (min)
M	Montaje mesa		2
M	Montaje taburete		1
PE	Estampar pata mesa	E1	0,20
PE	Estampar tapa mesa	E2	0,30
PE	Estampar repisa	E3	0,25
PE	Estampar pata taburete	E4	0,20
PE	Estampar tapa taburete	E5	0,25
PD	Doblar pata mesa	D1	0,40
PD	Doblar tapa mesa	D2	0,60
PD	Doblar repisa	D3	0,40
PD	Doblar pata taburete	D4	0,40
PD	Doblar tapa taburete	D5	0,50

La demanda prevista es la siguiente:

	Enero	Febrero	Marzo
Mesas	250	200	250
Taburetes	1.000	800	1.000

El stock de seguridad deseado al final del trimestre:

Mesa	50
Taburete	200
Pata mesa	400
Tapa mesa	100
Repisa	50
Tornillos	10.000
Protector	2.000
Pata taburete	1.000
Tapa taburete	200
Lámina metálica	1.000

Las existencias iniciales disponibles:

Mesa	100
Taburete	380
Pata mesa	390
Tapa mesa	110
Repisa	100
Tornillos	15.000
Protector	3.000
Pata taburete	1.800
Tapa taburete	380
Lámina metálica	500

Los pedidos y órdenes de fabricación pendientes de recibir:

	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>M</i>
Mesa	200	0	0
Taburete	800	0	0
Pata mesa	0	0	0
Tapa mesa	0	0	0
Repisa	0	0	0
Tornillos	10.000	10.000	0
Protector	2.500	2.500	0
Pata taburete	0	0	0
Tapa taburete	0	0	0
Lámina metálica	750	750	0

## RESPUESTAS A LAS CUESTIONES

1	2	3	4	5	6
<i>c</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>

7.

1.<sup>a</sup> respuesta: matriz  $N$ :

	$A1$	$A2$	$M2$	$M3$	$M1$	$P3$	$P2$	$P1$
$A1$								
$A2$								
$M2$	1							
$M3$	1	2						
$M1$			2					
$P3$		1	2					
$P2$	2	2			4			
$P1$				3	1			

2.<sup>a</sup> y 3.<sup>a</sup> respuestas: matriz  $T$ , cálculos necesarios y matriz  $X$ :

$$|X| = |T| \times |D| =$$

	$T$								$D$	$X$
	$A1$	$A2$	$M2$	$M3$	$M1$	$P3$	$P2$	$P1$		
$A1$	1								300	300
$A2$		1							150	150
$M2$	1		1							300
$M3$	1	2		1						600
$M1$	2		2		1					600
$P3$	2	1	2			1				750
$P2$	10	2	8		4		1			3.300
$P1$	5	6	2	3	1			1		2.400

8.

	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>	<i>M1</i>	<i>M3</i>	<i>M4</i>	<i>M2</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P1</i>
<i>A1</i>	1											
<i>A2</i>		1										
<i>A3</i>			1									
<i>M1</i>	1	1	5	1								
<i>M3</i>	1				1							
<i>M4</i>			1			1						
<i>M2</i>	1				1		1					
<i>P2</i>		1						1				
<i>P3</i>	3	3	15	3					1			
<i>P4</i>			1			1				1		
<i>P5</i>	4				4		4				1	
<i>P1</i>	5	2	4		3	2	1					1

Respuesta b:

<i>M1</i> = 1.760	<i>M2</i> = 110	<i>M3</i> = 110	<i>M4</i> = 300

9.

1.ª Respuesta: matriz *N*:

	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>	<i>M1</i>	<i>P3</i>	<i>P2</i>	<i>P1</i>
<i>A1</i>								
<i>A2</i>								
<i>M2</i>	1	2						
<i>M3</i>	2							
<i>M1</i>				2				
<i>P3</i>		1		2				
<i>P2</i>	2	2			4			
<i>P1</i>			3		1			

2.<sup>a</sup> y 3.<sup>a</sup> respuestas: matriz  $T$ , cálculos necesarios y matriz  $X$ :

$$|x| = |T| \times |D| =$$

$T$									$D$	$X$
	$A1$	$A2$	$M2$	$M3$	$M1$	$P3$	$P2$	$P1$		
$A1$	1								150	150
$A2$		1							200	200
$M2$	1	2	1							550
$M3$	2			1						300
$M1$	4			2	1					600
$P3$	4	1		2		1				800
$P2$	18	2		8	4		1			3.100
$P1$	7	6	3	2	1			1		2.250

10.

1.º Matriz de tiempos unitarios:  $B$ ; matriz de requerimientos netos:  $X'_N$ :

$$B =$$

	$A1$	$A2$	$M1$	$M3$	$M2$
$X$					1
$W$			4		
$Y$				3	
$Z$	2	5			

$$X'_N =$$

$A1$	10
$A2$	50
$M1$	20
$M3$	30
$M2$	40

2.º Requerimientos de horas en cada taller:  $M_T = B \times X'_N$

$$M_T = \begin{array}{|c|c|} \hline X & 40 \\ \hline W & 80 \\ \hline Y & 90 \\ \hline Z & 270 \\ \hline \end{array}$$

3.º Horas que sobran/faltan:

Taller	Capacidades		
	Total	Comprometida	Disponible
X	200	100	100
W	200	100	100
Y	200	120	80
Z	200	30	170

Taller	Sobran/faltan	Horas
X	Sobran	60
W	Sobran	20
Y	Faltan	10
Z	Faltan	100

11. Véase figura 3.1.
12. Véase figura 3.3.
13. Véase figura 3.4.
14. Véase figura 3.4.
15. Empezaremos por el departamento más crítico, que en este caso es el **departamento de inyectoras**:

#### Cálculo del número de inyectoras necesarias

$$7.334 : 1888 = 3,88 \text{ inyectoras}$$

*Es decir, que con dos inyectoras trabajando a dos turnos sería suficiente.*

**1.ª opción:** usar en horario normal 2 inyectoras en el turno de mañana y 1 en el turno de tarde, y la otra haciendo horas extras.

— El número de horas disponibles lo calcularemos de la siguiente manera:

Tomando como ejemplo enero, será:

$$168 \text{ horas normales} \times 3 \text{ máquinas} = 504 \text{ horas disponibles (enero)}$$

— El número de horas extras disponibles sería el correspondiente a otro turno de trabajo, que en el caso de enero será:

$$168 \text{ horas extras} \times 1 \text{ máquina} = 168 \text{ horas extras (enero)}$$

Procediendo de la misma forma calcularíamos las disponibilidades del resto de los meses.

Plan de producción para el departamento de inyectoras (HN: 3 máquinas y HE: 1 máquina)

Mes	Tiempo requerido	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
		TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE
1	453	504	168	480	160	552	184	408	136	528	176	528	176	504	168	360	120	480	160	480	160	504	168	336	112
		HMD	504																						
		CIH	0																						
		PP	453																						
2	473																								
		HMD	51	168	480	160																			
		CIH	58	658	0	600																			
		PP			473																				
3	405																								
		HMD	51	168	7	160	552	184																	
		CIH	116	716	58	658	0	600																	
		PP										405													
4	551																								
		HMD	51	168	7	160	147	184	408	136															
		CIH	174	774	116	716	58	658	0	600															
		PP										143	408												
5	784																								
		HMD	51	168	7	160	4	184	0	136	528	176													
		CIH	232	832	174	774	116	716		658	0	600													
		PP	51		7		4			18	528	176													
6	826																								
		HMD	0	168	0	160	0	184	118	0	0	528	176												
		CIH		890		832		774	716			0	600												
		PP						4	118			528	176												
7	786																								
		HMD		168		160		180	0		0	0	504	168											
		CIH		948		890		832					0	600											
		PP						114						504	168										
8	415																								
		HMD		168		160		66						0	0	360	120								
		CIH		1.006		948		890								0	600								
		PP														360	55								

Plan de producción para el departamento de inyectoras (HN: 3 máquinas y HE: 1 máquina) (continuación)

Mes	Tiempo requerido	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
		TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE
9	HMD	504	168	480	160	552	66	408	136	528	176	528	176	504	168	360	120	480	160	480	160	504	168	336	112
	CIH		1.064		1.006		948									658	0	600							
	PP																	480	91						
10	HMD		168		160		66										65	0	69	480	160				
	CIH		1.122		1.064		1.006									716		658	0	600					
	PP																11		69	480	160				
11	HMD		168		160		66										54	0	504	168					
	CIH		1.180		1.122		1.064									774						0	600		
	PP						43									54						504	168		
12	HMD		168		160		23										0					0	336	112	
	CIH		1.238		1.180		1.122																	0	600
	PP				118		23																	336	112
Producción total obtenida	TN	504	480	552	480	408	528	528	504	360	480	480	504	360	480	480	504	480	480	504	480	504	336	336	
	HE	0	118	184	136	176	176	176	168	120	160	160	168	120	160	160	160	160	160	160	160	168	168	112	112

TN: tiempo normal. HE: horas extras HMD: horas-máquina disponibles. CIH: costo incremental hora. PP: producción planeada.

*Planificación de producción: Introducción*

Costes incrementales totales del departamento de inyectoras (3 máquinas en turno normal y 1 máquina en horas extra).

Coste de posesión de stocks producido en horas normales		
Enero	$51 \times 232$	11.832
Febrero	$7 \times 174$	1.218
Marzo	$143 \times 58 + 4 \times 116$	8.758
Coste de las horas extras y de la posesión de stocks producido en ellas		
Febrero	$118 \times 1.180$	139.240
Marzo	$4 \times 774 + 114 \times 832 + 43 \times 1.064 + 23 \times 1.122$	169.502
Abril	$18 \times 658 + 118 \times 716$	96.332
Mayo	$176 \times 600$	105.600
Junio	$176 \times 600$	105.600
Julio	$168 \times 600$	100.800
Coste de las horas extras y de la posesión de stocks producido en ellas		
Agosto	$55 \times 600 + 11 \times 716 + 54 \times 774$	82.672
Septiembre	$91 \times 600 + 69 \times 658$	100.002
Octubre	$160 \times 600$	96.000
Noviembre	$168 \times 600$	100.800
Diciembre	$112 \times 600$	67.200
Costo total		1.185.556

Debido a la gran cantidad de horas extras que se realizan en el departamento de inyectoras ahora probaremos otro plan.

**2.<sup>a</sup> opción:** usar en horario normal 2 máquinas a turno de mañana y 2 a turno de tarde, y en los meses en que haga falta realizar horas extras, en turno de noche.

Veamos el plan en la siguiente tabla:

Plan de producción para el departamento de inyectoras (HN: 4 máquinas y HE: 1 máquina)

Mes	Tiempo requerido	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
		TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	
1	453	HMD	672	168																						
		CIH	0	600																						
2	473	PP	453																							
		HMD	219	640	160																					
3	405	CIH	58	658	0	600																				
		PP			473																					
4	551	HMD	219	167		736	184																			
		CIH	116	716	58	658	0	600																		
5	784	PP				405																				
		HMD	219	167		331	184	544	136																	
6	826	CIH	174	774	116	716	58	658	0	600																
		PP					7	544																		
7	786	HMD	219	167		324	184	0	136	704	176															
		CIH	232	832	174	774	116	716	658	0	600															
8	415	PP				80				704																
		HMD	219	167		244	184		136	0	176	704	176													
9	415	CIH	290	890	232	832	174	774	716	658	0	600														
		PP				122					704															
10	786	HMD	219	167		122	184	136		176	0	176	672	168												
		CIH	348	948	290	890	232	832	774	716	658	0	600													
11	415	PP				114						672														
		HMD	219	167		8	184	136		176	0	176	480	120												
12	415	CIH	406	1,006	348	948	290	890	832	774	716	658	0	600												
		PP																								

Plan de producción para el departamento de inyectoras (HN: 4 máquinas y HE: 1 máquina) (continuación)

Mes	Tiempo requerido	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre				
		TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE			
9	571	672	168	640	160	736	184	544	136	704	176	704	176	704	176	672	168	480	120	640	160	640	160	672	168	448	112	
		HMD	219		167		8	184	136		176		176		176		168	65	120	640	160							
		CIH	464	1.064	406	1.006	348	948	890		832		774		716	58	658	0	600									
		PP															571											
10	720	522	1.122	464	1.064	406	1.006	948	948		890		832		774	116	716	58	658	0	600							
		HMD	219		167		8	184	136		176		176		176		168	65	120	69	160	640	160					
		CIH	580	1.180	522	1.122	464	1.064	1.006		948		890		832	174	774		716		658	0	600					
		PP			35		8									54								672				
12	589	638	1.238	580	1.180		1.122	1.064	1.064		1.006		948		890	832		774		716								
		HMD	219		132		0	184	136		176		176		168	0	120		160		160							
		CIH	9		132																							
		PP																										
Producción total obtenida		TN	462	640		736	544	544	704	704	704	704	704	704	672	480	480	640	640	640	640	640	640	672	672	448	448	
HE		HE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

TN: tiempo normal. HE: horas extras HMD: horas-máquina disponibles. CIH: costo incremental hora. PP: producción planeada.

Coste de posesión de stocks producido en horas normales		
Enero	$9 \times 638$	5.742
Febrero	$35 \times 522 + 132 \times 580$	94.830
Marzo	$7 \times 58 + 80 \times 116 + 112 \times 174 + 114 \times 232 + 8 \times 464$	51.990
Agosto	$11 \times 116 + 54 \times 174$	10.672
Septiembre	$69 \times 58$	4.002
Horas ociosas		
Enero	$210 \times 3.000$	630.000
Costo total		797.236

Como puede verse, esta 2.<sup>a</sup> opción es mucho más económica y por tanto es la que seguiremos.

### Departamento de montaje

— Cálculo del número de máquinas necesarias (*TRANSFER*):

$$4.590 : 1.888 = 2,43 \text{ transfer}$$

*Es decir que con 1 transfer trabajando a tres turnos sería suficiente:*

Usar en horario normal 1 transfer en el turno de mañana y 1 en el turno de tarde, y en el turno de noche hacer horas extras.

— El número de horas disponibles lo calcularemos de la siguiente manera:  
Tomando *como* ejemplo enero, será:

$$168 \text{ horas normales} \times 2 \text{ máquinas} = 336 \text{ horas disponibles (enero)}$$

— El número de horas extras disponibles sería el correspondiente a otro turno de trabajo que en el caso de enero será:

$$168 \text{ horas extras} \times 1 \text{ máquina} = 168 \text{ horas extras (enero)}$$

Plan de producción para el departamento de montaje (HN: 2 máquinas y HE: 1 máquina)

Mes	Tiempo requerido	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
		TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	
1	283	HMD	336	168																						
		CIH	0	600																						
		PP	283																							
2	296	HMD	53	168	320	160																				
		CIH	58	658	0	600																				
		PP			296																					
3	253	HMD	53	168	24	160	368	184																		
		CIH	116	716	58	658	0	600																		
		PP					253																			
4	345	HMD	53	168	24	160	115	184	272	136																
		CIH	174	774	116	716	58	658	0	600																
		PP					73		272																	
5	490	HMD	53	168	24	160	42	184	0	136	352	176														
		CIH	232	832	174	774	116	716		658	0	600														
		PP	53		24		42				352	19														
6	516	HMD	0	168	0	160	0	184		136	0	157	352	176												
		CIH		890		832		774		716		658	0	600												
		PP											352	164												
7	491	HMD		168		160		184		136		157	0	12	336	168										
		CIH		948		890		832		774		716		658	0	600										
		PP																								
8	259	HMD		168		160		184		136		157		12	0	13	240	120								
		CIH		1,006		948		890		832		774		716		658	0	600								
		PP																								

Plan de producción para el departamento de montaje (HN: 2 máquinas y HE: 1 máquina) (continuación)

Mes	Tiempo requerido	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
		TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	TN	HE	
9	357	336	168	320	160	368	184	272	136	352	176	352	176	352	176	336	168	240	120	320	160	320	160	320	160	
			168		160		184		136		157		12		13		0	101	320	160						
			1.064		1.006		948		890		832		774		716		658	0	600							
																			320	37						
10	450		168		160		184		136		157		12		13		101	0	123	320	160					
			1.122		1.064		1.006		948		890		832		774		716	658	0	600						
																					320	130				
11	481		168		160		184		136		157		12		13		101	123	0	30	336	168				
			1.180		1.122		1.064		1.006		948		890		832		774	716	658	0	600					
																						336	145			
			168		160		184		136		157		12		13		101	123	30	0	23	224	112			
12	505		1.238		1.180		1.122		1.064		1.006		948		890		832	774	716	658	0	600				
																						9		23	224	112
			336		320		368		272		352		352		336		240	320	320	320	320	320	336	336	224	
			0		0		0		0		19		164		155		19	37	37	139	168	168	168	112		
			Producción total obtenida																							

TN: tiempo normal. HE: horas extras. HMD: horas-máquina disponibles. CIH: costo incremental hora. PP: producción planeada.

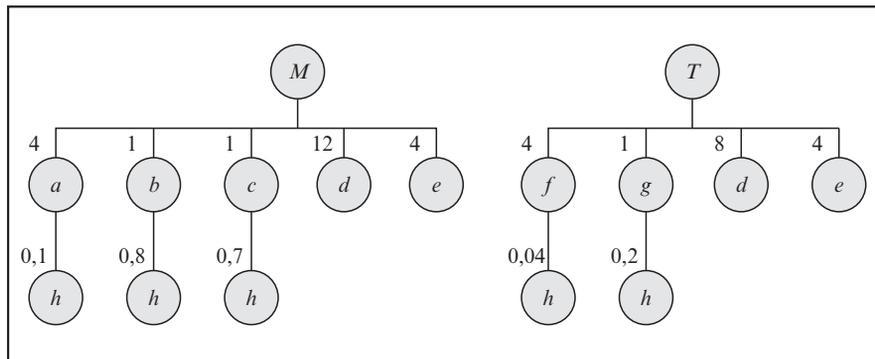
Costes incrementales totales del departamento de montaje (2 máquinas en turno normal y 1 máquina en horas extras).

Coste de posesión de stocks producido en horas normales		
Enero	$53 \times 232$	12.296
Febrero	$24 \times 174$	4.176
Marzo	$73 \times 58 + 42 \times 116$	9.106
Coste de las horas extras		
Mayo	$19 \times 600$	11.400
Junio	$164 \times 600$	98.400
Julio	$155 \times 600$	93.000
Agosto	$19 \times 600$	11.400
Septiembre	$37 \times 600$	22.200
Octubre	$130 \times 600$	84.444
Noviembre	$145 \times 600$	102.134
Diciembre	$112 \times 600$	67.200
Costo total		515.756

El coste total entre ambos departamentos será de:  $797.236 + 515.756 = 1.312.992$  u.m.

17. Mesa con cuatro taburetes.

1.º Dibujar la gráfica de explosión de la estructura de los productos.



2.º Determinar los requerimientos netos de materiales por períodos y total.

Para ello previamente se han de plantear las matrices de demanda, stock inicial, stock de seguridad, pedidos pendientes de recibir y órdenes de fabricación pendientes de ejecutar.

$$D = \begin{array}{c|ccc} & E & F & M \\ \hline M & 250 & 200 & 250 \\ T & 1.000 & 800 & 1.000 \\ a & 0 & 0 & 0 \\ b & 0 & 0 & 0 \\ c & 0 & 0 & 0 \\ d & 0 & 0 & 0 \\ e & 0 & 0 & 0 \\ f & 0 & 0 & 0 \\ g & 0 & 0 & 0 \\ h & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

$$e = \begin{array}{c|c} & \\ \hline M & 50 \\ T & 200 \\ a & 400 \\ b & 100 \\ c & 50 \\ d & 10.000 \\ e & 2.000 \\ f & 1.000 \\ g & 200 \\ h & 1.000 \end{array}$$

$$s = \begin{array}{c|c} & \\ \hline M & 100 \\ T & 380 \\ a & 390 \\ b & 110 \\ c & 100 \\ d & 15.000 \\ e & 3.000 \\ f & 1.800 \\ g & 380 \\ h & 500 \end{array}$$

$$P = \begin{array}{c|ccc} & E & F & M \\ \hline M & 200 & 0 & 0 \\ T & 800 & 0 & 0 \\ a & 0 & 0 & 0 \\ b & 0 & 0 & 0 \\ c & 0 & 0 & 0 \\ d & 10.000 & 10.000 & 0 \\ e & 2.500 & 2.500 & 0 \\ f & 0 & 0 & 0 \\ g & 0 & 0 & 0 \\ h & 750 & 750 & 0 \end{array}$$

Se construye la matriz  $N$ . Ésta servirá para después construir la matriz  $T$  de requerimientos totales:

$$N = \begin{array}{c|cccccccccc} & M & T & a & b & c & d & e & f & g & h \\ \hline M & 0 & & & & & & & & & \\ T & 0 & 0 & & & & & & & & \\ a & 4 & 0 & 0 & & & & & & & \\ b & 1 & 0 & 0 & 0 & & & & & & \\ c & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & & & \\ d & 12 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & & \\ e & 4 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & \\ f & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & \\ g & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ h & 0 & 0 & 0,10 & 0,80 & 0,70 & 0 & 0 & 0,04 & 0,20 & 0 \end{array}$$

La matriz  $T$  matricialmente se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$|T| = |I - N|^{-1}$$

es decir, es la inversa de la transformada de  $N$ .

$$T = \begin{array}{c|cccccccccc} & M & T & a & b & c & d & e & f & g & h \\ \hline M & 1 & & & & & & & & & \\ T & 0 & 1 & & & & & & & & \\ a & 4 & 0 & 1 & & & & & & & \\ b & 1 & 0 & 0 & 1 & & & & & & \\ c & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & & & & & \\ d & 12 & 8 & 0 & 0 & 0 & 1 & & & & \\ e & 4 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & & & \\ f & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & & \\ g & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \\ h & 1,90 & 0,36 & 0,10 & 0,80 & 0,70 & 0 & 0 & 0,04 & 0,20 & 1 \end{array}$$

Ahora hay que calcular los requerimientos netos:

$$|W| = |T| \times [|D + d| - |s + P|]$$

Calculemos por un lado la matriz  $D + e$ :

$$D + e = \begin{vmatrix} 250 & 200 & 250 \\ 1.000 & 800 & 1.000 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 50 \\ 200 \\ 400 \\ 100 \\ 50 \\ 10.000 \\ 2.000 \\ 1.000 \\ 200 \\ 1.000 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 250 & 200 & 250 & 50 \\ 1.000 & 800 & 1.000 & 200 \\ 0 & 0 & 0 & 400 \\ 0 & 0 & 0 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 50 \\ 0 & 0 & 0 & 10.000 \\ 0 & 0 & 0 & 2.000 \\ 0 & 0 & 0 & 1.000 \\ 0 & 0 & 0 & 200 \\ 0 & 0 & 0 & 1.000 \end{vmatrix}$$

Ahora la matriz  $s + P$ :

$$|s + P| = \begin{vmatrix} 100 \\ 380 \\ 390 \\ 110 \\ 100 \\ 15.000 \\ 3.000 \\ 1.800 \\ 380 \\ 500 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 200 & 0 & 0 \\ 800 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 10.000 & 10.000 & 0 \\ 2.500 & 2.500 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 750 & 750 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 300 & 0 & 0 \\ 1.180 & 0 & 0 \\ 390 & 0 & 0 \\ 110 & 0 & 0 \\ 100 & 0 & 0 \\ 25.000 & 10.000 & 0 \\ 5.500 & 2.500 & 0 \\ 1.800 & 0 & 0 \\ 380 & 0 & 0 \\ 1.250 & 750 & 0 \end{vmatrix}$$

Sumando ambas obtenemos:

$$|D + e| - |s + P| = \begin{vmatrix} -50 & 200 & 250 & 50 \\ -180 & 800 & 1.000 & 200 \\ -390 & 0 & 0 & 400 \\ -110 & 0 & 0 & 100 \\ -100 & 0 & 0 & 50 \\ -25.000 & -10.000 & 0 & 10.000 \\ -5.500 & -2.500 & 0 & 2.000 \\ -1.800 & 0 & 0 & 1.000 \\ -380 & 0 & 0 & 200 \\ -1.250 & -750 & 0 & 1.000 \end{vmatrix}$$

Finalmente la matriz de requerimientos netos  $W$ :

$$|W| = \begin{vmatrix} 1 & & & & & & & & & & \\ 0 & 1 & & & & & & & & & \\ 4 & 0 & 1 & & & & & & & & \\ 1 & 0 & 0 & 1 & & & & & & & \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & & & & & & \\ 12 & 8 & 0 & 0 & 0 & 1 & & & & & \\ 4 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & & & & \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & & & \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & & \\ 1,90 & 0,36 & 0,10 & 0,80 & 0,70 & 0 & 0 & 0,04 & 0,20 & 1 & \end{vmatrix} \times$$

$$\times \begin{vmatrix} -50 & 200 & 250 & 50 \\ -180 & 800 & 1.000 & 200 \\ -390 & 0 & 0 & 400 \\ -110 & 0 & 0 & 100 \\ -100 & 0 & 0 & 50 \\ -25.000 & -10.000 & 0 & 10.000 \\ -5.500 & -2.500 & 0 & 2.000 \\ -1.800 & 0 & 0 & 1.000 \\ -380 & 0 & 0 & 200 \\ -1.250 & -750 & 0 & 1.000 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -50 & 200 & 250 & 50 \\ -180 & 800 & 1.000 & 200 \\ -590 & 800 & 1.000 & 600 \\ -160 & 200 & 250 & 150 \\ -150 & 200 & 250 & 100 \\ -27.040 & -1.200 & 11.000 & 12.200 \\ -6.420 & 1.500 & 5.000 & 3.000 \\ -2.520 & 3.200 & 4.000 & 1.800 \\ -560 & 800 & 1.000 & 400 \\ -1.755 & -82 & 835 & 1.402 \end{vmatrix}$$

Los valores negativos de  $W$  indican el exceso de inventario sobre lo requerido para ese mes. Si se distribuye este exceso de inventario sobre los meses siguientes, se obtiene la matriz de requerimientos  $X_N$ .

Sumando todo obtendremos el vector totalizador  $X'_N$

$$X_N = \begin{vmatrix} \text{Enero} & \text{Febrero} & \text{Marzo} & \text{Inventario} & \text{Total} \\ 0 & 150 & 250 & 50 & 450 \\ 0 & 620 & 1.000 & 200 & 1.820 \\ 0 & 210 & 1.000 & 600 & 1.810 \\ 0 & 40 & 250 & 150 & 440 \\ 0 & 50 & 250 & 100 & 400 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 80 & 3.000 & 3.080 \\ 0 & 680 & 4.000 & 1.800 & 6.480 \\ 0 & 240 & 1.000 & 400 & 1.640 \\ 0 & 0 & 0 & 400 & 400 \end{vmatrix} \quad X'_N = \begin{vmatrix} 450 \\ 1.820 \\ 1.810 \\ 440 \\ 400 \\ 0 \\ 3.080 \\ 6.480 \\ 1.640 \\ 400 \end{vmatrix}$$

3.º Determinar la nueva carga de trabajo ocasionada por estos requerimientos netos, total y por períodos.

Las horas requeridas totales en el trimestre para cada centro de trabajo se obtienen calculando la matriz  $M_T$

$$M_T = B \times X'_N$$

La matriz  $B$  (tiempos unitarios) se confecciona con los datos suministrados por la hoja de operaciones y será la siguiente:

$$B = \begin{array}{c} M \\ PE \\ PD \end{array} \left| \begin{array}{ccccccccccc} M & T & a & b & c & d & e & f & g & h \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,20 & 0,30 & 0,25 & 0 & 0 & 0,20 & 0,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0,40 & 0,60 & 0,40 & 0 & 0 & 0,40 & 0,50 & 0 \end{array} \right|$$

Multiplicando las dos matrices resultará:

$$M_T = \left| \begin{array}{c} 2.270 \\ 2.300 \\ 4.560 \end{array} \right| \text{ minutos} = \left| \begin{array}{c} 45 \\ 38 \\ 76 \end{array} \right| \text{ horas}$$

Para expresar estos requerimientos mes a mes, se utilizará  $X_N$  en vez de  $X'_N$ :

$$M = B \times X_N =$$

$$\begin{array}{c} M \\ PE \\ PD \end{array} \left| \begin{array}{ccccccccccc} M & T & a & b & c & d & e & f & g & h \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,20 & 0,30 & 0,25 & 0 & 0 & 0,20 & 0,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0,40 & 0,60 & 0,40 & 0 & 0 & 0,40 & 0,50 & 0 \end{array} \right| X$$

×	Enero	Febrero	Marzo	Inventario
	0	150	250	50
	0	620	1.000	200
	0	210	1.000	600
	0	40	250	150
	0	50	250	100
	0	0	0	4.200
	0	0	80	3.000
	0	680	4.000	1.800
	0	240	1.000	400
	0	0	0	400

$$M = \begin{array}{c|cccc|c} & \text{Enero} & \text{Febrero} & \text{Marzo} & \text{Inventario} & \\ \hline & 0 & 920 & 1.500 & 300 & \\ & 0 & 263 & 1.388 & 650 & \\ & 0 & 520 & 2.750 & 1.290 & \\ \hline & & & & & \text{minutos} \end{array}$$

Expresada en horas:

$$M = \begin{array}{c|cccc|c} & \text{Enero} & \text{Febrero} & \text{Marzo} & \text{Inventario} & \\ \hline & 0 & 15 & 25 & 5 & \\ & 0 & 4 & 23 & 11 & \\ & 0 & 9 & 46 & 21 & \\ \hline & & & & & \text{horas} \end{array}$$

4.º Proponer un plan para resolver la falta de capacidad.

Habremos de ver ahora si tenemos suficiente capacidad disponible para satisfacer estos requerimientos teniendo en cuenta que en el trimestre ya haya previsto la realización de otros trabajos que se planificaron con anterioridad.

Los recursos disponibles son: 1 prensa de estampar, 1 prensa de doblar y tres operarios: uno para cada prensa y el tercero en montaje.

Se trabajan 20 días cada mes a razón de 8 horas diarias, lo que supone 160 horas mensuales, es decir, 480 horas en el trimestre.

	Capacidad total	Carga actual	Capacidad disponible
Montaje	480	460	20
Prensa de estampar	480	465	15
Prensa de doblar	480	388	92

Comparando la capacidad disponible con los nuevos requerimientos:

	Capacidad disponible	Carga nueva	Falta de capacidad
Montaje	20	45	25
Prensa de estampar	15	38	23
Prensa de doblar	92	76	-16

Como puede verse, la persona de prensa de doblar estaría parada 16 horas mientras que faltarían horas en los otros centros de trabajo.

Planificación tiene que ver cómo resolver el problema y obviamente en este caso propondría que el operario de prensa de doblar trabajara dos días a turno de tarde en cualquiera de los otros dos departamentos, y que el resto de horas de capacidad que faltan:  $(25 + 23 - 16) = 32$ , fueran realizadas haciendo horas extras.

# Apéndice

## Programación lineal

En este anexo se pretende hacer una breve presentación de la programación lineal dando a conocer la existencia de la técnica, su origen y un sencillo ejemplo.

La programación lineal es un procedimiento matemático mediante el cual se resuelve un problema indeterminado, formulado a través de *ecuaciones lineales*, optimizando la función objetivo, también lineal.

Consiste en optimizar (minimizar o maximizar) una función lineal, denominada función objetivo, de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones que expresamos mediante un sistema de inecuaciones lineales.

### Historia de la programación lineal

La programación lineal se plantea como un modelo matemático desarrollado durante la *Segunda Guerra Mundial* para planificar y reducir los costes del ejército. Se mantuvo en secreto hasta 1947. En la posguerra, muchas industrias lo usaron en su planificación diaria.

Los fundadores de la técnica son *George Dantzig*, quien publicó el *algoritmo simplex*, en 1947 *John von Neumann*, que desarrolló la teoría de la dualidad en el mismo año, y *Leonid Kantoróvich*, un matemático ruso, que utilizó técnicas similares en el campo de la economía antes que Dantzig y que ganó el Premio Nobel de economía en 1975.

El ejemplo original de Dantzig de la búsqueda de la mejor asignación de 70 personas a 70 puestos de trabajo es un ejemplo de la utilidad de la programación lineal. La potencia de computación necesaria para examinar todas las permutaciones a fin de seleccionar la mejor asignación es inmensa. Sin embargo, ocupa sólo un momento encontrar la solución óptima mediante el uso de un computador personal y un software de aplicación del algoritmo simplex o de punto interior. La teoría de la programación lineal reduce drásticamente el número de posibles soluciones óptimas que deberán ser revisadas.

La programación lineal es muy usada en la administración de empresas, ya sea para aumentar al máximo los ingresos o reducir al mínimo los costes de un sistema de producción.

**Ejemplo de aplicación**

Se quiere determinar la mejor composición de la producción para maximizar los beneficios totales en un contexto con restricciones.

Refirámonos a la siguiente situación.

	Producto A u.m./unidad	Producto B u.m./unidad
Mano de obra directa	40	40
Material directo	60	30
Otros costes variables	10	5
Coste variable	110	75
Margen de contribución	10	8

Las restricciones son tanto de horas disponibles de mano de obra directa como de kg del material directo necesario, que expresados en u.m. suponen un importe máximo en nuestro caso, respectivamente, de 80 y 90 millones de u.m.

Llamando:  $N_A$  al número de unidades del producto A y  $N_B$  al número de unidades del producto B, el objetivo es maximizar el beneficio. La función objetivo será:

$$10 N_A + 8 N_B = \text{beneficio (máx.) (1)}$$

Las ecuaciones de restricción serán:

— Para la mano de obra directa:

$$40 N_A + 40 N_B \leq 80 \quad (2)$$

—Para el material directo:

$$60 N_A + 30 N_B \leq 90 \quad (3)$$

Simplificando: (2)  $N_A + N_B = 2$

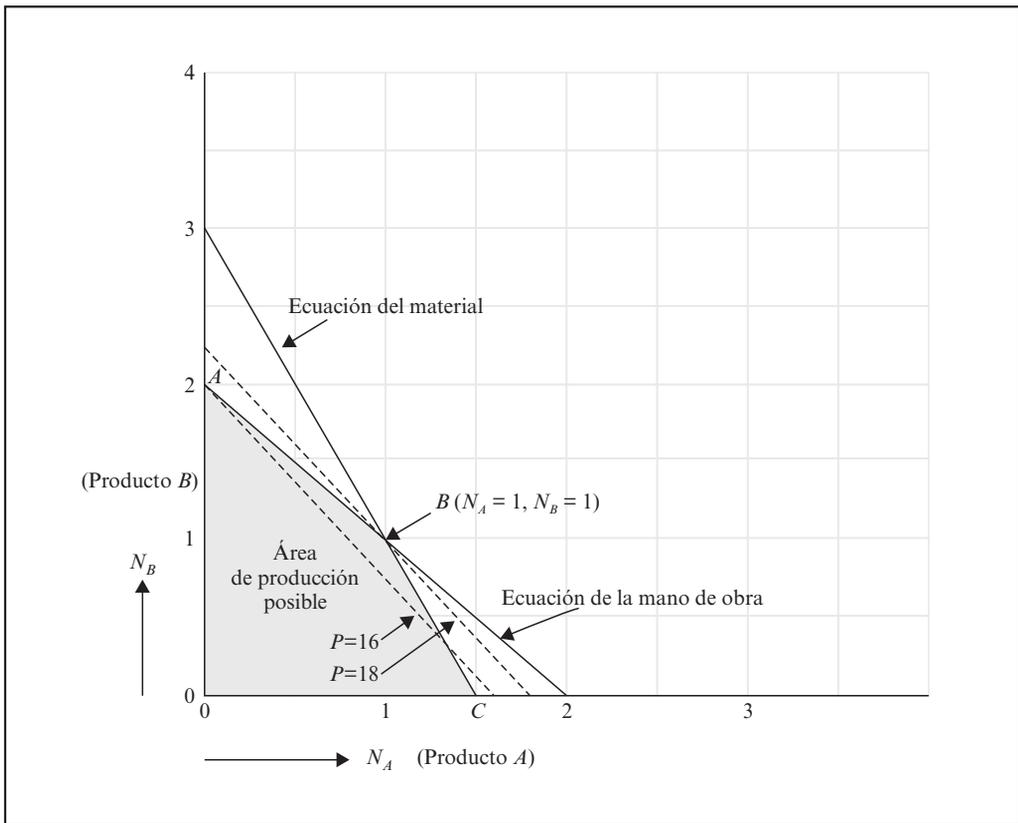
$$(3) \quad 2 N_A + N_B \leq 3$$

Podríamos representar gráficamente ambas rectas en unos ejes de coordenadas.

Para determinar los puntos de corte con los ejes de coordenadas:

$$(2): \text{ Para } N_A = 0, N_B \leq 2; \text{ Para } N_B = 0, N_A \leq 2$$

$$(3): \text{ Para } N_A = 0, N_B \leq 3; \text{ Para } N_B = 0, N_A \leq 3/2$$



En el gráfico, la línea del *resultado máximo* se confunde con la ecuación de la mano de obra desde el punto A al punto B (puesto que en esta zona es la mano de obra la que controla la situación) y está en común con la ecuación de la materia prima desde el punto B al punto C (puesto que en esta zona es la materia prima la que controla la situación).

Todos los posibles niveles de producción están, por tanto, contenidos dentro del área sombreada.

Con objeto de determinar el valor máximo del beneficio, calculemos (1) para beneficio = 16:

$$10N_A + 8N_B = 16$$

y para

$$N_A = 0 \quad N_B = 2$$

$$N_B = 0 \quad N_A = 1,6$$

## *Planificación de producción: Introducción*

Se ve en el gráfico que si queremos maximizar la ecuación (1) hemos de trasladar la recta de los beneficios hasta alcanzar el punto B en relación con el cual tenemos:

$N_A = 1$  y  $N_B = 1$ , es decir, fabricaríamos la misma cantidad de A que de B y el beneficio máximo sería de:  $10 + 8 = 18$  millones de u.m.

Resolución analítica:

Para determinar el punto de corte de las rectas de la mano de obra directa y del material directo:

Restamos  $(3) - (2) = N'_A = 1$  y sustituyendo en (2):  $N'_B = 2 - 1 = 1$

Es decir que el mismo número de unidades de A y B nos darían el máximo beneficio.



# 4

## Planificación de producción: MRP

### Después de leer este capítulo usted deberá:

- Describir en qué consiste el MRP I.
- Identificar los ficheros necesarios para su ejecución.
- Aplicar las distintas técnicas de lotificación.
- Describir el funcionamiento del MRP I.
- Describir el funcionamiento del MRP II e identificar los ficheros complementarios necesarios.
- Describir las diferencias entre el MRP I y el MRP II.
- Describir las cuestiones a tener en cuenta para la determinación de la capacidad disponible.
- Describir en qué consiste la tasa de rendimiento sintético TRS.
- Aplicar un plan económico teniendo en cuenta que la capacidad es finita.
- Calcular cómo afectan las mermas en la determinación de las cargas de trabajo.
- Calcular cómo afectan la tasa de funcionamiento y la de rendimiento en la determinación de la capacidad disponible.
- Aplicar el sistema MRP en su empresa.

### 4.1. INTRODUCCIÓN AL MRP I

Las siglas MRP corresponden a las palabras inglesas *Material Requirements Planning* (planificación de necesidades materiales); suele añadirse un «I» para distinguirlo del *Manufacturing Resource Planning* (MRP II). El enfoque empieza con el método de Gozinto y es continuado por Joseph Orlicky (1975) de la IBM, que empieza a popularizar el procedimiento con el nombre de MRP.

El MRP I consiste esencialmente en el cálculo de las necesidades netas de los subconjuntos, componentes y materias primas por períodos, partiendo de las necesidades netas por períodos de los productos acabados, es decir, del PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN

(MPS)<sup>1</sup>. La novedad respecto al método Gozinto es que considera el plazo de montaje de los productos (ya tenido en cuenta en el MPS) y el de fabricación o compra de cada uno de los componentes y materiales, lo que conduce a modular a lo largo del tiempo las necesidades, indicando cuándo montar y cuándo fabricar o pedir los componentes y materiales con el debido decalaje respecto a su utilización en la fase posterior.

A continuación puede verse gráficamente mediante un diagrama la determinación de las fechas límite en que deben ser pedidos los materiales e iniciada la fabricación y montaje del producto para que pueda ser expedido en la fecha prevista.

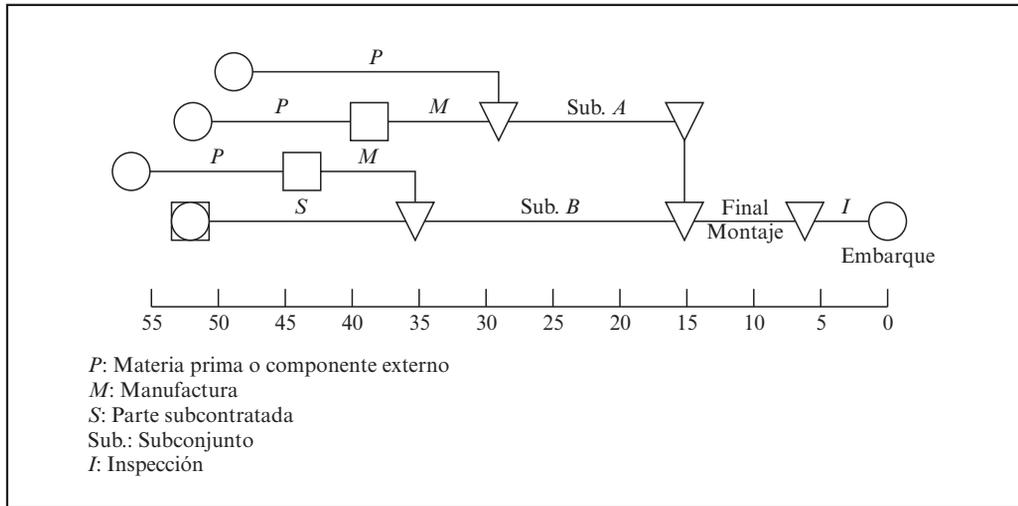


Figura 4.1. Diagrama de determinación de las fechas más tardías.

MRP I podría definirse así: es un sistema de planificación de la producción y de gestión de stocks, basado en un soporte informático que responde a las preguntas: ¿qué?, ¿cuánto?, ¿cuándo se debe lanzar el lote a fabricar o pedir el lote a aprovisionar?

## 4.2. PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN (PMP, MPS)

La planificación de producción a corto plazo pretende transformar las ventas previstas a corto plazo, pero teniendo en cuenta también los pedidos reales de los clientes, en un plan maestro de producción (MPS), es decir, en unas cantidades ajustadas de los diversos productos a producir en los diferentes intervalos de tiempo, teniendo en cuenta los recursos críticos y que resulte lo más económico posible. Y a partir de este MPS y otras informaciones indicadas a continuación, obtener asimismo en los diferentes intervalos de tiempo las

<sup>1</sup> *Master Production Schedule.*

cantidades a producir y pedir a proveedores de los materiales (subconjuntos, componentes y materias primas) necesarios.

Aquí habría que comentar que el plan maestro generado dependerá del entorno de producción en que estemos inmersos.

Podemos considerar tres tipos básicos:

1. Fabricación y montaje para stocks.
2. Fabricación y montaje bajo pedido.
3. Fabricación para stocks y montaje bajo pedido.

Ejemplos de cada uno de ellos son:

1. Fabricación y montaje para stocks. Éste es el caso de los electrodomésticos: televisores, frigoríficos, etc. Se prevé tener stocks de los diferentes modelos (no muy numerosos) que figuran en el catálogo y el cliente se tiene que adaptar a alguno de ellos. El plan maestro determina las cantidades que de cada modelo se tienen que montar en cada período, es decir, coincide con el programa de montaje final.
2. Fabricación y montaje bajo pedido. Éste sería el caso de fabricación de moldes y matrices. Se prevé tener stocks de materias primas que son comunes a cualquiera de las matrices y/o moldes que hubieran de fabricarse.
3. Fabricación para stocks y montaje bajo pedido. Éste es el caso de los automóviles.

Existen varios modelos, pero de cada uno de ellos puede llegar a haber multitud de opciones, según sea el color de la carrocería, metalizada o no, el tapizado, las llantas, la potencia del motor, etc.

Supongamos sólo las siguientes opciones:

- 5 colores de carrocerías.
- 2 versiones (metalizado o no).
- 6 tipos de tapizados (entre el tipo y el color).
- 2 versiones de llantas (de aluminio o acero).
- 3 potencias diferentes de motor.
- 2 versiones (aire acondicionado o no).
- 2 tipos de combustible (gasolina o diésel).
- Resto partes comunes.

El número de diferentes productos acabados de un mismo modelo en este caso sería igual a:  $5 \times 2 \times 6 \times 2 \times 3 \times 2 \times 2 = 1.440$  y tendríamos que desarrollar 1.440 predicciones de demanda y sus correspondientes planes maestros y tener stocks de cada uno de ellos, lo cual, como es fácil de comprender, sería inviable.

En principio lo que se hace es una sola predicción de la demanda para ese modelo de automóvil y un plan maestro, y se utilizan los porcentajes históricos de venta (modificada o no según últimas tendencias) de cada opción básica, en este caso por potencia de motor y

gasolina o diésel, es decir, un total de  $3 \times 2 = 6$ ; entonces de estas seis opciones que requieren ser fabricadas previamente se puede deducir las necesidades y se harán planes maestros para así tener stocks y poder hacer combinaciones cuando se reciba el pedido del cliente. Es decir, en total se harían siete planes maestros, estos seis y un séptimo para las partes comunes.

En el proceso de obtención del MPS se siguen los siguientes pasos:

1. Se identifican las piezas principales (requieren recursos críticos), las cuales pueden ser productos terminados, subconjuntos o piezas, y el sistema sólo planifica dentro del horizonte de planificación fijado en el nivel de la pieza principal (al contrario que el proceso MRP donde se planifica toda la estructura de la lista de materiales).
2. Se verifican los resultados de este proceso de planificación y se modifica el plan maestro y las necesidades de capacidad hasta ajustar el plan maestro (es un proceso interactivo de planificación y simulación ejecutado manualmente).

A partir de ahora se lleva a cabo el proceso de planificación para el resto, es decir, comienza el MRP.

### 4.3. FUNCIONAMIENTO DEL MRP I. DIAGRAMA Y FICHEROS NECESARIOS PARA SU EJECUCIÓN

En la figura 4.2 puede verse el diagrama de obtención del MRP I con sus entradas y salidas.

Los ficheros necesarios son:

- MPS (*Master Production Schedule*) o plan maestro de producción. Nos dice qué productos finales hay que fabricar y en qué período.
- BOM (*Bill of Materials*) o lista de materiales explosionada, que despliega cada conjunto o subconjunto en sus partes componentes y permite conocer las cantidades de cada componente que hay que fabricar o comprar.
- Gestión y control de stocks que suministra: situación o estado del stock, cantidades disponibles de cada artículo en los diferentes intervalos de tiempo, y, por diferencia, las cantidades que deben comprarse o fabricarse. Plazos de entrega de proveedor y de fabricación. Cantidades mínimas a fabricar de cada referencia (lotificación). Stock de seguridad de cada referencia al final de cada período.

La determinación de valores de este último fichero se basa en gran medida en los conceptos que se explican en el **capítulo 5, «Control y gestión de stocks»**.

En dicho tema se explica cómo controlar y gestionar los stocks bajo el punto de vista de «demanda independiente», es decir, que de cada referencia, en función de los consumos previstos en el año, se estudia la forma más económica de gestionarla (cantidad del pedido, cuándo pedir, stock de seguridad), etc. No obstante, gran parte de los conceptos allí explicados son válidos para este caso en que las necesidades de los subconjuntos, componentes

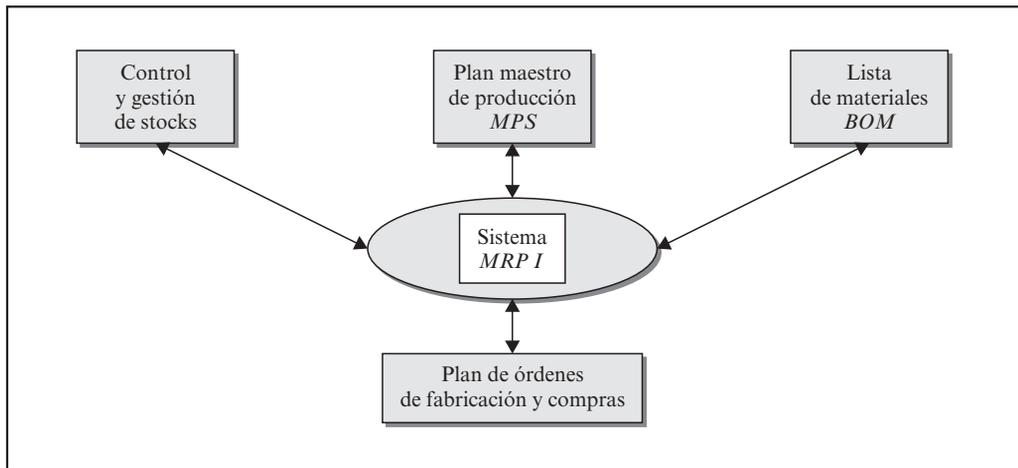


Figura 4.2. Entradas y salidas de un sistema MRP.

y materias primas dependen de las cantidades de los productos a fabricar en cada período obtenidos del plan maestro de producción y, por tanto, se trata de lo que se llama «demanda dependiente».

La determinación del *stock de seguridad* puede verse con detalle en el **capítulo 5, «Control y gestión de stocks»**.

Veamos una serie de técnicas utilizadas en MRPI para la determinación de la lotificación.

## 4.4. TÉCNICAS DE LOTIFICACIÓN

Las técnicas que explicaremos a continuación son las siguientes:

- Pedidos lote a lote.
- Mínimo coste unitario.
- Mínimo coste total.
- Lote económico.
- Método de Silver Meal.
- Máximos y mínimos.
- Múltiplos.

### 4.4.1. Pedidos lote a lote

Es la técnica más simple y consiste en hacer los pedidos iguales a las necesidades netas de cada período minimizando así los costes de posesión de stocks. Son variables tanto la cantidad pedida como el intervalo de tiempo entre los pedidos.

## 4.4.2. Mínimo coste unitario

Se busca la cantidad del lote que, cubriendo uno o más períodos, dé lugar a un coste de gestión (coste de posesión más coste de emisión) mínimo por unidad de producto.

Veamos un ejemplo: estimamos un coste de emisión por pedido de 7.000 u.m. y que el coste de posesión por unidad durante un período es de 1 u.m.

Supongamos que las unidades correspondientes a un período se consumen inmediatamente al iniciarse dicho período.

Veamos un ejemplo:

Período	Cantidad $N$	Tamaño del lote (cantidad acumulada)	Número de períodos en que $N$ es almacenado	Coste de posesión (acumulado)		Coste de emisión por unidad	Coste unitario de gestión
				Por lote	Por unidad		
2	5.200	5.200	0	0	0	1,35	1,35
3	6.000	<b>11.200</b>	1	6.000	0,54	0,62	<b>1,16</b>
4	5.100	16.300	2	16.200*	0,99	0,43	1,42

\*  $6.000 + (5.100 \times 2) = 16.200$  (la cantidad de 5.100 está almacenada 2 períodos).

Como puede verse, lo más económico es pedir un lote de 11.200.

## 4.4.3. Mínimo coste total

Su hipótesis básica es que la suma total de costes de posesión y de emisión se minimizan cuando ambos son lo más parecidos posible, ante lo cual hay que decir que, si bien esto es cierto para demandas continuas y bajo ciertas hipótesis, no tiene por qué cumplirse en el caso de demandas discretas.

Con los mismos datos del apartado anterior:

Período	Cantidad $N$	Cantidad acumulada	Número de períodos en que $N$ es almacenado	Coste de posesión por lote	Coste de emisión
2	5.200	5.200	0	0	7.000
3	6.000	<b>11.200</b>	1	<b>6.000</b>	<b>7.000</b>
4	5.100	16.300	2	16.200	7.000

Como puede verse, también corresponde al lote de 11.200.

#### 4.4.4. Lote económico

Esta técnica, propia de la gestión de stocks con demanda independiente, puede también ser empleada en algunos casos. La fórmula de cálculo del lote económico y su deducción puede verse en el capítulo 5. En caso de aplicarla, hay que tener en cuenta que para obtener la demanda a emplear, deberán tomarse como datos las necesidades netas del horizonte de planificación y no los datos históricos de inventarios, como hacen algunos paquetes de *software*. En caso contrario, se perdería la filosofía prospectiva de los sistemas MRP.

#### 4.4.5. Método de *Silver Meal*

Se selecciona aquel lote que da lugar al mínimo coste de gestión (coste de posesión más coste de emisión) por período para el intervalo cubierto por el reaprovisionamiento.

Período	Cantidad <i>N</i>	Cantidad acumulada	Número de períodos en que <i>N</i> es almacenado	Coste de posesión por lote	Coste de emisión	Coste de gestión
2	5.200	5.200	0	0	7.000	7.000
3	6.000	<b>11.200</b>	1	<b>6.000</b>	<b>7.000</b>	<b>6.500</b>
4	5.100	16.300	2	16.200	7.000	7.733*

\*  $(16.200 + 7.000) : 3 = 7.733$ .

Como puede verse, también corresponde al lote de 11.200.

#### 4.4.6. Máximos y mínimos

Consisten en establecer límites superiores e inferiores de cantidades. Con ello puede evitarse, por ejemplo, la obsolescencia derivada de un pedido excesivamente alto o el procesamiento de lotes demasiado pequeños. Pueden expresarse en cantidades o en períodos por cubrir.

En el caso de lote mínimo, si la necesidad necesaria lo sobrepasa el tamaño del lote será igual a la necesidad neta.

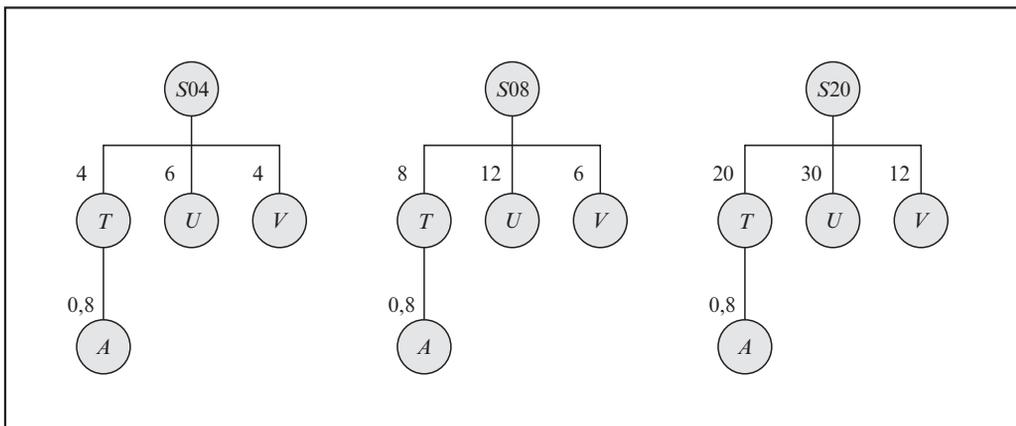
#### 4.4.7. Múltiplos

A veces, necesidades de proceso, las capacidades de cajas apilables normalizadas, etc., hacen que los lotes deban ser múltiplos de algún número. Ello se tiene en cuenta redondeando el lote obtenido hasta el múltiplo inmediatamente superior.

Lógicamente, estos ajustes pueden dar lugar a excesos de stocks que podrán ser utilizados para satisfacer necesidades futuras.

## 4.5. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MRP I

Para poder continuar con la descripción del funcionamiento del MRP I, utilizaremos un ejemplo sencillo, el de una empresa que fabrica tres artículos: S04, S08, S20, a partir de un componente *T* fabricado en la empresa, transformando una materia prima: *A* y componentes comprados: *U* y *V*.



La determinación de las necesidades netas se lleva a cabo nivel a nivel empezando por el nivel 0 (el de los productos acabados) y descendiendo hasta el último nivel.

Describiremos el funcionamiento mediante los siguientes pasos:

a) Determinación de los *inputs* del MRP I:

1. Determinación matricial de la estructura de los productos.
2. Determinación del plan maestro de producción (MPS).
3. Información de control y gestión de stocks.

b) Funcionamiento del MRP I:

4. Determinación de las necesidades brutas de los componentes.
5. Determinación de las necesidades netas de los componentes teniendo en cuenta el efecto lotificación.
6. Determinación de las necesidades brutas y netas de la materia prima.

7. Determinación de los requerimientos netos por períodos, teniendo en cuenta las mermas y el decalaje por los plazos de fabricación y de aprovisionamiento de los componentes comprados y de la materia prima.

#### 4.5.1. Determinación matricial de la estructura de los productos

— Con el BOM de los productos, podemos determinar las matrices  $|N|$  y  $|T|$ :

$N$	S04	S08	S20	$T$	$U$	$V$	$A$
S04							
S08							
S20							
$T$	4	8	20				
$U$	6	12	30				
$V$	4	6	12				
$A$				0,8			

$T$	S04	S08	S20	$T$	$U$	$V$	$A$
S04	1						
S08		1					
S20			1				
$T$	4	8	20	1			
$U$	6	12	30		1		
$V$	4	6	12			1	
$A$	3,2	6,4	16	0,8			1

#### 4.5.2. Determinación del plan maestro de producción (MPS)

— Partimos del programa comercial que nos indica la cantidad de los distintos productos de que se quiere disponer para las ventas de cada mes.

$D$	Mayo	Junio	Julio
S04	600	500	400
S08	200	150	100
S20	100	150	200

— El stock de seguridad que se desea tener al final de cada mes supongamos que es igual al 10% de las ventas previstas cada mes para cada uno de los artículos, lo que permitirá absorber las fluctuaciones de la demanda que se produzcan.

El stock inicial, así como el stock final, se indican a continuación:

	Stock inicial	Stock final		
		Mayo	Junio	Julio
S04	30	60	50	40
S08	10	20	15	10
S20	10	10	15	20

Para tener a final de cada mes el stock deseado, a la cantidad indicada en  $|D|$  se le suma la diferencia entre el stock final y el inicial.

Así, para el S04:

- Mayo: tenemos  $S_i = 30$  ud.; deseamos  $S_f = 60$  ud., debemos incrementar 30 ud.
- Junio: tenemos  $S_i = 60$  ud.; deseamos  $S_f = 50$  ud., sobran 10 ud. (-10).
- Julio: tenemos  $S_i = 50$  ud.; deseamos  $S_f = 40$  ud., sobran 10 ud. (-10).

Haciéndolo para todos los artículos obtenemos las diferencias de stocks  $\Delta s$ :

$\Delta s$	Mayo	Junio	Julio
S04	30	-10	-10
S08	10	-5	-5
S20	0	5	5

y obtendremos la  $|D|$  corregida ( $D'$ )

$$D' = D + \Delta s =$$

	Mayo	Junio	Julio
S04	630	490	390
S08	210	145	95
S20	100	155	205

No existen órdenes de producción pendientes y el plazo de montaje es de un mes, luego decalando estas cantidades un mes, obtendremos las cantidades de cada producto que lo más tarde posible deben montarse cada mes.

	Abril	Mayo	Junio
S04	630	490	390
S08	210	145	95
S20	100	155	205

Una vez comprobado que es factible y determinados los recursos más económicos para llevarlo a cabo, queda establecido el **plan maestro de producción**.

### 4.5.3. Información de control y gestión de stocks

— Para el componente de fabricación interna  $T$  se desea tener al final de cada mes un stock de seguridad igual al 10% de las necesidades brutas de dicho mes para cada uno de los componentes fabricados.

Las necesidades brutas de  $T$  serán:

- Abril:  $(600 \times 4) + (200 \times 8) + (100 \times 20) = 6.000$ .
- Mayo:  $(500 \times 4) + (150 \times 8) + (150 \times 20) = 6.200$ .
- Junio:  $(400 \times 4) + (100 \times 8) + (200 \times 20) = 6.400$ .

Luego el stock de seguridad será:

	Abril	Mayo	Junio
$S_f$	600	620	640

A continuación se indica el stock inicial de todos los componentes y de la materia prima, así como el stock de seguridad calculado del componente  $T$  y el establecido para el resto de las referencias.

	Stock inicial	Stock de seguridad		
		Abril	Mayo	Junio
$T$	200	600	620	640
$U$	1.000	500	500	500
$V$	300	250	250	250
$A$	800	400	400	400

#### 4.5.4. Determinación de las necesidades brutas por períodos de los componentes (nivel 1)

Para ello partimos del MPS, del BOM y de la información de control y gestión de stocks.

Al multiplicar la matriz  $|T|$  por MPS, obtenemos una matriz de requerimientos en que las tres primeras filas son las NECESIDADES NETAS de los productos acabados y las tres filas restantes son aún de NECESIDADES BRUTAS (no se ha tenido en cuenta el stock inicial y final deseado de cada uno de ellos).

	Abril	Mayo	Junio
S04	630	490	390
S08	210	145	95
S20	100	155	205
<i>T</i>	6.200	6.220	6.420
<i>U</i>	9.300	9.330	9.630
<i>V</i>	4.980	4.690	4.590

#### 4.5.5. Determinación de las necesidades netas por períodos de los componentes (nivel 1) teniendo en cuenta el efecto lotificación

##### Componentes fabricados

Determinemos la afectación de las diferencias de stock inicial y final del componente de fabricación interna *T*:

	Abril	Mayo	Junio
<i>Sf</i>	600	620	640
<i>Si</i>	200	600	620
$\Delta s$	400	20	20

Determinemos ahora la necesidad neta del componente de fabricación interna *T*:

	Abril	Mayo	Junio
<i>D</i>	6.200	6.220	6.420
$\Delta s$	400	20	20
<i>D'</i>	6.600	6.240	6.440

Si el plazo de fabricación fuese un mes, el programa de fabricación sería:

<i>T</i>	Marzo	Abril	Mayo
	6.600	6.240	6.440

### Componentes comprados

De los dos componentes de procedencia exterior: *U*, *V*, sabemos lo que hemos estimado como consumo para cada período; por consiguiente, podemos estimar cuándo se va a agotar la cantidad disponible o, lo que es lo mismo, el momento en que conviene recibir un nuevo lote.

Como es posible que, pese a todas las precauciones se produzca retraso de alguna entrega, conviene programar las entradas cuando todavía queda un stock aunque sea reducido (de seguridad).

Es probable que la cantidad de un pedido no pueda ser arbitraria, sino que tenga que ser una cantidad de lote que no se puede variar.

Supongamos un tamaño del lote de aprovisionamiento para los tres artículos exteriores:

	Tamaño de lote
<i>U</i>	4.000
<i>V</i>	2.000
<i>A</i>	2.500

- Por comodidad de cálculo, supongamos que cada mes dispone de 20 días laborables.
- El cálculo del número de lotes a recibir cada mes y el día laborable previsto para su llegada se realiza de la siguiente forma:

#### *Para el artículo U*

*Mes de ABRIL:*

$$N.^{\circ} \text{ de lotes} = \text{Necesidades} + \text{Stock seguridad} - \text{Stock inicial} \text{ (se redondea en el entero por exceso)}$$

$$N.^{\circ} \text{ de lotes} = (9.300 + 500 - 1.000)/4.000 = 2,2; \text{ se redondea por exceso} = 3 \text{ lotes.}$$

Por tanto, las necesidades del mes de abril serán 3 lotes de 4.000 unidades:  $3 \times 4.000 = 12.000$ .

$$\text{El consumo diario} = \text{Necesidades/días labor} = 9.300/20 = 465 \text{ uds./día}$$

El día laborable correspondiente de cada mes en que debe llegar cada lote, se calcularía redondeando al entero por exceso:

$$\text{N.º de día} = (\text{Stock inicial} - \text{Stock seguridad})/\text{Consumo diario}$$

$$1.^{\text{er}} \text{ lote} = (1.000 - 500)/465 = 1,1; \text{ el } 2.^{\text{o}} \text{ día laborable a primera hora.}$$

Para el cálculo de los demás lotes del mes, se tiene que sumar la cantidad recibida al stock inicial:

$$2.^{\text{o}} \text{ lote} = (1.000 + 4.000 - 500)/465 = 9,7; \text{ el } 10.^{\text{o}} \text{ día laborable a medio día.}$$

$$3.^{\text{o}} \text{ lote} = (1.000 + (2 \times 4.000) - 500)/465 = 18,3; \text{ el } 19.^{\text{o}} \text{ día a primera hora.}$$

Como las cantidades suelen variar de un mes a otro, es necesario calcular el stock final del mes, que será el stock inicial del siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Stock final} &= \text{Stock inicial} + \text{N.º lotes} - \text{Consumo del mes} = \\ &= 1.000 + (3 \times 4.000) - 9.300 = 3.700 \text{ ud.} \end{aligned}$$

Procederemos de la misma manera para encontrar las necesidades netas y los días laborables en que se precisa el suministro de los meses de mayo y junio del artículo *U* y repetiremos para el producto *V* con la ayuda de una hoja de cálculo. Se obtiene la siguiente tabla de resultados.

Artículo	Mes	Número de lotes	Recepciones	Consumo diario	Stock final	1.º lote el día	2.º lote el día	3.º lote el día
<i>U</i>	Abril	3	12.000	465	3.700	2	10	19
	Mayo	2	8.000	466,5	2.370	7	16	—
	Junio	2	8.000	481,5	740	4	13	—
<i>V</i>	Abril	3	6.000	249	1.320	1	9	17
	Mayo	2	4.000	234,5	630	5	14	—
	Junio	3	6.000	229,5	2.040	2	11	20

## Las necesidades netas resultantes

	Abril	Mayo	Junio	Total
S04	630	490	390	1.510
S08	210	145	95	450
S20	100	155	205	460
T	6.600	6.240	6.440	19.280
U	12.000	8.000	8.000	28.000
V	6.000	4.000	6.000	16.000

Y el calendario resumen de reaprovisionamiento para programar a nuestros proveedores:

Abril			Mayo			Junio		
Día laborable	Artículo	Cantidad	Día laborable	Artículo	Cantidad	Día laborable	Artículo	Cantidad
1	V	2.000	5	V	2.000	2	V	2.000
2	U	4.000	7	U	4.000	4	U	4.000
9	V	2.000	14	V	2.000	11	V	2.000
10	U	4.000	16	U	4.000	13	U	4.000
17	V	2.000				20	V	2.000
19	U	4.000						

#### 4.5.6. Determinación de las necesidades netas por períodos de la materia prima (nivel 2) teniendo en cuenta el efecto lotificación

— Bajamos al siguiente nivel: Sólo T requiere de la materia prima A:

$$A: |0,8| \times \begin{matrix} \text{Abril} & \text{Mayo} & \text{Junio} \\ (6.600 & 6.240 & 6.440) = \end{matrix} \begin{matrix} (5.280 & 4.992 & 5.152) \end{matrix}$$

— Necesidades para abril de A:

$$\begin{aligned} \text{Número de lotes} &= (5.280 + 400 - 800)/2.500 = 1,95; 2 \text{ lotes.} \\ \text{Stock final} &= 800 + 5.000 - 5.280 = 520 \text{ uds.} \end{aligned}$$

— Necesidades para mayo de A:

$$\begin{aligned} \text{Número de lotes} &= (4.992 + 400 - 520)/2.500 = 1,95; 2 \text{ lotes.} \\ \text{Stock final} &= 520 + 5.000 - 4.992 = 528 \text{ uds.} \end{aligned}$$

— Necesidades para junio de A:

Número de lotes =  $(5.152 + 400 - 528)/2.500 = 2,01$ ; 2 lotes.

Stock final =  $528 + 5.000 - 5.152 = 376$  uds. Puede verse que es ligeramente inferior al stock de seguridad de 400.

— Con estos datos podríamos construir la tabla de necesidades netas, de la misma forma que en el apartado anterior.

#### 4.5.7. Determinación de las cantidades a pedir por períodos teniendo en cuenta las mermas y el decalaje por los plazos de fabricación y de aprovisionamientos

**Afectación de las mermas:** Hasta ahora no hemos considerado que durante la fabricación se producen mermas que deben ser tenidas en cuenta.

Supongamos que las mermas son las siguientes: *T*: 10%; *U*: 5%; *V*: 5%; *A*: 5%.

Esto supondría que las cantidades a tener en cuenta para obtener un producto *S04*, respectivamente, serían:

$T = 4/0,90 = 4,44$	$U = 6/0,95 = 6,32$	$V = 4/0,95 = 4,21$	$A = (4,44 \times 0,8)/0,95 = 3,74$
---------------------	---------------------	---------------------	-------------------------------------

Tendremos también en cuenta los desplazamientos temporales hacia atrás, al considerar los plazos que transcurren desde la emisión de una orden de producción o aprovisionamiento hasta que dicha orden ha sido ejecutada.

Para la determinación del plazo de fabricación de una orden de producción debe tenerse en cuenta que este plazo debe incluir no sólo el **tiempo de procesamiento de las distintas operaciones de la pieza**, sino también los siguientes tiempos:

- Tiempos de preparación de las máquinas de las diferentes operaciones de la pieza.
- Tiempos de cola en las diferentes máquinas.
- Tiempos de espera ha ser transportadas una vez acabada cada operación.
- Tiempos de transporte entre las distintas operaciones.

Veamos a continuación mediante un ejemplo la determinación de las cantidades a pedir por períodos.

---

#### EJEMPLO

Consideraremos los mismos productos *S04*, *S08* y *S20* que vimos en el apartado 4.5 pero con nuevos datos.

Partimos de las necesidades de comercial de cada uno de los tres artículos finales (S04, S08 y S20), en un horizonte de 9 intervalos.

La escala temporal debe ser lo suficientemente fina (días o semanas) como para poder suponer que dentro de un intervalo es indiferente cuándo ocurren los acontecimientos.

En las diferentes tablas se indican los stocks inicial y de seguridad y los pedidos y órdenes de fabricación (OF) pendientes, así como los plazos (número de intervalos necesarios para la fabricación o aprovisionamiento), tipo de lotificación y cantidad del lote.

*Necesidades comerciales*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S04	15	15	15	15	12	13	12	13	10
S08	5	5	5	5	4	4	4	3	2
S20	2	2	3	3	3	4	4	4	5

*Estado de stocks y aprovisionamiento*

	Stock inicial	Pedidos y OF pendientes				Stock de seguridad
		Para 1	Para 2	Para 3	...	
S04	40	10				0
S08	15	5				0
S20	10	3	3			0
T	200					0
U	600					0
V	100			400		0
A	300					50

*Elaboración*

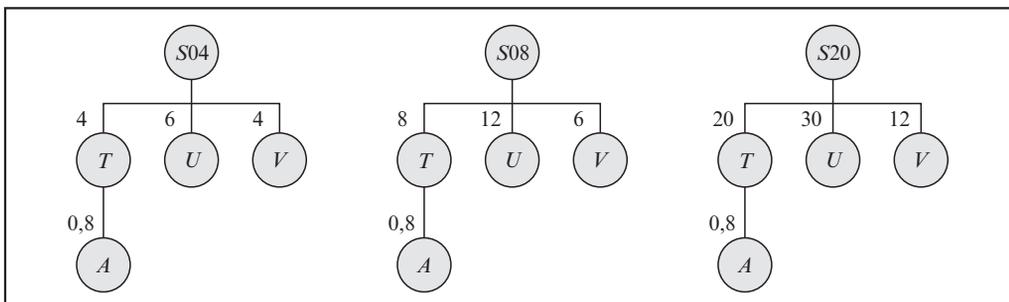
		Plazo intervalos	Tipo lotificación	Lote
S04	Montaje	1	1	1
S08	Montaje	1	1	1
S20	Montaje	2	1	1
T	Fabricación	2	3	300
U	Aprovisionamiento	3	2	800
V	Aprovisionamiento	3	2	400
A	Aprovisionamiento	3	3	700

— Los tipos de lotificación:

(1) Pedido lote a lote: el tamaño de la orden = la necesidad neta.

- (2) Lote mínimo: existe una cantidad de producto mínima determinada, si se sobrepasa, el tamaño del lote = necesidad neta.
- (3) Múltiplo: tamaño del lote = múltiplo del tamaño fijo.

Recordemos el BOM (en forma de cartas de explosión):



### Determinación de las órdenes a emitir por períodos

Para la determinación de las cantidades a pedir por períodos se realizan unos estadillos de todos los artículos como se indica a continuación:

- La segunda columna está reservada para anotar el stock inicial del artículo.
- En la segunda fila, las unidades disponibles en el almacén y las pendientes de recibir en el intervalo correspondiente
- En la tercera fila se anotan las existencias finales previstas en cada intervalo.
- En la cuarta fila se anotan las necesidades netas del intervalo (necesidades brutas menos las existencias previstas al final del período anterior).
- En la quinta fila, las recepciones previstas, de las órdenes que habrán de lanzarse.
- En la sexta y última línea, las cantidades a pedir o lanzar en cada intervalo (aquí es donde se tiene en cuenta el plazo).

### Nivel 0 (productos acabados): obtención del plan maestro detallado

S04	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Necesidades brutas		15	15	15	15	12	13	12	13	10
En almacén	40									
Pendientes		10								
Existencias finales previstas	40	35	20	5	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas					10	12	13	12	13	10
Recepción prevista					10	12	13	12	13	10
<b>Cantidad a pedir</b>				<b>10</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	

S08	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Necesidades brutas		5	5	5	5	4	4	4	3	2
En almacén Pendientes	15	5								
Existencias finales previstas		15	10	5	0	0	0	0	0	0
Necesidades netas						4	4	4	3	2
Recepción prevista						4	4	4	3	2
<b>Cantidad a pedir</b>					<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	

S20	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Necesidades brutas		2	2	3	3	3	4	4	4	5
En almacén Pendientes	10	3	3							
Existencias finales previstas		11	12	9	6	3	0	0	0	0
Necesidades netas							1	4	4	5
Recepción prevista							1	4	4	5
<b>Cantidad a pedir</b>					<b>1</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>		

*Repercusión de las órdenes del nivel 0 en el nivel 1*

*Repercusión en las órdenes de T*

Necesidades brutas de T	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Orden S04 × 4			40	48	52	48	52	40	
Orden S08 × 8				32	32	32	24	16	
Orden S20 × 20				20	80	80	100		
Necesidades brutas			40	100	164	160	176	56	
<b>TOTAL</b> necesidades brutas <b>con mermas</b> = Necesidades brutas/0,90			<b>45</b>	<b>111</b>	<b>182</b>	<b>178</b>	<b>196</b>	<b>62</b>	

<i>T</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Necesidades brutas				45	111	182	178	196	62	
En almacén Pendientes	200									
Existencias finales previstas		200	200	155	44	162	284	88	26	
Necesidades netas						138	16			
Recepción prevista						300	300			
<b>Cantidad a pedir</b>				<b>300</b>	<b>300</b>					

*Repercusión en las órdenes de U*

Necesidades brutas de <i>U</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Orden S04 × 6			60	72	78	72	78	60	
Orden S08 × 12				48	48	48	36	24	
Orden S20 × 30				30	120	120	150		
Necesidades brutas			60	150	246	240	264	84	
<b>TOTAL</b> necesidades brutas <b>con mermas</b> = Necesidades brutas/0,95			<b>63</b>	<b>158</b>	<b>259</b>	<b>253</b>	<b>278</b>	<b>88</b>	

<i>U</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Necesidades brutas				63	158	259	253	278	88	
En almacén Pendientes	600									
Existencias finales previstas		600	600	532	379	120	667	389	301	
Necesidades netas							133			
Recepción prevista							800			
<b>Cantidad a pedir</b>				<b>800</b>						

*Repercusión en las órdenes de V*

Necesidades brutas de V	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Orden S04 × 4			40	48	52	48	52	40	
Orden S08 × 6				24	24	24	18	12	
Orden S20 × 12				12	48	48	60		
Necesidades brutas			40	84	124	120	130	52	
<b>TOTAL</b> necesidades brutas <b>con mermas</b> = Necesidades brutas/0,95			<b>42</b>	<b>88</b>	<b>131</b>	<b>126</b>	<b>137</b>	<b>55</b>	

V	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Necesidades brutas				42	88	131	126	137	55	
En almacén Pendientes	100			400						
Existencias finales previstas		100	100	458	370	239	113	376	321	
Necesidades netas								24		
Recepción prevista								400		
<b>Cantidad a pedir</b>					<b>400</b>					

*Repercusión de las órdenes de nivel 1 en el nivel 2*

*Repercusión en las órdenes de A*

Necesidades brutas de A	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Orden T × 0,8			240	240					
<b>TOTAL</b> necesidades brutas <b>con mermas</b> = Necesidades brutas/0,95			<b>253</b>	<b>253</b>					

<i>A</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Necesidades brutas				253	253					50
En almacén Pendientes	300									
Existencias finales previstas		300	300	47	494	494	494	494	494	
Necesidades netas					206					
Recepción prevista					700					
<b>Cantidad a pedir</b>		<b>700</b>								

*Observación:* En el caso de *A* la existencia final prevista en cada intervalo debe ser igual o mayor al stock de seguridad; en el intervalo 3 es de 47, que podría considerarse admisible.

*Resumen de las cantidades a pedir/fabricar en los distintos períodos*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
S04			10	12	13	12	13	10		
S08				4	4	4	3	2		
S20				1	4	4	5			
<i>T</i>			300	300						
<i>U</i>			800							
<i>V</i>				400						
<i>A</i>	700									

## 4.6. FUNCIONAMIENTO DEL MRP II. DIAGRAMA Y FICHEROS NECESARIOS PARA SU EJECUCIÓN

Con posterioridad al MRP I se desarrolló el MRP II en el cual se tiene en cuenta los requerimientos de tiempos necesarios para realizar los montajes y fabricar los componentes, así como la comparación con las capacidades disponibles, y a la vista de ello tomar las decisiones adecuadas que resulten más económicas para el cumplimiento del programa.

Para calcular los requerimientos de horas de los diferentes medios productivos a lo largo de cada uno de los períodos se multiplicaría la matriz de tiempos unitarios por la matriz obtenida en el apartado anterior (resumen de las cantidades a pedir en los distintos períodos).

En la figura 4.3 puede verse el diagrama de flujo del MRP II.

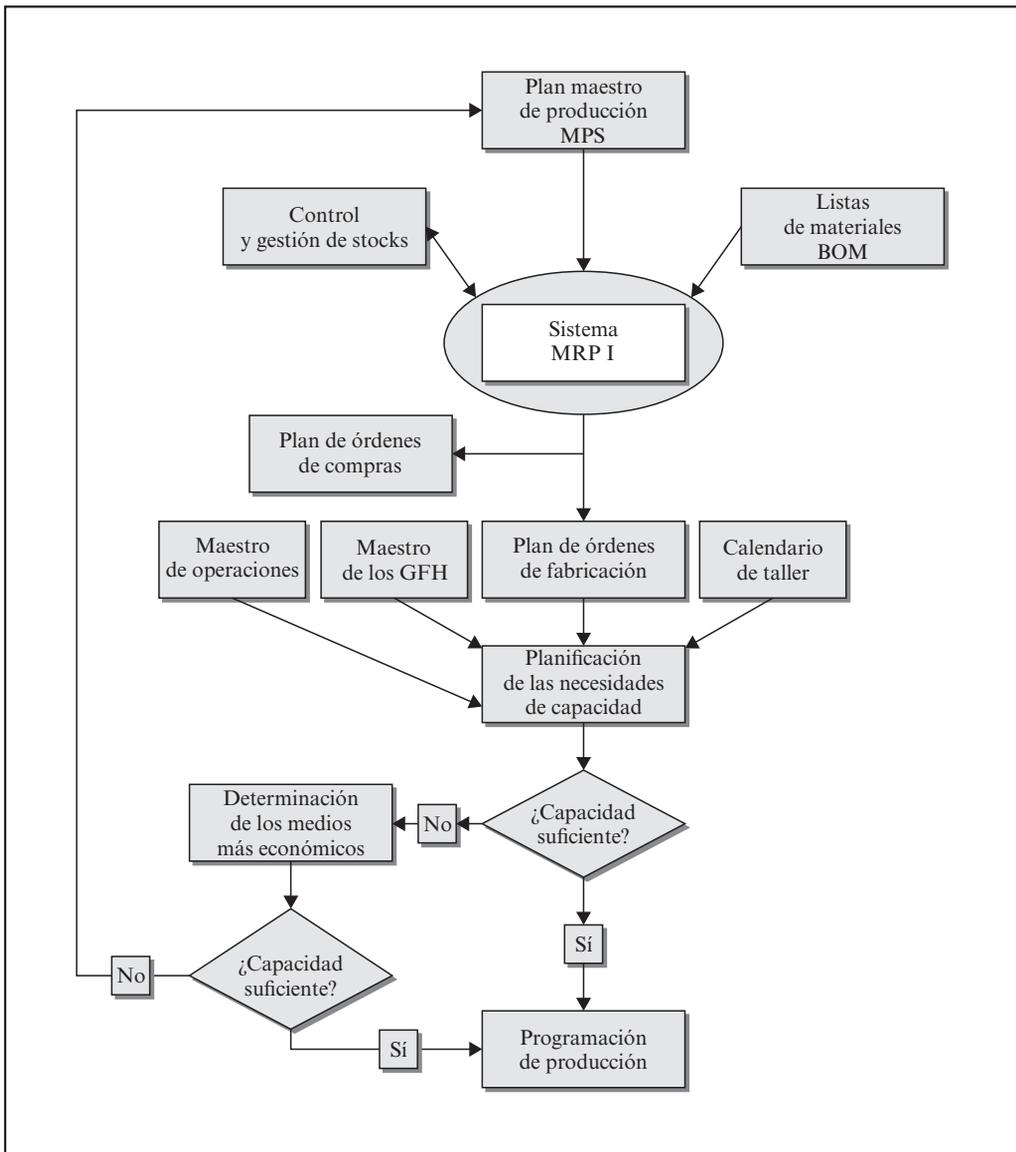


Figura 4.3. Entradas y salidas de un MRP II.

Los ficheros complementarios a los del MRP I indicados en la figura 4.3 necesarios para el MRP II son los siguientes.

- **Maestro de operaciones:** procesos de montaje y de fabricación para todos los productos, subconjuntos y componentes donde se indica el grupo funcional homogéneo

(GFH<sup>2</sup>) donde se realizan las diferentes operaciones, el tiempo de preparación y el unitario de fabricación.

- **Maestro de los GFH:** se indica la capacidad, tasas de funcionamiento, rendimiento, etc., de las diferentes máquinas, así como el personal disponible.
- **Calendario de taller:** se indican los días del calendario anual pactados con el comité de empresa como laborables, así como los acuerdos en cuanto a horas extras.

## 4.7. CUESTIONES A TENER EN CUENTA EN LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DISPONIBLE

Hasta ahora hemos considerado que la capacidad disponible en el caso de trabajar a un solo turno una persona en una máquina durante un mes de 20 días laborables a 8 horas cada día era de  $20 \times 8 = 160$  horas.

Realmente en la práctica no todas esas horas son aprovechadas, por los siguientes motivos:

- Paradas planificadas (ajustes de producción, grandes paradas).
- Paros por cambios de preparación y averías.
- Microfallos y bajas de rendimiento.
- Piezas defectuosas.

Veamos todos estos aspectos mediante lo que se llama *tasa de rendimiento sintético* en el siguiente apartado.

### 4.7.1. Tasa de rendimiento sintético (TRS)

El TRS es empleado para medir la efectividad global del equipo.

Comencemos clarificando el concepto de eficiencia o productividad, el cual puede expresarse por el ratio:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Lo obtenido}}{\text{Lo consumido}}$$

---

<sup>2</sup> GFH es un conjunto de máquinas que pueden no ser idénticas, pero que pueden realizar el mismo tipo de trabajo, aunque la producción horaria obtenida puede ser diferente según el tipo de pieza que se fabrica.

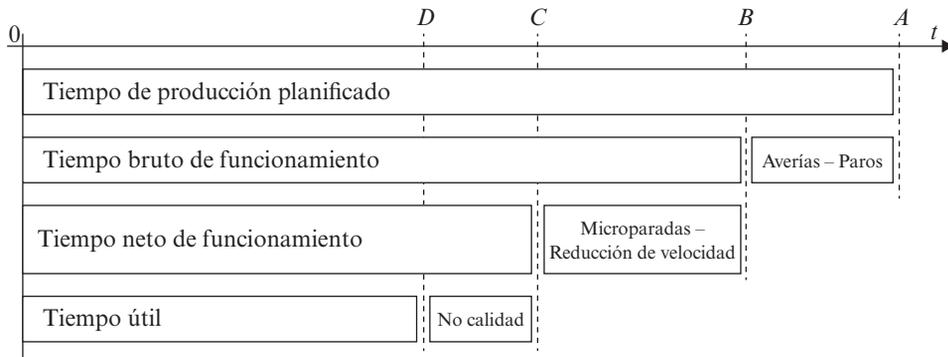
Lo obtenido se entiende ha de ser lo bueno, lo que es vendible; referida la eficiencia al recurso horas de máquina, se expresaría así:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Número piezas buenas} \times \text{Ciclo unitario}}{\text{Tiempo total consumido}}$$

Para ver la afectación de los distintos factores que inciden en la eficiencia expresaremos la tasa de rendimiento sintético como producto de tres tasas: la de **funcionamiento**, la de **rendimiento** y la de **calidad**.

Siendo:

- A*: Tiempo de producción planificado (tiempo total de ocupación de la máquina para realizar el trabajo) obtenido de restar al tiempo de producción teórico o de presencia (consumido) las paradas planificadas (ajustes de producción, grandes paradas).
- B*: Tiempo bruto de funcionamiento, obtenido restando al anterior los tiempos de paros por averías y de preparación de cambios y ajustes.
- C*: Tiempo neto de funcionamiento, obtenido restando del anterior los tiempos de microparadas y la reducción de velocidad.
- D*: Tiempo útil, obtenido restando del anterior el tiempo que se ha utilizado en fabricar la no-calidad (piezas rechazadas, retocadas, etc.); o lo que es lo mismo, multiplicando el número de piezas buenas obtenidas por el ciclo unitario.



La tasa de **funcionamiento** =  $B/A$

La tasa de **rendimiento** =  $C/B$

La tasa de **calidad** =  $D/C$

La tasa de **rendimiento sintético** se calcula como producto de las tres:

$$\text{TRS} = \frac{B}{A} \times \frac{C}{B} \times \frac{D}{C}$$

De esta manera se puede medir la incidencia de las tres por separado, lo que ayuda en la mejora. Así:

- Para **mejorar la tasa de funcionamiento** (o disponibilidad): se aconseja realizar el análisis separando lo que son tiempos de cambios (la mejora habrá que buscarla en las técnicas de cambios rápidas) de los que son de averías o mantenimiento (que llevará a repasar el sistema de mantenimiento; tiempos, eficacia del personal, grado de entendimiento entre producción y mantenimiento, etc.).
- Para **mejorar la tasa de rendimiento**: separar los tiempos de bajo rendimiento imputables al personal (interés, deficiente formación, inadaptación, etc.) de los pequeños fallos (correas destensadas, fusibles...) que producen paros sistemáticos injustificados.
- Para **mejorar la tasa de calidad**: con un sistema eficaz de gestión de calidad.

Para calcular la eficiencia, o lo que es lo mismo la productividad, hemos de considerar que el tiempo de producción planificado se obtiene de restar al tiempo de producción teórico o de presencia (consumido) el tiempo de las paradas planificadas (ajustes de producción, grandes paradas), con lo que obtendríamos un coeficiente de planificación de paradas:

$$(Pf) = \text{Tiempo de producción planificado} / \text{Tiempo de producción teórico (consumido)}.$$

Así pues, tendremos que  $\text{productividad} = \text{TRS} \times Pf$ .  
Veamos a continuación un ejemplo de cálculo del TRS.

---

### EJEMPLO

Calcular la tasa de rendimiento sintético conocidos los siguientes datos:

- Horas de trabajo por día: 8 h  $\Rightarrow$  480 minutos.
- Tiempo de parada planificada por día (mantenimiento programado y otros propósitos): 20 minutos.
- Pérdidas de parada por día:
  - Averías: 20 minutos.
  - Cambios de utillajes: 40 minutos.
- Producción diaria: 700 ítems.
- Defectuosos: 8 ítems.
- Tiempo de ciclo teórico: 0,5 minutos/ítem.

**Resolución**

El tiempo de producción planificado  $TA = 480 - 20 = 460$  minutos.

El tiempo bruto de funcionamiento  $TB = 460 - (20 + 40) = 400$  minutos.

Tiempo útil  $TD = (700 - 8) \times 0,5 = 346$  minutos.

Tiempo neto de funcionamiento  $TC = TD + 8 \times 0,5 = 350$  minutos.

$8 \times 0,5 = 4$  minutos, es la afectación de que salgan piezas defectuosas.

$$TRS = \frac{400}{460} \times \frac{350}{400} \times \frac{346}{350} = 75\%$$

### 4.7.2. Afectación de que salgan piezas defectuosas

En el apartado 4.5.7 pudimos ver la necesidad de tener éstas en cuenta en lo que se refiere a pérdidas de material, pero también debe tenerse en cuenta que, además, se pierde el tiempo invertido por la mano de obra y las máquinas.

**EJEMPLO**

La fabricación de una pieza incluye cuatro operaciones cuyas producciones por hora y tiempo unitario se indican en la tabla. La pieza tiene una especial dificultad con independencia de los tipos de máquinas utilizados.

Como puede verse, en la 1.<sup>a</sup> operación se mecanizan 100 piezas de las cuales salen 80 buenas, que son las que pasan a la siguiente operación, de las cuales salen 70 buenas, y así sucesivamente hasta que al final salen sólo 50 buenas.

	Trabajo	Buenas	Mermas	Tiempo	Producción horaria
1. <sup>a</sup> operación	100	80	20	1 minuto	60
2. <sup>a</sup> operación	80	70	10	1 minuto	60
3. <sup>a</sup> operación	70	60	10	1 minuto	60
4. <sup>a</sup> operación	60	50	10	1 minuto	60
TOTAL				4 minutos	

Puede verse que para que al final salgan 100 piezas buenas se habría de comenzar con 200 piezas y, por tanto, en la 1.<sup>a</sup> operación se emplearían 200 minutos, es decir, 2 minutos

por pieza buena al final, en la 2.<sup>a</sup> operación serían 1,6 minutos, en la 3.<sup>a</sup> serían 1,4 minutos y en la 4.<sup>a</sup> operación 1,2 minutos.

$$(100/50) + (80/50) + (70/50) + (60/50) = 2 + (1,6) + (1,4) + (1,2) = \\ = 6,2 \text{ minutos por pieza buena}$$

Puede verse que el total de tiempo productivo requerido será de 6,2 minutos en vez de 4.

---

### 4.7.3. Consideraciones respecto a la forma de tener en cuenta las pérdidas de efectividad del equipo

Hemos visto que uno de los factores es la **tasa de funcionamiento**, la cual está influenciada básicamente por las pérdidas de tiempo en *preparación de la máquina* y también por las *averías*.

En cuanto al tiempo de preparación de una misma máquina, queremos destacar que éste puede ser muy diferente según sea el tipo de pieza a fabricar. Luego la tasa de funcionamiento puede variar notablemente en función del «mix» de piezas a fabricar, así como por el tamaño de los lotes.

En cuanto a los paros por averías, pero también por accidentes o falta de material, éstos podrían ser considerados independientes del tipo de pieza a fabricar.

En lo que respecta a la **tasa de rendimiento** de la máquina, factores debidos a las micro-paradas y pérdidas por reducción de velocidad podrían considerarse independientes del tipo de pieza a fabricar.

En lo que respecta a la **tasa de calidad**, no cabe la menor duda de que ésta debería ser tenida en cuenta aplicándola directamente a cada pieza en función de su dificultad.

*Resumiendo:* Proponemos lo siguiente: al calcular la **capacidad disponible** de una máquina tendremos en cuenta, además de las paradas planificadas, la tasa de funcionamiento y la tasa de rendimiento, mientras que la tasa de calidad sería tenida en cuenta aplicando en cada pieza el factor de mermas al ciclo unitario según lo visto en el apartado 4.7.2. y basándose en ello calcular la **carga de trabajo** (tiempo neto de funcionamiento requerido).

## 4.8. DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE TRABAJO

En el apartado 4.5.7 y aplicado a un ejemplo de planificación de tres productos se determinaron las cantidades a pedir en cada período, que son las indicadas en la siguiente tabla:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
S04			10	12	13	12	13	10		
S08				4	4	4	3	2		
S20				1	4	4	5			
<i>T</i>			300	300						
<i>U</i>			800							
<i>V</i>				400						
<i>A</i>	700									

Se trata de determinar la carga de trabajo a que dan lugar.

En este ejemplo, los tres productos y el componente *T* originan cargas de trabajo, el resto son de adquisición externa.

Veamos los tiempos unitarios en horas requeridos, que expresamos en forma de tabla:

	S04	S08	S20	<i>T</i>	Factor mermas		<i>T</i> (teniendo en cuenta las mermas)
					Operac.	Acum.	
Montaje	5	10	15				
Taladros				0,10	0,90	0,77	0,13
Roscadoras				0,20	0,95	0,85	0,24
Pintado				0,16	0,90	0,90	0,18

Multiplicando los tiempos unitarios por las cantidades a fabricar en cada período obtendremos la carga de trabajo:

Carga (horas)	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Montaje			50	115	165	160	170	70	
Taladros			39	39					
Roscadoras			71	71					
Pintado			53	53					
Total			213	278	165	160	170	70	1.056

*Observación:* Las horas de carga de trabajo en taladros, roscadoras y pintado que aparecen en los períodos 3 y 4, corresponden a las 300 unidades del componente *T* que deben estar disponibles para los períodos 5 y 6.

Si se considerara que, por ser una distribución mixta, el decalaje entre taladros y roscadoras (que trabajan en línea) respecto a la sección de pintado es de un período, resultaría que realmente la carga de 53 horas de pintado en el período 3 serían ejecutadas en el período 4 y las 53 horas del período 4 pasarían al período 5.

Para resolver esto, habría que introducir, una vez calculada la carga, el decalaje entre centros de trabajo.

La carga quedaría como se indica a continuación:

Carga (horas)	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Montaje			50	115	165	160	170	70	
Taladros			39	39					
Roscadoras			71	71					
Pintado				53	53				
Total			160	278	218	160	170	70	1.056

## 4.9. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DISPONIBLE

En cada taller hay un operario, y se dispone de un taladro, una roscadora y una instalación de pintado. A la semana se trabajan 40 horas a turno de mañanas, aunque el personal está dispuesto a hacer horas extras por la tarde en caso necesario y es multifuncional (por ejemplo, todos podrían realizar trabajo de montaje).

Las paradas planificadas está previsto hacerlas los fines de semana cuando ello sea necesario.

La carga actual (operaciones pendientes de realización) en los puestos de trabajo es la indicada en la siguiente tabla:

Carga actual (horas)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Montaje	80	100							
Taladros									
Roscadoras									
Pintado									
Total	80	100							

A continuación pueden verse cuáles son las tasas de funcionamiento y rendimiento de cada uno de los puestos de trabajo:

	Tasa funcionamiento	Tasa rendimiento	Tasa global
Montaje	0,92	0,95	0,87
Taladros	0,90	0,98	0,88
Roscadoras	0,88	0,87	0,77
Pintado	0,89	0,95	0,85

Las horas netas de funcionamiento previstas (capacidad disponible) las obtenemos multiplicando las horas de presencia por la tasa global, con lo que por semana en horario laboral normal tendríamos en cada puesto las siguientes horas de trabajo de capacidad:

	Horas presencia	Tasa global	Capacidad total
Montaje	40	0,87	35
Taladros	40	0,88	35
Roscadoras	40	0,77	31
Pintado	40	0,85	34

La capacidad total por períodos sería la siguiente:

Capacidad total	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Montaje	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Taladros	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Roscadoras	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Pintado	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Total	135	135	135	135	135	135	135	135	135

Restando a la capacidad total la carga actual, tendremos la capacidad disponible:

Capacidad disponible	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Montaje	-45	-65	35	35	35	35	35	35	35	
Taladros	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Roscadoras	31	31	31	31	31	31	31	31	31	
Pintado	34	34	34	34	34	34	34	34	34	
Total	55	35	135	135	135	135	135	135	135	1.035

## 4.10. CARGA DE TRABAJO *VERSUS* CAPACIDAD DISPONIBLE

Restando de la carga de trabajo calculada (apartado 4.8) la capacidad disponible tendremos las faltas o sobrantes de capacidad (signo negativo) por períodos.

Déficit de capacidad (horas)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Montaje	45	65	15	80	130	125	135	35	-35
Taladros	-35	-35	4	4	-35	-35	-35	-35	-35
Roscadoras	-31	-31	40	40	-31	-31	-31	-31	-31
Pintado	-34	-34	-34	19	19	-34	-34	-34	-34
Total	-55	-35	25	143	83	25	35	-65	-135

Analizando semana a semana y por puestos de trabajo observamos que se originan sobrantes y faltas de capacidad; es ahora cuando podría plantearse la forma de asignar el personal reforzando los puestos de trabajo que lo precisen ya sea con doble turno, realizando horas extras o acumulando stocks para las semanas posteriores, de forma que resultara lo más económico (el método de Bowman explicado en el apartado 3.4 podría ser de utilidad).

## 4.11. POSTPONEMENT

El postponement (también conocido como producción en masa personalizada) se basa en la manera de actuar utilizada en el caso 3.º descrito en el punto 4.2: «Fabricación para stocks y montaje bajo pedido» consiste en pasar algunas operaciones de fabricación al almacén de distribución (tal como hace **Hewlett Packard** con las impresoras, posponiendo la

conexión eléctrica y los manuales) o a casa del cliente (tal como hace **Cisco** con los servidores posponiendo algún *software* específico), y hacerlas en el momento de preparación del pedido cuando ya se conocen los requerimientos específicos.

La idea es tener módulos independientes recombinables, de manera que la oferta sea mucho más amplia, entregas más rápidas y con menores stocks.

**Peguform Ibérica** suministra parachoques a SEAT, tiene un centro logístico de consolidación en Martorell junto a la planta de SEAT, donde tiene un stock de dos días de producción por requerimientos del cliente.

La planta de producción está en Polinya, a 35 km, desde donde se envían los parachoques secuenciados. Cada tipo de parachoques tiene las siguientes variantes: color, montar o no faros antiniebla, dos tipos diferentes de parrilla; las operaciones, de montaje de faros y la soldadura de la parrilla se hacen en el centro de consolidación en el momento de la preparación de cada pedido, ello permite que un mismo parachoques se pueda convertir en cuatro tipos de producto diferentes en función del pedido de cada momento, y, por tanto, el stock solamente por colores puede ser reducido sin poner en peligro el servicio.

## 4.12. PLANIFICACIÓN DE RECURSOS EMPRESARIALES (ERP)

Los resultados del sistema MRP pueden utilizarse como base para la planificación de casi todas las actividades globales de la empresa, incluyendo necesidades de marketing, finanzas, ingeniería y recursos humanos. Esto ha llevado al desarrollo de sistemas bastante completos y sofisticados durante los últimos años.

Primero vino la generación del MRP I (planificación de materiales), que evolucionó después a lo que se denomina MRP II (o planificación de recursos de manufactura; posteriormente estos sistemas continuaron evolucionando hasta llegar a lo que generalmente se conoce como «ERP» (por las siglas en inglés de *Enterprise Resource Planning*) o sistema de planificación de recursos empresariales.

La premisa básica del ERP es que los planes de producción de la compañía deriven de (o tracen las directrices de) las decisiones de prácticamente todas las demás partes de la compañía. En otras palabras, ninguna área funcional en una compañía puede, ni debe, operar de manera aislada.

Estos sistemas no sólo están integrados, sino que por lo general utilizan una base de datos común, con lo que la información clave utilizada para tomar las decisiones de la empresa se encontrará igualmente disponible para todas las funciones clave.

Las características que distinguen a un ERP de cualquier otro software empresarial es que deben ser sistemas integrales, con modularidad y adaptables:

- **Integrales.** Porque permiten que todos los departamentos de una empresa se relacionen entre sí, es decir, que el resultado de un proceso es punto de inicio del siguiente. Por ejemplo, en una compañía, el que un cliente haga un pedido representa que se cree una orden de venta que desencadena el proceso de producción, de control de inventarios, de planificación de distribución del producto, cobro y, por supuesto, sus

respectivos movimientos contables. Si la empresa no usa un ERP, necesitará tener varios programas que controlen todos los procesos mencionados

- **Modulares.** Una ventaja de los ERP, tanto económica como técnica, es que la funcionalidad se encuentra dividida en módulos, los cuales pueden instalarse de acuerdo con los requerimientos del cliente. Ejemplo: ventas, materiales, finanzas, control de almacén, producción, etc.
- **Adaptables.** Los ERP están creados para adaptarse a la idiosincrasia de cada empresa.

Hay programas basados en múltiples aplicaciones (denominados comúnmente *suites*) independientes o modulares que duplican la información (aun cuando la enlacen automáticamente) o no la centralizan en una única base de datos.

El saber si una empresa necesita o no un ERP o una simple suite de gestión es otro asunto; así, por ejemplo, un ERP es vital para una empresa en que una gran parte de los procesos de negocio dependan de la cadena de abastecimiento y su logística asociada, pero puede no serlo tanto para otra que necesite únicamente automatizar una parte de sus procesos de negocio. El que la primera debe utilizar un ERP es claro, que a la segunda le baste una suite de gestión más simple puede ser más discutible.

A pesar de las ventajas obvias que un sistema integrado como éste puede ofrecer, su implementación exitosa puede convertirse en un mayor reto que la de un sistema menos integrado ya que implica la necesidad de llevar a cabo un análisis detallado de todos los procesos.

Aplicar un sistema ERP es costoso, considerando que el coste real del *software* por lo general representa de una tercera a una cuarta parte del coste total.

La utilización de estos sistemas no siempre resulta satisfactoria. Una encuesta realizada por la Harvard Business School descubrió que había un porcentaje elevado de ejecutivos que expresaban opiniones negativas sobre el *software* ERP. La misma encuesta demostró que muchas de las compañías habían excedido los costes y fechas de implantación previstas y no habían obtenido los beneficios esperados.

A pesar de las reservas que despiertan los ERP, casi todas las compañías encuestadas por Harvard demostraron interés en su implantación por estandarizar y mejorar los procesos, por integrar los sistemas y por mejorar la calidad de la información.

## RESUMEN

**Las siglas MRP** corresponden a las palabras inglesas Material Requirements Planning (planificación de necesidades materiales); suele añadirse un «I» para distinguirlo del Manufacturing Resource Planning (MRP II).

El MRP I **consiste esencialmente** en el cálculo de las necesidades netas de los, subconjuntos, componentes y materias primas por períodos, partiendo de las necesidades netas por períodos de los productos acabados, es decir, del PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN (PMP).

**Los ficheros necesarios para la ejecución del MRP I son:**

- PMP o plan maestro de producción. Nos dice qué productos finales hay que fabricar y en qué período.
- BOM o lista de materiales, que indica de qué partes o componentes está formada cada unidad y permite conocer las cantidades de cada componente que hay que fabricar o comprar.
- Situación o estado del stock, cantidades disponibles de cada artículo en los diferentes intervalos de tiempo y, por diferencia, las cantidades que deben comprarse o fabricarse.
- Plazos de entrega de proveedor y de fabricación.
- Cantidades mínimas a fabricar de cada referencia (lotificación).
- Stock de seguridad de cada referencia al final de cada período.

**Las técnicas de lotificación empleadas en el MRP son las siguientes:**

- Pedidos lote a lote, mínimo coste unitario, mínimo coste total, lote económico, método de Silver Meal, máximos y mínimos, múltiplos.

**Describimos el funcionamiento del MRP I mediante los siguientes pasos:**

1. Determinación matricial de la estructura de los productos, de la demanda, de los stocks inicial y final.
2. Determinación de las necesidades netas de los productos y componentes fabricados.
3. Determinación de las necesidades netas de los componentes comprados y de la materia prima teniendo en cuenta el efecto lotificación.
4. Efecto de la lotificación de los productos y de los componentes fabricados.
5. Afectación de las mermas.
6. Determinación de los requerimientos netos por períodos teniendo en cuenta el decalaje por los plazos de fabricación y de entrega de los componentes comprados y de la materia prima.

### Funcionamiento del MRP II

Con posterioridad al MRP I se desarrolló el MRP II en el cual se tiene en cuenta los requerimientos de tiempos necesarios para realizar los montajes y fabricar los componentes, así como la comparación con las capacidades disponibles y a la vista de ello tomar las decisiones adecuadas que resulten más económicas para el cumplimiento del programa.

### Los ficheros complementarios a los del MRP I

- **Maestro de operaciones:** Procesos de montaje y de fabricación para todos los productos, subconjuntos y componentes donde se indica el grupo funcional homogéneo (GFH) donde se realizan las diferentes operaciones, el tiempo de preparación y el unitario de fabricación.
- **Maestro de los GFH:** Se indica la capacidad, tasas de funcionamiento, rendimiento, etc., de las diferentes máquinas, así como el personal disponible.
- **Calendario de taller:** Se indican los días del calendario anual pactados con el comité como laborables, así como los acuerdos en cuanto a horas extras.

**Un procedimiento para la determinación del plan más económico teniendo en cuenta que la capacidad es finita es mediante el método de BOWMAN.**

Es un procedimiento para **suavizar la producción** durante el período de planeamiento, basado en que los recursos son limitados (capacidad finita) y que, por tanto, no pueden asumir una carga infinita en un período determinado, intentando equilibrar los costes de stocks y el tiempo extra de los centros de trabajo.

**Las cuestiones a tener en cuenta en la determinación de la capacidad disponible**

En la práctica no todas las horas de presencia son aprovechadas, por los siguientes motivos:

- Paradas planificadas (ajustes de producción, grandes paradas).
- Paros por cambios de preparación y averías.
- Microfallos y bajas de rendimiento (velocidad, etc.).
- Piezas defectuosas.

Vemos todos estos aspectos mediante lo que se llama tasa de rendimiento sintético en el siguiente apartado.

**La tasa de rendimiento sintético (TRS)**

Es empleado para medir la efectividad global del equipo.

Para ver la afectación de los distintos factores que inciden en la eficiencia expresaremos la tasa de rendimiento sintético como producto de tres tasas: la de **funcionamiento**, la de **rendimiento** y la de **calidad**.

**Para calcular la capacidad disponible** de una máquina tendremos en cuenta, además de las paradas planificadas, la tasa de funcionamiento y la tasa de rendimiento, mientras que la tasa de calidad sería tenida en cuenta aplicando en cada pieza el factor de mermas al ciclo unitario y basándose en ello **calcular la carga de trabajo** (tiempo neto de funcionamiento requerido).

**Consideraciones en la planificación de la producción en empresas que montan bajo pedido y producen para stocks con opciones**

Lo que se hace es una sola predicción de la demanda para ese modelo de producto y un plan maestro, se utilizan los porcentajes históricos de venta de cada opción (modificada o no según últimas tendencias), entonces de las opciones que requieren fabricarse previamente se harán planes maestros para así tener stocks y poder hacer combinaciones cuando se reciba el pedido del cliente.

## CUESTIONES

1. Describir en qué consiste el MRP I.
2. Identificar los ficheros necesarios para su ejecución.
3. Describir el funcionamiento del MRP I: pasos a seguir.
4. Describir el funcionamiento del MRP II.
5. Identificar los ficheros complementarios necesarios para el desarrollo del MRP II.
6. Describir en qué consiste el método de Bowman.
7. Cuestiones a tener en cuenta para la determinación de la capacidad disponible.
8. Describir en qué consiste la tasa de rendimiento sintético TRS.
9. ¿Qué factores afectan para la determinación de la capacidad disponible?
10. Calcular cómo afectan las mermas en la determinación de las cargas de trabajo.
11. Determinar cantidades que en cada período se deben empezar a montar del producto *X*; las necesidades brutas en los períodos correspondientes y el stock inicial ya están indicados. El **plazo de fabricación es de 2 períodos** y el **lote de fabricación** ha de ser **múltiplo de 60** unidades.

Producto <i>X</i>	0	1	2	3	4	5	6
Necesidades brutas		50	45	100		60	100
Recepción prevista							
Stock esperado	100						
Necesidades netas							
Lanzamientos							

12. Se desea determinar los períodos de lanzamiento de los productos *A1*, *A2* y del subconjunto *M3* (necesario en cantidad de 1 para el producto *A1* y en cantidad de 2 para el *A2*). Para ello se dispone de los siguientes datos:
  - La entrega de las 300 unidades del artículo *A1* se realizará: 50 unidades en el período 1; 100 unidades en el período 4, y 150 unidades en el período 6.
  - La entrega de las 150 unidades del artículo *A2* se realizará: 25 unidades en el período 2; 25 unidades en el período 4; 50 unidades en el período 5, y 50 unidades en el período 6.
  - Los stocks disponibles inicialmente de los artículos *A1*, *A2* y del subconjunto *M3*, así como el número de períodos necesarios para su producción y el tamaño de los lotes de fabricación, se dan en la siguiente tabla:

	Stock disponible	Plazo de fabricación	Unidades por lote de fabricación
<b>A1</b>	75 unidades	2 períodos	Han de ser múltiplos de 60 unidades
<b>A2</b>	30 unidades	3 períodos	Han de ser múltiplos de 30 unidades
<b>M3</b>	150 unidades	1 período	Han de ser múltiplos de 75 unidades

¿En qué períodos y en qué cantidades se han de realizar los lanzamientos de las órdenes de producción de **A1**, **A2** y **M3**?

Producto <b>A1</b>	0	1	2	3	4	5	6
Necesidades brutas							
Recepción prevista							
Stock esperado							
Necesidades netas							
Lanzamientos							

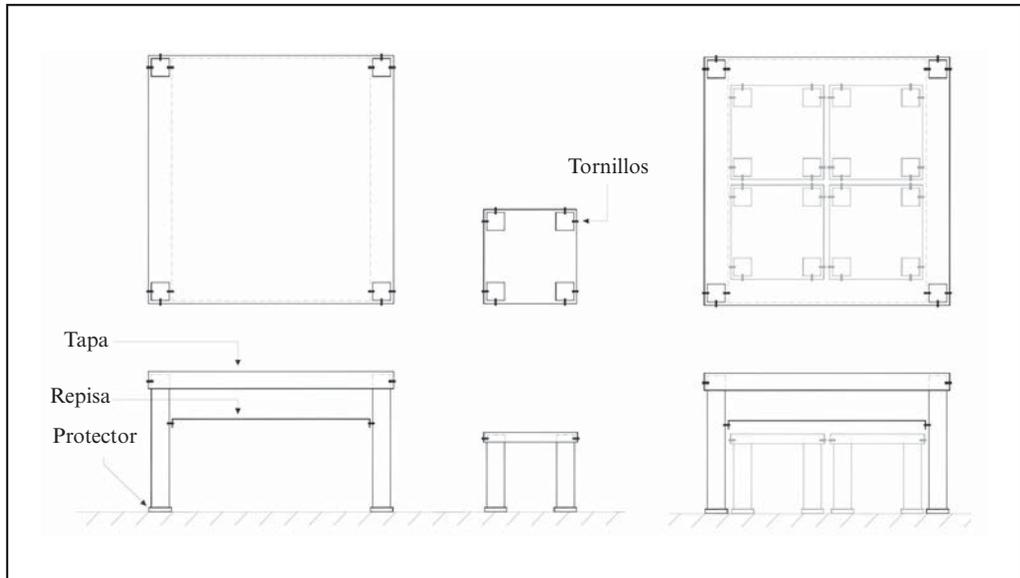
Producto <b>A2</b>	0	1	2	3	4	5	6
Necesidades brutas							
Recepción prevista							
Stock esperado							
Necesidades netas							
Lanzamientos							

Subconjunto <b>M3</b>	0	1	2	3	4	5	6
Necesidades brutas							
Recepción prevista							
Stock esperado							
Necesidades netas							
Lanzamientos							

13. Realizar la planificación de la producción utilizando el MRP, en una empresa dedicada a la fabricación de **mesas metálicas con cuatro taburetes**.

Dicha mesa tiene que mantener unas dimensiones idóneas para poder albergar debajo de la repisa hasta 4 taburetes.

El dibujo de la mesa y los taburetes es indicado a continuación:



Para realizar la planificación hay que seguir los siguientes pasos:

- 1.º Dibujar la carta de explosión.
- 2.º Determinar las cantidades a fabricar y pedir por períodos y total.
- 3.º Determinar la nueva carga de trabajo ocasionada por períodos y total.
- 4.º Determinar, mediante el método de Bowman, el plan de producción más económico para las prensas de doblar para satisfacer las necesidades de horas de trabajo por quincenas suponiendo que, expresadas en horas, fuesen las siguientes:

$$M_T =$$

	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>	Total
<i>PD</i>	—	165	105	165	—	—	—	435

*Observación:* La carga de trabajo pendiente absorbe la capacidad de la 1.<sup>a</sup> quincena.

Se dispone de 1 máquina y de dos operarios. El número de horas de trabajo por quincena en horario laboral por máquina es de: 10 días × 8 horas = 80 horas. En quincenas punta podrían realizarse hasta dos horas extras por operario y día laborable.

## Gestión de la producción en la empresa. Planificación, programación y control

Se sabe que el extracoste de la hora extra es de 2 u.m., y que el coste de posesión de stock durante una quincena de lo elaborado durante una hora de trabajo es de 0,20 u.m.

La tasa de funcionamiento es 0,90; la tasa de rendimiento es 0,92.

Las listas de material, plazos de fabricación/entrega, tipo de lotificación, cantidad del lote y tiempos unitarios se indican a continuación:

Lista de material mesa			Lista de material taburete		
Referencia	Descripción	Cantidad	Referencia	Descripción	Cantidad
<i>a</i>	Patas	4	<i>f</i>	Patas	4
<i>b</i>	Tapa	1	<i>g</i>	Tapa	1
<i>c</i>	Repisa	1	<i>d</i>	Tornillos	8
<i>d</i>	Tornillos	12	<i>e</i>	Protector	4
<i>e</i>	Protector	4			

### Productos y componentes

Referencia	Descripción	Cantidad m <sup>2</sup>	Material	Plazo	Tipo (*) lotificación	Lote mínimo
<i>M</i>	Mesa			1	1	
<i>T</i>	Taburete			1	1	
<i>a</i>	Pata mesa	0,1	Lámina de aluminio	1	2	1.000
<i>b</i>	Tapa mesa	0,8	Lámina de aluminio	1	2	200
<i>c</i>	Repisa	0,7	Lámina de aluminio	1	2	200
<i>f</i>	Pata taburete	0,04	Lámina de aluminio	1	2	2.000
<i>g</i>	Tapa taburete	0,2	Lámina de aluminio	1	2	500
<i>d</i>	Tornillos			2	2	22.000
<i>e</i>	Protector			2	2	10.000
<i>h</i>	Lámina aluminio			3	2	750

(\*) 1: Tamaño del lote = necesidad neta. 2: Lote mínimo; si la necesidad es mayor, el tamaño del lote = necesidad neta.

Departamento	Hoja operaciones	Utillaje	Tiempo (min.)
<i>M</i>	Montaje mesa		2
<i>M</i>	Montaje taburete		1
<i>PE</i>	Estampar pata mesa	<i>E1</i>	0,20
<i>PE</i>	Estampar tapa mesa	<i>E2</i>	0,30
<i>PE</i>	Estampar repisa	<i>E3</i>	0,25
<i>PE</i>	Estampar pata taburete	<i>E4</i>	0,20
<i>PE</i>	Estampar tapa taburete	<i>E5</i>	0,25
<i>PD</i>	Doblar pata mesa	<i>D1</i>	0,40
<i>PD</i>	Doblar tapa mesa	<i>D2</i>	0,60
<i>PD</i>	Doblar repisa	<i>D3</i>	0,40
<i>PD</i>	Doblar pata taburete	<i>D4</i>	0,40
<i>PD</i>	Doblar tapa taburete	<i>D5</i>	0,50

La demanda prevista es la siguiente:

	1. <sup>a</sup> quincena	2. <sup>a</sup> quincena	3. <sup>a</sup> quincena	4. <sup>a</sup> quincena	5. <sup>a</sup> quincena	6. <sup>a</sup> quincena
<b>Mesas</b>	125	125	100	100	125	125
<b>Taburetes</b>	500	500	400	400	500	500

El stock de seguridad deseado al final de cada quincena:

Mesa	50
Taburete	200
Pata mesa	200
Tapa mesa	100
Repisa	50
Tornillos	10.000
Protector	2.000
Pata taburete	500
Tapa taburete	150
Lámina metálica	1.000

*Gestión de la producción en la empresa. Planificación, programación y control*

Las existencias iniciales disponibles:

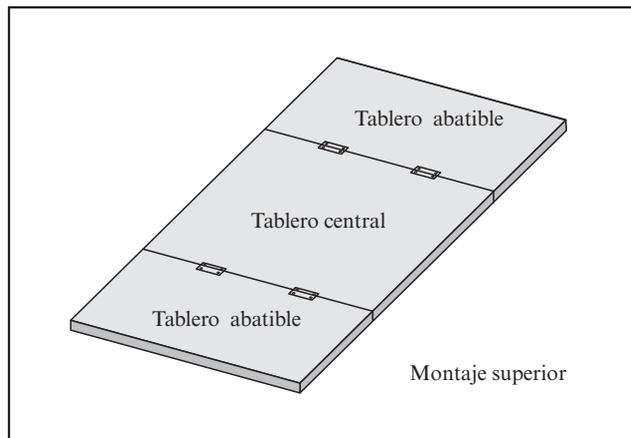
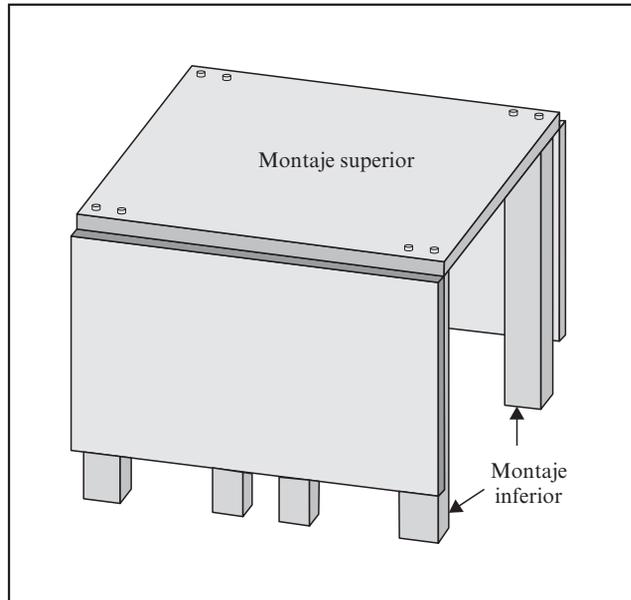
Mesa	100
Taburete	400
Pata mesa	400
Tapa mesa	175
Repisa	125
Tornillos	15.000
Protector	3.000
Pata taburete	1.800
Tapa taburete	470
Lámina metálica	1.200

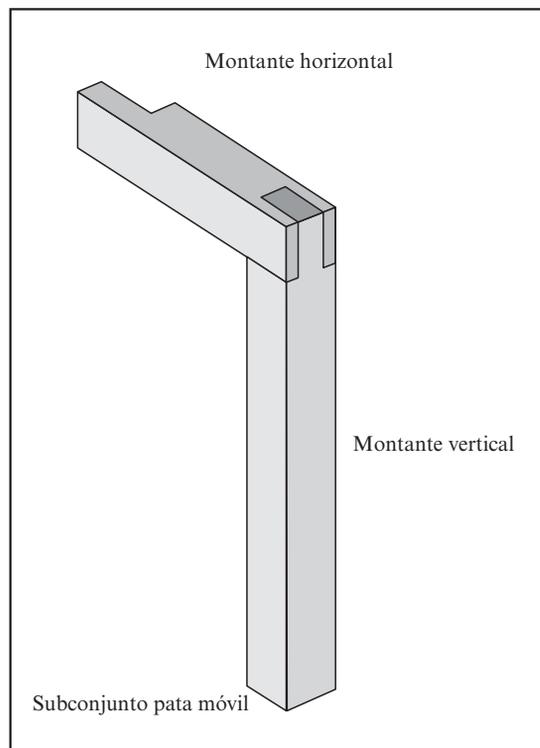
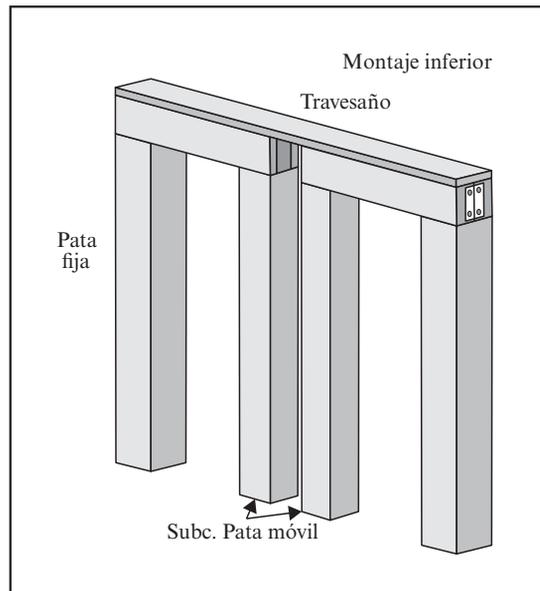
Los pedidos y órdenes de fabricación pendientes de recibir:

	1. <sup>a</sup> quincena	2. <sup>a</sup> quincena	3. <sup>a</sup> quincena	4. <sup>a</sup> quincena	5. <sup>a</sup> quincena	6. <sup>a</sup> quincena
<b>Mesa</b>	125	125	0	0	0	0
<b>Taburete</b>	400	400	0	0	0	0
<b>Pata mesa</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Tapa mesa</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Repisa</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Tornillos</b>	5.000	5.000	5.000	5.000	0	0
<b>Protector</b>	1.250	1.250	1.250	1.250	0	0
<b>Pata taburete</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Tapa taburete</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Lámina metálica</b>	0	750	0	750	0	0

14. Realizar la planificación de la producción utilizando el MRP en una empresa dedicada a la fabricación de **mesas con montantes abatibles**.

Los dibujos de conjunto de la mesa y de los diferentes componentes son los indicados a continuación:





Para realizar la planificación hay que seguir los siguientes pasos:

- 1.º Dibujar la carta de explosión.
- 2.º Determinar las cantidades a fabricar y pedir por períodos y total.
- 3.º Determinar la nueva carga de trabajo ocasionada por períodos y total.
- 4.º Determinar el plan más económico a seguir en el departamento de montaje donde se dispone en la actualidad de 7 operarios (en el supuesto de que la carga de trabajo calculada en lugar de minutos fuesen horas) (resuelto por Bowman).

Los días laborables son:  $E = 20$ ;  $F = 18$ ;  $M = 20$ ;  $A = 20$ ;  $M = 20$ .

Las horas de trabajo/día/operario son 8. El coeficiente de productividad es 0,9375.

El número de horas extras que como máximo están dispuestos a trabajar los operarios es de 2h/día/operario.

El extracoste por hora extra es de 2 u.m. y el coste de posesión de stock correspondiente a una hora de trabajo/mes es de 0,10 u.m.

Las listas de material, plazos de fabricación/entrega, tipo de lotificación, cantidad del lote y tiempos unitarios se indican a continuación.

*Lista de materiales mesa abatible: MA*

Referencia	Descripción	Cantidad	Referencia	Descripción	Cantidad
<i>MA</i>	<b>Montaje final</b>		<i>MI</i>	<b>Montaje inferior</b>	
<i>MS</i>	Montaje superior	1	<i>PF</i>	Pata fija mesa	2
<i>MI</i>	Montaje inferior	2	<i>PM</i>	Subc. Pata móvil	2
<i>CS</i>	Cola super glu	20 g	<i>MH</i>	Montante horizontal	1
<i>TB</i>	Tornillo	8	<i>MV</i>	Montante vertical	1
			<i>CS</i>	Cola super glu	5 g
<i>MS</i>	<b>Montaje superior</b>		<i>B</i>	Bisagra	2
<i>TC</i>	Tablero central	1	<i>TA</i>	Tornillo	8
<i>TAB</i>	Tablero abatible	2	<i>TR</i>	Travesaño	1
<i>B</i>	Bisagra	4	<i>CS</i>	Cola super glu	8 g
<i>TA</i>	Tornillo	16			

Referencia	Descripción	Cantidad	Material	
			Referencia	Descripción
<i>MS</i>	<b>Montaje superior</b>	1		
<i>TC</i>	Tablero central	3 dm <sup>3</sup>	<i>TM</i>	Tablero de madera de 300 × 240 × 2 cm
<i>TAB</i>	Tablero abatible	1,80 dm <sup>3</sup>	<i>TM</i>	Tablero de madera de 300 × 240 × 2 cm
<i>MI</i>	<b>Componentes montaje inferior</b>			
<i>PF</i>	Pata fija mesa	2 dm <sup>3</sup>	<i>LCF</i>	Listón cuadrado de madera de 5 cm
<i>PM</i>	Subc. Pata móvil			
<i>MH</i>	Montante horizontal	0,85 dm <sup>3</sup>	<i>LCM</i>	Listón cuadrado de madera de 4 cm
<i>MV</i>	Montante vertical	1,30 dm <sup>3</sup>	<i>LCM</i>	Listón cuadrado de madera de 4 cm
<i>TR</i>	Travesaño	0,15 dm <sup>3</sup>	<i>TM</i>	Tablero de madera de 300 × 240 × 2 cm

Demanda	1	2	3	4	5	6
<i>MA</i>	125	125	100	100	125	125

	Stock de seguridad	Existencia inicial	Pedidos u órdenes de fabricación pendientes (período 1)
<i>MA</i>	50	150	80
<i>MI</i>	150	300	200
<i>MS</i>	80	160	100
<i>TB</i>	500	1.900	2.000
<i>PF</i>	200	350	300
<i>PM</i>	200	700	400
<i>B</i>	500	1.400	1.000
<i>TA</i>	500	4.000	500
<i>TR</i>	200	300	500
<i>TC</i>	150	200	200
<i>TAB</i>	300	400	400

	Stock de seguridad	Existencia inicial	Pedidos u órdenes de fabricación pendientes (período 1)
<i>LCF</i>	1.500	2.000	1.000
<i>MH</i>	200	400	300
<i>MV</i>	200	450	300
<i>CS</i>	1.000	4.000	3.000
<i>TM</i>	1.000	1.200	1.000
<i>LCM</i>	500	1.000	500

Referencia	Descripción	Lotificación	Número de periodos
<i>MA</i>	Montaje final	Necesidades netas	1
<i>MS</i>	Montaje superior	Mínimo 100	2
<i>MI</i>	Montaje inferior	Mínimo 200	2
<i>TB</i>	Tornillo	Múltiplos de 500	3
<i>PF</i>	Pata fija mesa	Mínimo 300	1
<i>PM</i>	Subc. Pata móvil	Mínimo 300	2
<i>B</i>	Bisagra	Múltiplos de 500	2
<i>TA</i>	Tornillo	Múltiplos de 500	2
<i>TR</i>	Travesaño	Mínimo 300	1
<i>TC</i>	Tablero central	Mínimo 200	1
<i>TAB</i>	Tablero abatible	Mínimo 400	1
<i>LCF</i>	Listón cuadr. de 5 cm	Múltiplos de 500	1
<i>MH</i>	Montante horizontal	Mínimo 300	1
<i>MV</i>	Montante vertical	Mínimo 300	1
<i>CS</i>	Cola super glu	Múltiplos de 500	1
<i>TM</i>	Tablero de 3 × 2,4 × 0,02 m	Múltiplos de 500	2
<i>LCM</i>	Listón cuadr. de 4 cm	Múltiplos de 500	2

Departamento	Referencia	Hoja operaciones	Utillaje	Tiempo (min.)
Montaje	<i>MA</i>	Montaje mesa abatible		2
Montaje	<i>MI</i>	Montaje inferior		3
Montaje	<i>MS</i>	Montaje superior		2
Sierra	<i>PF</i>	Pata fija mesa		0,10
Montaje	<i>PM</i>	Subc. pata móvil		1
Sierra	<i>TR</i>	Travesaño		0,50
Sierra	<i>TC</i>	Tablero central		1
Sierra	<i>TA</i>	Tablero abatible		1
Sierra	<i>MH</i>	Montante horizontal (corte)		0,10
Fresadora		Montante horizontal (ranura)		0,10
Sierra	<i>MH</i>	Montante vertical (corte)		0,20
Fresadora		Montante vertical (rebaje)		0,20

## RESPUESTAS A LAS CUESTIONES

- El MRP I **consiste esencialmente** en el cálculo de las necesidades netas de los subconjuntos, componentes y materias primas por períodos, partiendo de las necesidades netas por períodos de los productos acabados, es decir, del PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN (PMP).
- Los ficheros necesarios para la ejecución del MRP I son:
  - PMP o plan maestro de producción. Nos dice qué productos finales hay que fabricar y en qué período.
  - BOM o lista de materiales, que indica de qué partes o componentes está formada cada unidad y permite conocer las cantidades de cada componente que hay que fabricar o comprar.
  - Situación o estado del stock, cantidades disponibles de cada artículo en los diferentes intervalos de tiempo y, por diferencia, las cantidades que deben comprarse o fabricarse.
  - Plazos de entrega de proveedor y de fabricación.
  - Cantidades mínimas a fabricar de cada referencia (lotificación).
  - Stock de seguridad de cada referencia al final de cada período.
- En el funcionamiento del MRP I tienen lugar los siguientes pasos:
  - Determinación matricial de la estructura de los productos, de la demanda, de los stocks inicial y final.

- Determinación de las necesidades netas de los productos y componentes fabricados.
- Determinación de las necesidades netas de los componentes comprados y de la materia prima teniendo en cuenta el efecto lotificación.
- Efecto de la lotificación de los productos y de los componentes fabricados.
- Afectación de las mermas.
- Determinación de los requerimientos netos por períodos teniendo en cuenta el decalaje por los plazos de fabricación y de entrega de los componentes comprados y de la materia prima.

#### 4. Funcionamiento del MRP II.

Además de los cálculos realizados para el MRP I se tiene en cuenta los requerimientos de tiempos necesarios para realizar los montajes y fabricar los componentes, así como la comparación con las capacidades disponibles, y a la vista de ello tomar las decisiones adecuadas que resulten más económicas para el cumplimiento del programa.

#### 5. Los ficheros del MRP II complementarios a los del MRP I son los siguientes:

- **Maestro de operaciones:** Procesos de montaje y de fabricación para todos los productos, subconjuntos y componentes donde se indica el grupo funcional homogéneo (GFH)  $\times$  donde se realizan las diferentes operaciones, el tiempo de preparación y el unitario de fabricación.
- **Maestro de los GFH:** Se indica la capacidad, tasas de funcionamiento, rendimiento, etc., de las diferentes máquinas, así como el personal disponible.
- **Calendario de taller:** Se indican los días del calendario anual pactados con el comité como laborables, así como los acuerdos en cuanto a horas extras.

#### 6. Es un procedimiento para **suavizar la producción** durante el período de planeamiento, basado en que los recursos son limitados y que, por tanto, no pueden asumir una carga infinita en un período determinado, intentando equilibrar los costes de stocks y el tiempo extra de los centros de trabajo encontrando un plan económico.

#### 7. Las cuestiones a tener en cuenta en la determinación de la capacidad disponible.

No todas las horas de presencia son aprovechadas, por los siguientes motivos:

- Paradas planificadas (ajustes de producción, grandes paradas).
- Paros por cambios de preparación y averías.
- Microfallos y bajas de rendimiento (velocidad, etc.).
- Piezas defectuosas.

#### 8. La tasa de rendimiento sintético (TRS).

Se emplea para medir la efectividad global del equipo.

Para ver la afectación de los distintos factores que inciden en la eficiencia se expresa la tasa de rendimiento sintético como producto de tres tasas: la de **funcionamiento**, la de **rendimiento** y la de **calidad**.

*Gestión de la producción en la empresa. Planificación, programación y control*

9. Para calcular la capacidad disponible de una máquina tendremos en cuenta, además de las paradas planificadas, la tasa de funcionamiento y la tasa de rendimiento.
10. Para calcular la carga de trabajo de una máquina tendremos en cuenta la tasa de calidad aplicando en cada pieza el factor de mermas al ciclo unitario.
- 11.

Producto X	0	1	2	3	4	5	6
Necesidades brutas		50	45	100		60	100
Recepción prevista				120		60	120
Stock esperado	100	50	5	25	25	25	45
Necesidades netas				95		45	75
Lanzamientos		120		60	120		

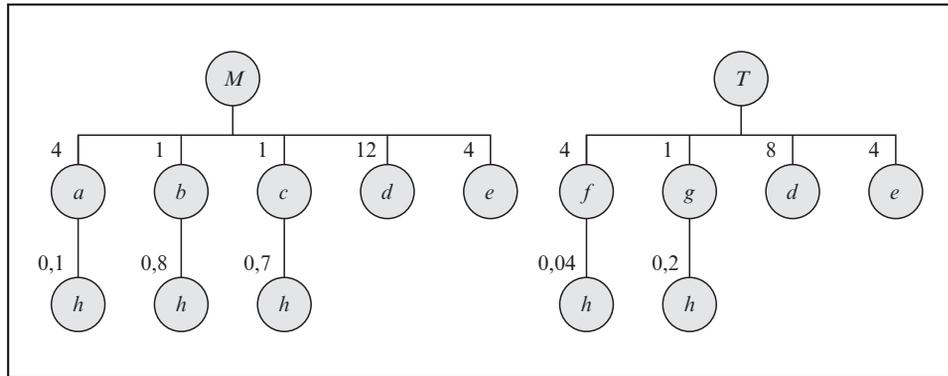
12.

Producto A1	0	1	2	3	4	5	6
Necesidades brutas		50			100		150
Recepción prevista					120		120
Stock esperado	75	25	25	25	45	45	15
Necesidades netas					75		105
Lanzamientos			120		120		

Producto A2	0	1	2	3	4	5	6
Necesidades brutas			25		25	50	50
Recepción prevista					30	60	30
Stock esperado	30	30	5	5	10	20	0
Necesidades netas					20	40	30
Lanzamientos		30	60	30			

Subconjunto M3	0	1	2	3	4	5	6
Necesidades brutas		60	240	60	120		
Recepción prevista			150	75	150		
Stock esperado	150	90	0	15	45	45	45
Necesidades netas			150	60	105		
Lanzamientos		150	75	150			

13. 1.º Dibujar la carta de explosión.



2.º Determinar las cantidades a fabricar y pedir por períodos y total.

<i>M</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas		125	125	100	100	125	125	50
En almacén	100							
Pendientes		125	125					
Existencias previstas		100	100	50	50	50	50	
Necesidades netas				50	100	125	125	
Órdenes (recepción)				50	100	125	125	
Órdenes (emisión)			50	100	125	125		

<i>T</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas		500	500	400	400	500	500	200
En almacén	400							
Pendientes		400	400					
Existencias previstas		300	200	200	200	200	200	
Necesidades netas				400	400	500	500	
Órdenes (recepción)				400	400	500	500	
Órdenes (emisión)			400	400	500	500		

<i>a</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas = Órdenes emisión $M \times 4$			200	400	500	500		200
En almacén Pendientes	400							
Existencias previstas		400	200	800	300	800		
Necesidades netas				400		400		
Órdenes (recepción)				1.000		1.000		
Órdenes (emisión)			1.000		1.000			

<i>b</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas = Órdenes emisión $M \times 1$			50	100	125	125		100
En almacén Pendientes	175							
Existencias previstas		175	125	225	100	175		
Necesidades netas				75		125		
Órdenes (recepción)				200		200		
Órdenes (emisión)			200		200			

<i>c</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas = Órdenes emisión $M \times 1$			50	100	125	125		50
En almacén Pendientes	125							
Existencias previstas		125	75	175	50	125		
Necesidades netas				75		125		
Órdenes (recepción)				200		200		
Órdenes (emisión)			200		200			

<i>f</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas = Órdenes emisión $T \times 4$			1.600	1.600	2.000	2.000		500
En almacén Pendientes	1.800							
Existencias previstas		1.800	2.200	600	600	600		
Necesidades netas			300		1.900	1.900		
Órdenes (recepción)			2.000		2.000	2.000		
Órdenes (emisión)		2.000		2.000	2.000			

<i>g</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas = Órdenes emisión $T \times 1$			400	400	500	500		150
En almacén Pendientes	470							
Existencias previstas		470	570	170	170	170		
Necesidades netas			80		480	480		
Órdenes (recepción)			500		500	500		
Órdenes (emisión)		500		500	500			

*Repercusión en las órdenes de *d**

Necesidades brutas de <i>d</i>	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Órdenes emisión $M \times 12$		600	1.200	1.500	1.500		
Órdenes emisión $T \times 8$		3.200	3.200	4.000	4.000		
<b>Total</b>		<b>3.800</b>	<b>4.400</b>	<b>5.500</b>	<b>5.500</b>		

<i>d</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas			3.800	4.400	5.500	5.500		10.000
En almacén Pendientes	15.000	5.000	5.000	5.000	5.000			
Existencias previstas		20.000	21.200	21.800	21.300	15.800		
Necesidades netas								
Órdenes (recepción)								
Órdenes (emisión)		—	—	—	—	—	—	

Repercusión en las órdenes de *e*

Necesidades brutas de <i>e</i>	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Órdenes emisión $M \times 4$		200	400	500	500		
Órdenes emisión $T \times 4$		1.600	1.600	2.000	2.000		
<b>Total</b>		<b>1.800</b>	<b>2.000</b>	<b>2.500</b>	<b>2.500</b>		

<i>e</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas			1.800	2.000	2.500	2.500		2.000
En almacén Pendientes	3.000	1.250	1.250	1.250	1.250			
Existencias previstas		4.250	3.700	2.950	11.700	9.200		
Necesidades netas					300			
Órdenes (recepción)					10.000			
Órdenes (emisión)			10.000					

Repercusión en las órdenes de *h*

Necesidades brutas de <i>h</i>	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Órdenes emisión $a \times 0,1$		100		100			
Órdenes emisión $b \times 0,8$		160		160			
Órdenes emisión $c \times 0,7$		140		140			
Órdenes emisión $f \times 0,04$	80		80	80			
Órdenes emisión $g \times 0,2$	100		100	100			
<b>Total</b>	<b>180</b>	<b>400</b>	<b>180</b>	<b>580</b>			

<i>h</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas		180	400	180	580			1.000
En almacén Pendientes	1.200		750		750			
Existencias previstas		1.020	1.370	1.190	1.360			
Necesidades netas								
Órdenes (recepción)								
Órdenes (emisión)								

- 3.º Determinar la nueva carga de trabajo ocasionada por las cantidades a fabricar por períodos y total.

$$M_T = B \times X_N$$

$$B =$$

	<i>M</i>	<i>T</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
<i>M</i>	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>PE</i>	0	0	0,20	0,30	0,25	0	0	0,20	0,25	0
<i>PD</i>	0	0	0,40	0,60	0,40	0	0	0,40	0,50	0

La siguiente tabla nos refleja las órdenes a emitir por períodos de cada uno de los productos y componentes, así como el total:

$X_N$	1	2	3	4	5	6	Total
<i>M</i>		50	100	125	125		400
<i>T</i>		400	400	500	500		1.800
<i>a</i>		1.000		1.000			2.000
<i>b</i>		200		200			400
<i>c</i>		200		200			400
<i>d</i>							
<i>e</i>		10.000					10.000
<i>f</i>	2.000		2.000	2.000			6.000
<i>g</i>	500		500	500			1.500
<i>h</i>							

$$M_T =$$

	1	2	3	4	5	6	Total
<i>M</i>	—	500	600	750	750		2.600
<i>PE</i>	525	310	525	835	—		2.195
<i>PD</i>	1.050	600	1.050	1.650	—		4.350

Estos valores, como puede verse, no coinciden exactamente con los obtenidos en este mismo ejercicio resuelto mediante el método Gozinto, debido a que aquí se ha utilizado la lotificación.

- 4.º **Determinar mediante el método de Bowman** el plan de producción más económico para las prensas de doblar para satisfacer las necesidades de horas de trabajo por quincenas, suponiendo que expresadas en horas fuesen las siguientes:

$$M_T =$$

	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>	Total
<i>PD</i>	105	60	105	165	—	—	—	435

Se dispone de 1 máquina de este tipo y en la empresa se trabaja a dos turnos. El número de horas de trabajo por quincena en horario laboral por máquina es de: 10 días  $\times$  8 horas = 80 horas. En quincenas punta podrían realizarse hasta dos horas extras por operario.

Se sabe que el extracoste de la hora extra es de 2 u.m., y que el coste de posesión de stock durante una quincena de lo elaborado durante una hora de trabajo es de 0,20 u.m.

La tasa de funcionamiento es 0,90; la tasa de rendimiento es 0,92, luego la tasa global es  $0,90 \times 0,92 = 0,8372$ .

Por tanto, la capacidad total a un turno por quincena y máquina es  $80 \times 0,8372 = 67$  horas, y entre los dos turnos:  $67 \times 2 = 134$  horas.

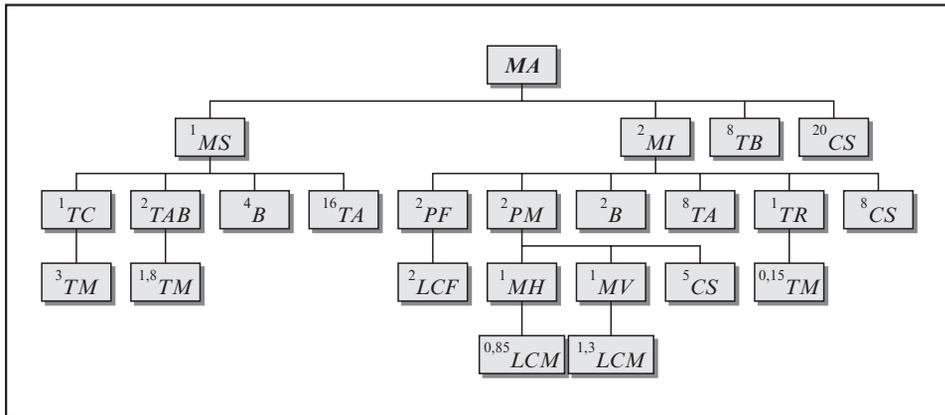
**La capacidad** como máximo por quincena **en horas extras será igual a**  $67 : 2 = 33$  horas.

Una vez realizados estos cálculos, procedemos a determinar el plan de producción más económico.

Esta solución da lugar a que durante la 1.ª quincena, además de trabajar a turno de mañana, se trabajen unas seis tardes; en la 2.ª quincena sólo a turno de mañana, y en la 3.ª y 4.ª quincenas se trabajará a dos turnos. No se requerirá hacer horas extras.

	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		
	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	
1	134	33	134	33	134	33	134	33													
	A	134																			
105	C	0	2																		
	P	105	—																		
2	A	29	33	134	33																
	C	0,2	2,2	0	2																
	P	—	—	60	—																
3	A	29	33	74	33	134	33														
105	C	0,4	2,4	0,2	2,2	0	2														
	P	—	—	—	—	105	—														
4	A	29	33	74	33	29	33	134	33												
165	C	0,6	2,6	0,4	2,4	0,2	2,2	0	2												
	P	—	—	2	—	29	—	134	—												
5	A	29	33	72	33	—	33	—	33												
	C																				
	P																				
	A	—																			
	C																				
	P																				
	A																				
	A																				
	C																				
	P																				
	A																				
	C																				
	P																				
	RT	105		62		134		134													
	OT																				

14. 1.º Dibujar la carta de explosión.



2.º Determinar las cantidades a fabricar y pedir por periodos y total.

*Determinación de órdenes a emitir*

<i>MA</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas		125	125	100	100	125	125	50
En almacén	150							
Pendientes		80						
Existencias previstas		105	50	50	50	50	50	
Necesidades netas			70	100	100	125	125	
Órdenes (recepción)			70	100	100	125	125	
Órdenes (emisión)		70	100	100	125	125		

<i>MI</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas $MA \times 2$		140	200	200	250	250		150
En almacén	300							
Pendientes		200						
Existencias previstas		360	160	160	150	150		
Necesidades netas				190	240	250		
Órdenes (recepción)				200	240	250		
Órdenes (emisión)		200	240	250				

Planificación de producción: MRP

<i>MS</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas $MA \times 1$		70	100	100	125	125		80
En almacén Pendientes	160	100						
Existencias previstas		190	90	90	80	80		
Necesidades netas				90	115	125		
Órdenes (recepción)				100	115	125		
Órdenes (emisión)		100	115	125				

<i>TB</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas $MA \times 8$		560	800	800	1.000	1.000		500
En almacén Pendientes	1.900	2.000						
Existencias previstas		3.340	2.540	1.740	740	740		
Necesidades netas						760		
Órdenes (recepción)						1.000		
Órdenes (emisión)			1.000					

<i>PF</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas $MI \times 2$		400	480	500				200
En almacén Pendientes	350	300						
Existencias previstas		250	200	200				
Necesidades netas			430	500				
Órdenes (recepción)		430	500					
Órdenes (emisión)		430	500					

<i>PM</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas $MI \times 2$		400	480	500				200
En almacén Pendientes	700	400						
Existencias previstas		700	220	200				
Necesidades netas				480				
Órdenes (recepción)				480				
Órdenes (emisión)		480						

<i>TR</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas $MI \times 1$		200	240	250				200
En almacén Pendientes	300	500						
Existencias previstas		600	360	410				
Necesidades netas				90				
Órdenes (recepción)				300				
Órdenes (emisión)			300					

<i>TC</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas $MS \times 1$		100	115	125				150
En almacén Pendientes	200	200						
Existencias previstas		300	185	260				
Necesidades netas				90				
Órdenes (recepción)				200				
Órdenes (emisión)			200					

<i>TAB</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas $MS \times 2$		200	230	250				300
En almacén Pendientes	400	400						
Existencias previstas		600	370	520				
Necesidades netas				180				
Órdenes (recepción)				400				
Órdenes (emisión)			400					

<i>MH</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas $PM \times 1$		480						200
En almacén Pendientes	400	300						
Existencias previstas		220						
Necesidades netas								
Órdenes (recepción)								
Órdenes (emisión)								

<i>MV</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas $PM \times 1$		480						200
En almacén Pendientes	450	300						
Existencias previstas		270						
Necesidades netas								
Órdenes (recepción)								
Órdenes (emisión)								

<i>LCF</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas $PF \times 2$		860	1.000					1.500
En almacén Pendientes	2.000	1.000						
Existencias previstas		2.140	1.640					
Necesidades netas			360					
Órdenes (recepción)			500					
Órdenes (emisión)		500						

*Repercusión en las órdenes de TM*

Necesidades brutas de <i>TM</i>	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Órdenes emisión $TC \times 3$		600					
Órdenes emisión $TAB \times 1,8$		720					
Órdenes emisión $TR \times 0,15$		45					
<b>Total</b>		<b>1.365</b>					

<i>TM</i>	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>
Necesidades brutas			1.365					1.000
En almacén Pendientes	1.200	1.000						
Existencias previstas		2.200	1.335					
Necesidades netas			165					
Órdenes (recepción)			500					
Órdenes (emisión)		500						

*Repercusión en las órdenes de LCM*

Necesidades brutas de LCM	1	2	3	4	5	6	e
Órdenes emisión $MH \times 0,85$							
Órdenes emisión $MV \times 1,3$							
<b>Total</b>							

LCM	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	e
Necesidades brutas $PF \times 2$		0						500
En almacén Pendientes	1.000	500						
Existencias previstas								
Necesidades netas								
Órdenes (recepción)								
Órdenes (emisión)								

*Repercusión en las órdenes de CS*

Necesidades brutas de CS	1	2	3	4	5	6	e
Órdenes emisión $MA \times 20$	1.400	2.000	2.000	2.500	2.500		
Órdenes emisión $MI \times 8$	1.600	1.920	2.000				
Órdenes emisión $PM \times 5$	2.400						
<b>Total</b>	<b>5.400</b>	<b>3.920</b>	<b>4.000</b>	<b>2.500</b>	<b>2.500</b>		

CS	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	e
Necesidades brutas		5.400	3.920	4.000	2.500	2.500		1.000
En almacén Pendientes	4.000	3.000						
Existencias previstas		1.600	1.180	1.180	1.180	1.180		
Necesidades netas			3.320	3.820	2.320	2.320		
Órdenes (recepción)			3.500	4.000	2.500	2.500		
Órdenes (emisión)		3.500	4.000	2.500	2.500			

## Repercusión en las órdenes de B

Necesidades brutas de B	1	2	3	4	5	6	e
Órdenes emisión $MI \times 2$	400	480	500				
Órdenes emisión $MS \times 4$	400	460	500				
<b>Total</b>	<b>800</b>	<b>940</b>	<b>1.000</b>				

B	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	e
Necesidades brutas		800	940	1.000				500
En almacén Pendientes	1.400	1.000						
Existencias previstas		1.600	660	660				
Necesidades netas				840				
Órdenes (recepción)				1.000				
Órdenes (emisión)		1.000						

Necesidades brutas de TA	1	2	3	4	5	6	e
Órdenes emisión $MI \times 8$	1.600	1.920	2.000				
Órdenes emisión $MS \times 16$	1.600	1.840	2.000				
<b>Total</b>	<b>3.200</b>	<b>3.760</b>	<b>4.000</b>				

TA	Stock inicial	1	2	3	4	5	6	e
Necesidades brutas		3.200	3.760	4.000				500
En almacén Pendientes	4.000	500						
Existencias previstas		1.300	540	540				
Necesidades netas			2.960	3.960				
Órdenes (recepción)			3.000	4.000				
Órdenes (emisión)		3.000	4.000					

3.º Determinar la nueva carga de trabajo ocasionada por periodos y total.

$$B =$$

	<i>MA</i>	<i>MI</i>	<i>MS</i>	<i>PF</i>	<i>PM</i>	<i>TR</i>	<i>TC</i>	<i>TA</i>	<i>MH</i>	<i>MV</i>
<i>M</i>	2	3	2	—	1					
<i>S</i>				0,10	—	0,50	1	1	0,10	0,10
<i>F</i>									0,20	0,20

$X_N$	1	2	3	4	5	6	Total
<i>MA</i>	70	100	100	125	125		
<i>MI</i>	200	240	250				
<i>MS</i>	100	115	125				
<i>TB</i>		1.000					
<i>PF</i>	430	500					
<i>PM</i>	400						
<i>B</i>	1.000						
<i>TA</i>	3.000	4.000					
<i>TR</i>		300					
<i>TC</i>		200					
<i>TAB</i>		400					
<i>LCF</i>	500						
<i>MH</i>							
<i>MV</i>							
<i>CS</i>	3.500	4.000	2.500	2.500			
<i>TM</i>	500						
<i>LCM</i>							

$$M_T = B \times X_N$$

$$M_T =$$

	1	2	3	4	5	6	<i>e</i>	Total
<i>M</i>	1.340	1.150	1.200	250	250	—		4.190
<i>S</i>	3.043	4.400	—	—	—	—		7.743
<i>F</i>	—	—	—	—	—	—		—

- 4.º Determinar el plan más económico a seguir en el departamento de montaje donde se dispone en la actualidad de 7 operarios (en el supuesto de que la carga de trabajo calculada en lugar de minutos fuesen horas) (resuelto por Bowman).

Los días laborables son:  $E = 20$ ;  $F = 18$ ;  $M = 20$ ;  $A = 20$ ;  $M = 20$ .

Las horas de trabajo/día/operario son 8; El coeficiente de productividad es 0,96.

El número de horas extras que como máximo están dispuestos a trabajar los operarios es de 2h/día/operario.

El sobrecoste por horas extras es de 2 u.m. y el coste de posesión de stock correspondiente a una hora de trabajo/mes es de 0,10 u.m.

Gestión de la producción en la empresa. Planificación, programación y control

Quincena	Tiempo requerido		1		2		3		4		5	
			R	O	R	O	R	O	R	O	R	O
			1.075	269	968	292	1.075	269	1.075	269	1.075	269
1	1.340	A	1.075									
		C	0	2								
		P	1.075	265								
2	1.150	A	—	4	968	182						
		C		2,10	0	2						
		P			968	182						
3	1.200	A		4	—	60	1.075	125				
		C		2,20		2,10	0	2				
		P		—			1.075	125				
4	250	A		4		60	—	144	1.075	269		
		C		2,30		2,20		2,10	0	2		
		P		—				—	250	—		
5	250	A		4		60		144	825	269	1.075	269
		C		2,40		2,30		2,20	0,10	2,10	0	2
		P		—				—	—	—	250	—
6	—	A	—									
		C		2,50				2,30	0,20	2,20	0,10	2,10
		P						—	—	—		
7		A										
		C										
		P										
8		A										
		C										
		P										
9		A										
		C										
		P										
10		A										
		C										
		P										
11		A										
		C										
		P										
12		A										
		C										
		P										
Producción total planeada		RT	1.075		968		1.075		250		250	
		OT		265		182		125		0		0



# Apéndice

## Programas informáticos para la planificación, programación y el control de la producción

A continuación se indican una serie de programas informáticos en los que puede verse sus características generales.

### 1. MES (Manufacturing Execution System-Mondragón Sistemas)

**Manufacturing Execution System** es la plataforma informática que enlaza, a nivel de planta, el sistema ERP de gestión (compras, planificación, almacenes...) con los recursos productivos (máquinas, líneas de producción).

El objetivo de **MES** es aumentar el nivel productivo de la planta a través de la optimización en la gestión de los recursos, mejorando:

- *El rendimiento*: rendimiento de las máquinas (OEE: Overall Equipment Efficiency) a través del control del estado de las máquinas.
- *La gestión de OF*: saber en cada instante, el estado de la orden de fabricación; su cantidad pendiente, realizada, fecha de finalización prevista...
- *La trazabilidad*: trazabilidad ascendente y descendente, incluyendo las condiciones del proceso en el cual se han producido los lotes.
- *La logística* mediante etiquetado con códigos de barras de lotes intermedios y finales, actualizando de forma automática los almacenes (producciones y consumos).
- *El control de calidad* en planta, manual y automático, a través de la integración de equipos de medición.

[www.msigrupo.com](http://www.msigrupo.com)

### 2. MAPEX Production Manager 7.0. MAPEX Work Order Manager

Son aplicaciones integrables de la Mapex Business Platform.

### ***MAPEX Production Manager 7.0***

Permite la gestión de todos los recursos productivos: máquinas, líneas, operaciones y operarios en tiempo real.

Puede ser utilizado de forma independiente si no se dispone del **Production Pack**, y es enlazable con cualquier programa de planificación o ERP.

Funciones y características generales:

- Situación real del estado de las máquinas y puestos de trabajo manuales.
- Gestión de las órdenes de fabricación.
- Control de tiempos: de preparación, producción, paros (el operario puede indicar la causa).
- Control de la producción de producto acabado, semielaborado, mermas, rechazos.
- Control de rendimientos de los recursos.
- Exportación de datos a Excel o a programas externos como ERP, MRP II.
- Captura automática de datos de máquinas.

La versión para pymes no dispone del enlace con ERP.

Todo el desarrollo se ha realizado con herramientas de Microsoft: Visual Studio, Windows Server, SQL Server, lo que garantiza máxima compatibilidad, fácil ampliación y configuración.

Es especialmente recomendable la incorporación del Work Order Manager, permitiendo así realizar en tiempo real y de forma totalmente visual la gestión de las órdenes de fabricación.

### ***MAPEX Work Order Manager***

Funciones y características generales:

- Seguimiento en tiempo real de la planificación de forma visual.
- Gestión y organización de las operaciones en formato Gantt, de forma simple e intuitiva.
- Configuración de los calendarios de los recursos productivos.
- Generación de avisos automáticos de alarma en SMS o correo electrónico para que el sistema informe de retrasos o incidencias sobre la planificación.
- Enlaza la información de forma bidireccional con el ERP u otros programas de MRP.

[www.mapex.es](http://www.mapex.es)

## **3. EDISA: LIBRA ERP**

Soportado por Oracle, ofrece una amplísima funcionalidad cubriendo la totalidad de ámbitos de la empresa.

Diseñado para funcionar también en sistemas abiertos con arquitectura cliente/servidor y en entorno web. Alta capacidad de parametrización incluyendo la personalización del interface.

Manejo fácil e intuitivo con una completa ayuda en línea orientada, tanto a usuarios finales como a consultores y responsables del sistema.

Navegabilidad y orientación a las herramientas de explotación, tanto a nivel ofimático como con herramientas de Business Intelligence.

Integración a través de interfaces estándar con otros sistemas, EDI, XML, sistemas cartográficos, gestión documental, etc.

Capacidades de movilidad e integración con sistemas de gestión documental.

Informes por pantalla, impresora, correo electrónico, pdf o herramientas de gestión documental.

Gestión de funcionalidad y seguridad en los accesos orientada al perfil del usuario.

Multi-idioma (disponibles versiones de LIBRA en inglés, francés, portugués y castellano).

Está formado por los siguientes módulos:

- LIBRA FINANCIERA: contabilidad general de la empresa, contabilidad por centros de coste, presupuestos, activos fijos, control de tesorería.
- LIBRA COMPRAS: optimiza todos los procesos de compra, gestión de proveedores y tarifas.
- LIBRA PRODUCCIÓN: aplicable en empresas de fabricación seriada, producción bajo pedido, fabricación contra stock o fabricación orientada a proyecto. Este módulo aporta diferentes opciones en función de las necesidades, pudiendo ofrecerse por separado la planificación a capacidad finita, la captura de datos en planta o la gestión de subcontrataciones.
- LIBRA ALMACENES: permite una completa parametrización de zonas, criterios de almacenamiento, cálculos de costes y demás aspectos para el control de la función de logística para la empresa.
- LIBRA VENTAS: ventas y distribución. Incluye el presupuesto, elaboración y mantenimiento de tarifas, ayuda en la determinación de precios y plazos de entrega, entrada rápida de pedidos, facturación, gestión de riesgos de cliente. Este módulo está vinculado con el de almacén-logística y área financiera.
- LIBRA GESTIÓN DE PLANTA Y MANTENIMIENTO: facilita el control de los recursos materiales y técnicos de la empresa, maquinaria, o elementos de transporte y repuestos, integrando las funciones empresariales de compras y mantenimiento para asegurar la disponibilidad de estos recursos en las operaciones empresariales.

[www.edisa.es](http://www.edisa.es)

#### **4. MARINO ERP**

Está formado por los siguientes módulos:

- LOGÍSTICA DE ALMACENES: preparación de pedidos, expediciones, ubicaciones dinámicas, control entradas y salidas, terminales EAN.

- GESTIÓN COMERCIAL: ficheros maestros, compras y ventas, gestión de stocks, import/export, control de calidad.
- CONTROL DE STOCKS: preparación de pedidos, expediciones, ubicaciones dinámicas, control entradas y salidas, terminales EAN.
- GESTIÓN DE FABRICACIÓN: escandallos/estructuras, órdenes de fabricación, MRP I/MRP II, captura de datos en planta, talleres exteriores.
- BUSINESS INTELLIGENCE: cubos dinámicos OLAP, KPI/DashBoard, estadísticas configurable, intuitivo y funcional, minería de datos.
- MARINO MOBILE: diversos perfiles de trabajo, seguimiento de actividades, entorno personalizable, gestión de pedidos, conexión *online/offline*.
- MARINO E-COMMERCE: autenticación de usuarios, entorno parametrizable, gestión de pedidos, integración con ERP, disponibilidad 24 × 7.
- PORTAL DE ACCESO: acceso web, perfiles móviles por usuario, control de acceso seguro, pantallas configurables, entorno claro e intuitivo.
- GESTIÓN FINANCIERA: contabilidad y cartera, analítica y amortizaciones, documentos oficiales, ratios configurables, multiempresa.
- GESTIÓN SAT: contratos mantenimiento, avisos/partes de trabajo, calendarios, movilidad SAT, números de serie.
- CUADRO DE MANDOS: control de eventos, personalizable × usuario, diversos tipos de alerta, alertas visuales, histórico de alertas.
- MARINO TPV: punto de venta al público, conexión *online/offline*, arqueos de caja, integración con *hardware*, rápido y funcional.
- FIDELIZACIÓN DE CLIENTES: gestión de promociones, catálogo de obsequios, gestión y saldo de puntos, zona cliente personalizable, fidelización de clientes.

inology@inology.com

## 5. SAP ECC 6.0

SAP se estableció en 1972 en Alemania y hoy en día es el mayor proveedor de servicios de software. En el momento actual la última versión de SAP ERP es SAP ECC 6.0, que anteriormente era SAP R/3.

Otros productos para pymes son: SAP Business One y SAP todo en uno.

El sistema SAP ECC 6.0 comprende muchos módulos integrados, que abarcan prácticamente todos los aspectos de la administración empresarial. SAP proporciona la oportunidad de sustituir un gran número de sistemas independientes, que se han desarrollado e instalado en organizaciones ya establecidas, por un solo sistema modular. Cada módulo realiza una función diferente, pero está diseñado para trabajar con otros módulos. Está totalmente integrado, ofreciendo auténtica compatibilidad entre todas las funciones de una empresa.

Los módulos que lo integran son:

- Contabilidad financiera.
- Inversiones.

- Tesorería.
- *Controlling*.
- Gestión datos generales de logística.
- Gestión del mantenimiento.
- *Enterprise controlling*.
- Ventas y distribución.
- Gestión de proyectos.
- Gestión de materiales.
- Calidad.
- Producción.
- Gestión del personal.
- *Industry solution retail*.
- Gestión del mantenimiento

Cada uno de estos módulos dispone de submódulos.

El contenido de cada módulo (incluidos los submódulos) es el siguiente:

- **FI (financiamiento) finanzas:** cuentas de mayor, consolidación sociedades, cuentas a cobrar, cuentas a pagar, gestión de activos, Special Ledger, cierres.
- **IM (inversiones):** gestión de inversiones
- **TR (tesorería):** programa conciliación, provisiones posicionamientos, control de fondos.
- **CO (controlling):** contabilidad por centros de coste, contabilidad presupuestaria, control de costes del producto, análisis de rentabilidad, órdenes internas, costes basados en actividades (ABC)
- **LO (gestión datos generales de logística):** datos básicos, gestión variantes de productos, modelos previsión y comportamientos, cambios ingeniería objetos SAP.
- **SD (ventas y distribución):** datos maestros, gestión de ventas, gestión tarifas y condiciones de precio, gestión de expediciones, facturación, sistemas de información, intercambio electrónico de datos (EDI).
- **PS (gestión de proyectos):** datos básicos, planificación del proyecto, plan de costes, proceso de aprobación, seguimiento y progreso del proyecto, sistema de información.
- **MM (gestión de materiales):** planificación necesidades materiales, gestión de compras, gestión de inventarios, gestión de almacenes, verificación de facturas, sistema de información, intercambio electrónico de datos (EDI), sistema clasificación, gestión de lotes.
- **QM (calidad):** herramientas de planificación, proceso de inspección, control de calidad, certificados de calidad, notificaciones de calidad.
- **PP (producción):** datos básicos, gestión de la demanda, plan maestro, plan de capacidades, plan de materiales, órdenes de fabricación, costes de producto, sistemas de información, industria de procesos, configuración de producto.

- **HR (gestión del personal):** datos maestros de personal, nómina, gastos de viaje, organización y planificación, desarrollo de personal, gestión de la formación, selección de personal, gestión de tiempos.
- **IS-R (Industry Solution Retail):** planificación de surtidos, reaprovisionamiento, formatos de presentación, sales Retail, transporte, sistema de información Retail.
- **PM (gestión del mantenimiento):** identificación descripción, mantenimiento preventivo, órdenes de mantenimiento, proyectos de mantenimiento, gestión del servicio.

www.sap.com

## 6. Basados en la Nube (SaaS)

Con el software basado en la nube el tiempo requerido para implementar y adaptarse al sistema es mucho menor que con el ERP tradicional. El usuario lo encuentra más fácil.

El costo de actualizar los sistemas tradicionales suele ser alto y muchos quedan sin actualizar. Se requiere un departamento de sistemas para su mantenimiento. Con el software basado en la nube los proveedores son responsables del desarrollo e instalación de las actualizaciones; éstas suelen tardar menos tiempo y no interfieren con las operaciones del negocio. La responsabilidad de los servidores, seguridad de datos, personal de sistemas y actualizaciones quedan transferidos del cliente al proveedor de ERP.

Los principales proveedores son: NETSUITE y WORDAY.

- SAP ofrece actualmente en su Business Suite principal para las grandes empresas aplicaciones SaaS, así como la suite Business ByDesign para empresas medianas.
- ORACLE ofrece la opción SaaS para sus nuevas Fusion Applications.

## 7. NETSUITE

Los módulos que lo integran son:

- Gestión financiera.
- **Cadena de suministro y gestión de inventario.**
- **Envíos y cumplimiento.**
- Gestión de reconocimiento de ingresos.
- Planificación financiera.
- Human Capital Management.
- Gestión de ingresos recurrentes.
- Análisis e informes financieros.

### *Cadena de suministro y gestión de inventario*

El software de gestión de inventario ofrece un conjunto completo de gestión de inventario, fabricación y capacidades de compra que mejora la gestión de la cadena de suministro.

Visión en profundidad, en tiempo real de los indicadores clave de proveedores, inventarios y compras. Capacidades de autoservicio para los socios, proveedores y clientes, mejora la gestión de los niveles de inventario y los costes y satisface mejor las expectativas de cumplimiento del servicio al cliente.

Características principales:

— *Almacén y control de inventario:*

- Visibilidad detallada en tiempo real de medidas de gestión de la cadena de suministro y control de inventario, incluyendo las tendencias de inventario, y la puntualidad del proveedor.
- Reduce los costes de inventario por reforzar el control de los niveles de existencias al tiempo que aumenta la eficiencia operativa.
- Aumenta márgenes de los productos mediante la gestión eficaz de precios basada en los diferentes tipos de clientes, canales y divisas.
- Toma el control de la reposición de inventario y se asegura de que tiene el suficiente para cumplir con los pedidos anticipados, mientras se mantiene un exceso de existencias al mínimo.
- Las características del software de gestión de inventario también incluyen gestión de lotes, reabastecimiento basado en la demanda, los clientes y los precios por volumen, inventario multi-ubicación, y mucho más.

— *Compras y gestión de proveedores:*

- Elimina las ineficiencias con la creación de la orden de compra en línea conveniente que permite reemplazar los formularios basados en papel y procesos manuales que consumen tiempo.
- Optimiza los procesos de adquisición y mejora la colaboración con los proveedores, dándoles acceso de autoservicio a los datos e información clave.
- Seguimiento de los costos y elimina errores mediante la creación de un completo flujo de procesos de negocio a través de la compra, recepción y cuentas por pagar.

— *Procesos de fabricación optimizados:*

- Agiliza el proceso de gestión eficiente de las órdenes de trabajo de producción, la construcción de conjuntos de varios niveles, la creación de pedidos de compra especiales para componentes.

— *Planificación de la demanda:*

- Calcula los planes de demanda aprovechando los datos históricos y previsiones de ventas.
- Permite ver cómo las órdenes de compra y de venta afectan a los niveles de inventario futuros.
- Calcula los planes de suministro y genera automáticamente órdenes de compra o de trabajo.

***Envíos y cumplimiento***

- Aumenta la eficiencia del transporte y reduce los costos de procesamiento de cumplimiento de la orden. Integración completa con las principales empresas de transporte.

***Otras principales empresas de desarrollo de software ERP***

- ORACLE.
- INFOR.
- MICROSOFT.
- EPICOR.



# 5

## Control y gestión de stocks

### Después de leer este capítulo usted deberá:

- Definir lo que es el coste de posesión de stocks anual.
- Definir lo que es el coste de adquisición anual de los pedidos.
- Definir lote económico.
- Aplicar la fórmula del lote económico.
- Definir punto de pedido.
- Aplicar la fórmula del punto de pedido.
- Definir el stock de seguridad.
- Aplicar la determinación del stock de seguridad.
- Definir qué es el diagrama ABC.
- Clasificar los artículos en los grupos A, B, C.
- Calcular el período de revisión en el aprovisionamiento en fechas fijas.

### 5.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo veremos el enfoque clásico de cómo controlar y gestionar los stocks, que era el único sistema utilizado hasta la aparición del MRP.

En la actualidad, el enfoque clásico lo siguen empleando empresas en el caso en que la demanda es independiente, es decir, de productos terminados o recambios que demanda el mercado. También en los casos de demanda dependiente de componentes que son comunes a muchos productos ya que así se simplifica respecto a la utilización de MRP.

Con la aparición del sistema MRP, que se explica en el capítulo 4, ya vimos que las órdenes de fabricación y compras de los componentes requeridos para el montaje de los productos dependían de las cantidades a montar de éstos y de la fecha de inicio de montaje; así pues, se determinaba, teniendo en cuenta los plazos de fabricación y aprovisionamiento, cuándo debía efectuarse el lanzamiento de las órdenes de fabricación y de los pedidos.

En cuanto a la cantidad a lanzar, comentamos diversas técnicas de lotificación tales como: pedidos lote a lote, mínimo coste unitario, mínimo coste total, lote económico, método de Silver Meal, máximos y mínimos y múltiplos, técnicas en general basadas en los conceptos clásicos que veremos en este capítulo.

## 5.2. TIPOS DE COSTES DE LOS STOCKS

El material comprado por la empresa tiene tres clases de costes:

- Coste de la compra.
- Coste de posesión del stock.
- Coste de adquisición del stock.

El coste de la **compra** es lo que se paga al proveedor por el suministro de la mercancía.

El coste de **posesión de stocks** es lo que le cuesta a la empresa mantener el stock y será tanto mayor cuanto mayor sea éste, así como también dependerá del tipo de interés bancario del dinero, del espacio ocupado, primas de seguros, personal utilizado, posibilidad de deterioro de los materiales, obsolescencia, etc.

El coste de **adquisición** de un pedido son todos los costes que comporta el poder disponer del material correspondiente, incluye:

- Personal que detecta la falta de material.
- Personal de compras.
- Personal de aprovisionamiento.
- Personal de recepción.
- Personal de control de calidad de entrada.
- Personal de almacén.

El coste anual de adquisición será tanto mayor cuanto mayor sea el número de pedidos realizados.

Si para cubrir las necesidades de todo el año hacemos un determinado número de pedidos, el coste total de adquisición anual quedará multiplicado por dicho número. Bajo este punto de vista, lo conveniente sería pedir todas las piezas que necesitamos de una sola vez al año, pero esto supone unos gastos de posesión de stocks muy grandes.

## 5.3. GRÁFICA DE VARIACIÓN DE LAS EXISTENCIAS

Veamos gráficamente cómo varían los stocks suponiendo en principio un consumo uniforme.

En unos ejes de coordenadas, representamos en el eje de las X los meses del año y en el eje de las Y las existencias (véase figura 5.1).

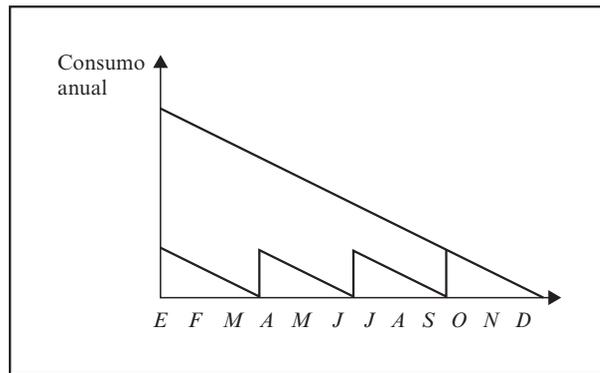


Figura 5.1. Evolución del stock a lo largo del tiempo.

Supongamos que hacemos un solo pedido que nos llega a primeros de año para cubrir el consumo anual previsto.

La hipotenusa del triángulo mayor nos representa cómo van variando las existencias conforme avanza el año, de forma que al final del año las existencias son cero y, por tanto, el stock medio habrá sido igual a la mitad del consumo anual previsto ( $S$ ).

Si hacemos pedidos semestrales, el stock medio sería la mitad, y en el caso de pedidos trimestrales, los stocks serían la cuarta parte, los costes de adquisición cuatro veces mayores, y existirían cuatro riesgos de rotura de stocks.

Se trata de determinar la cantidad de pedidos a emitir en el año, de manera que la suma de los costes de posesión y de adquisición sean mínimos y además evitar la rotura de stocks.

En la gráfica se ha supuesto que los pedidos llegan en el mismo instante en que se piden y que el consumo es uniforme, pero esto en la práctica no ocurre, por lo que los pedidos deben cursarse con el tiempo suficiente para que el proveedor pueda suministrarlos y disponer de un stock de seguridad para cubrir, con una cierta probabilidad, el no quedarnos sin stock, aquellos períodos en que la demanda sea superior a lo esperado o bien que el proveedor se atrase en la entrega.

## 5.4. STOCK DE SEGURIDAD Y PUNTO DE PEDIDO

El stock de seguridad es necesario por dos conceptos:

- Ritmo de consumo superior al normal.
- Plazo de aprovisionamiento superior al normal.

Se tiene que determinar qué valor ha de tener el stock de seguridad, cuándo realizar el pedido y la cantidad a pedir cada vez que se necesite.

Como puede verse en la figura 5.2, puede ocurrir que desde que se emite el pedido (punto A) hasta que se recibe el consumo diario, en lugar de ser a un ritmo normal, podría serlo con una cierta probabilidad a un ritmo máximo, con lo que nos quedaríamos sin stock; por ello, para evitar con una cierta probabilidad quedarnos sin stocks debemos tener el de seguridad.

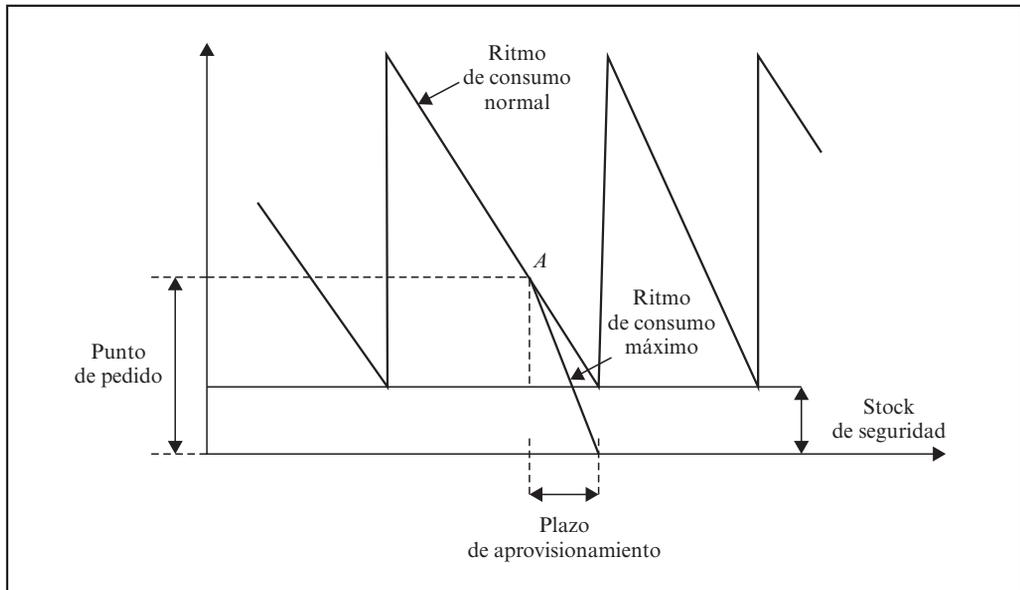


Figura 5.2. Determinación del punto de pedido.

El stock de seguridad para un 95% de probabilidades de no romper stocks podría determinarse mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Stock seguridad} = 2\sigma \times Cn \times ta$$

Siendo:

$Cn$ : El consumo medio diario.

$ta$ : El tiempo de aprovisionamiento en días.

$\sigma$ : La variabilidad del consumo en tanto por uno.

Al final del capítulo puede verse un ejemplo de determinación del stock de seguridad.

El punto de pedido, como puede verse en la gráfica, representa la existencia llegada a la cual debe emitirse el pedido y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Punto de pedido} = \text{Stock de seguridad} + (\text{consumo normal} \times \text{plazo aprovisionamiento})$$

## 5.5. DETERMINACIÓN DEL LOTE ECONÓMICO

Como ya vimos en los apartados anteriores, el coste anual de adquisición será tanto mayor cuanto mayor sea el número de pedidos realizados, y el coste de posesión de stocks, tanto mayor cuanto mayor sea la cantidad pedida (o lo que es lo mismo menos pedidos hagamos para cubrir las necesidades).

Se trata de determinar la cantidad a pedir cada vez, de manera que la suma de los costes de posesión y de adquisición sean mínimos.

Llamaremos:

$S$ : Consumo anual (en unidades).

$u$ : Precio unitario de la pieza (de compra).

$G$ : Gasto de adquisición por pedido.

$T$ : Tasa del coste de posesión de stock (en tanto por uno); lo componen: interés bancario del dinero, seguros e impuestos, espacio ocupado, personal y gasto de almacén, mermas, depreciación.

$Ca$ : Coste de adquisición anual.

$Cp$ : Coste de posesión anual.

$Qe$ : Cantidad lote económico).

Así:

$$Ca = G \times \frac{S}{Qe} \quad Cp = \frac{Qe}{2} \times u \times T$$

Se quiere que  $Ca + Cp$  sea mínimo, por lo que:

$$Ca + Cp = G \times \frac{S}{Qe} + \frac{Qe}{2} \times uT = Y$$

Para que esta suma sea mínima derivaremos respecto a  $Qe$

$$\frac{dY}{dQe} = \frac{-GS}{Qe^2} + \frac{2uT}{4} = \frac{-GS}{Qe^2} + \frac{uT}{2} = 0, \quad \frac{uT}{2} = \frac{GS}{Qe^2}$$

$$Qe = \sqrt{\frac{2GS}{uT}}$$

Se puede observar que la cantidad a pedir será tanto menor cuanto menor sea el coste de adquisición por pedido y el consumo anual, así como cuanto mayor sea el precio unitario y la tasa de posesión de stocks.

Podemos determinar gráficamente la cantidad del lote económico. Como dijimos anteriormente, la cantidad del lote más económico será aquella en que la suma de  $Ca + Cp$  sea mínima.

$Ca = G \times \frac{S}{Qe}$  que es la ecuación de una parábola equilátera y  $Cp = \frac{Qe}{2} \times u \times T$  es la ecuación de una recta. Si dibujamos en unos ejes coordenados (véase figura 5.3) ambas ecuaciones, la suma dará una curva, y si desde su mínimo se traza una ordenada, obtendremos en abscisas la cantidad del lote económico  $Qe$  (puede comprobarse que coincide con el punto de corte de la parábola y la recta).

Gráficamente

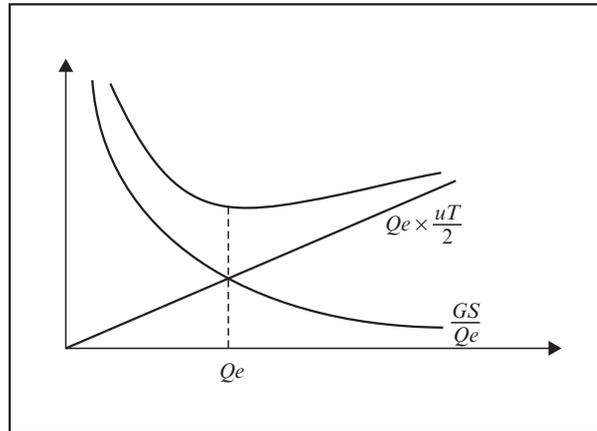


Figura 5.3. Determinación gráfica del lote económico.

## 5.6. DIAGRAMA ABC

Sirve para analizar la importancia de las piezas en función del volumen económico anual que supone su consumo, ya sean de adquisición externa o fabricadas internamente, y en función de ello controlar las piezas con una u otra técnica de gestión de stocks.

Proceso:

- 1.º Saber el consumo anual de cada pieza y su precio unitario (o su coste directo si es de fabricación interna).
- 2.º Se multiplica el consumo anual de cada pieza por su precio unitario y se obtiene el valor económico del consumo anual.
- 3.º Se ordenan de mayor a menor valor.

En la tabla 5.1 pueden verse ya las referencias ordenadas de mayor a menor valor.

Hipótesis: tenemos 200 referencias.

TABLA 5.1  
*Proceso de cálculo para la realización del ABC*

N.º de orden de la referencia	Acumulado en % del n.º de referencias	Valor	Valor acumulado	Acumulado en % del valor
	1	$V_1$	$V_1$	$(V_1/V) \times 100 = 18$
4	2	$V_4$		
6	3	$V_6$	$V_1 + V_2 + \dots + V_6$	$(V_1 + V_2 + \dots + V_6)/V \times 100 = 45$
20	<b>10</b>	$V_{20}$	$V_1 + \dots + V_{20}$	<b>75</b>
70	35	$V_{70}$	$V_1 + \dots + V_{70}$	<b>95</b>
200	100	$V_{200}$	$V_1 + \dots + V_{200} = V$	<b>100</b>
	Total	$V$		

*Nota:* Los valores indicados en la columna 5 son estimados.

- 4.º En la columna 4.<sup>a</sup> se indica el valor en acumulado.
- 5.º Finalmente se calcula en porcentaje el acumulado del número de referencias (columna 2) y el acumulado del valor (columna 5).

Una vez que tenemos estos cálculos realizados, representamos en unos ejes coordenados los valores de acumulado en porcentaje de referencias en el eje de las X y los valores de acumulado en porcentaje del valor en el eje de las Y. Unidos los puntos obtenidos con estas coordenadas nos darían una gráfica.

Pueden observarse en la gráfica tres zonas diferenciadas: un tramo recto, una curva y otro tramo recto, los cuales nos determinan las zonas A, B y C.

Los artículos de la zona A son los que se deben controlar mejor ajustando al máximo las existencias, ya que son el 10% de los productos y representan el 75% del total del valor de las compras.

Los artículos de la zona B no requieren ser controlados con el rigor de los de la A, ya que el 25% de los productos representan el 20% de las compras.

Los artículos de la zona C, por su menor importancia, será más económico no controlarlos tan estrictamente, ya que el 65% restante de las referencias sólo suponen el 5% del valor anual de las compras.

## 5.7. TÉCNICAS DE GESTIÓN EMPLEADAS

Las técnicas de gestión de stocks empleadas para los distintos grupos son las siguientes:

- **Artículos del grupo A:** aprovisionamiento en fechas fijas (técnica clásica) y el sistema «just in time» (JIT) que se verá en el capítulo 7.

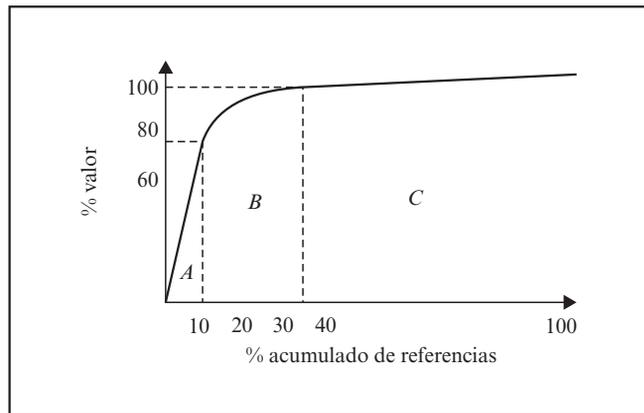


Figura 5.4. Diagrama ABC.

- **Artículos del grupo B:** punto de pedido, lote económico y stock de seguridad, ya vistos en los apartados 5.4, 5.5.
- **Artículos del grupo C:** caja de reserva.

### 5.7.1. Aprovisionamiento en fechas fijas

El sistema consiste en que a intervalos de tiempo prefijados se revisa la existencia disponible y los pedidos pendientes de recibir, y se pide una cantidad tal que sumada al ser recibida a la disponible no debería sobrepasar un stock máximo prefijado.

Llamemos:

*Pr*: Período de revisión de existencias.

*Emáx*: Stock máximo fijado.

*ta*: Tiempo aprovisionamiento en fracciones de año.

*Q*: Cantidad a pedir.

Para determinar el período de revisión se parte de la fórmula del lote económico  $Qe = \sqrt{\frac{2GS}{uT}}$  y el período de revisión de existencias se calcula así:  $Pr = \frac{Qe}{S}$ ; sustituyendo *Qe* por la expresión anterior tendremos:

$$Pr = \frac{Qe}{S} = \sqrt{\frac{2SG}{S^2uT}} = \sqrt{\frac{2G}{SuT}}$$

La fórmula para determinar la cantidad a pedir será la siguiente:

$$Q = Emáx - [(Exist. + Ped. ptes.) - ta \times S]$$

### 5.7.2. Caja de reserva

Los artículos del grupo C, al influir tan poco en el inmovilizado, son pedidos en cantidades para varios meses y con la suficiente antelación, ya que sería imperdonable tener paros, por ejemplo en una cadena de montaje, por falta de éstos. La cantidad pedida acostumbra a cubrir las necesidades de unos 2 o 3 meses para aquellos artículos que están más cerca de los del grupo B y una cantidad aproximada para 6 meses para los demás.

Se utiliza la «**caja de reserva**» como indicador para efectuar un nuevo pedido. Este sistema consiste en tener una cantidad en una caja precintada que sólo se abre cuando ya no quedan más existencias. La cantidad es tal que cubre con suficiente holgura las necesidades hasta que llegue el pedido que ahora se cursa. Cuando se abre la caja, en su interior hay un vale que se entrega en compras como indicador de que hay que pedir.

## 5.8. EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DEL STOCK DE SEGURIDAD

Veamos una forma práctica de determinación del stock de seguridad cuando se dispone de la estadística de ventas del producto mes a mes durante varios años.

**Caso 1.** El valor del coste de rotura puede ser precisado.

**Datos:** precio unitario  $u = 300$  u.m. Margen = 100 u.m. Promedio venta diario = 3 artículos.

Período aprovisionamiento = 3 días. Tasa de posesión de stocks = 15%.

Gastos puesta a punto fabricación especial = 450 u.m.

El **período de revisión es de un mes** o, lo que es lo mismo, se pide 12 veces al año.

#### Resolución

Calculemos el coste de una rotura de stocks:

Si trabajamos sin stock de seguridad; quedarnos sin stock es entonces cuando realizamos una petición; estaríamos sin vender durante 3 días, y la pérdida del margen de contribución correspondiente sería:  $100 \times 3 \times 3 = 900$  u.m.

Se habría de poner en marcha una fabricación especial cuyo coste es de 900 u.m.

El coste de una rotura de stocks sería  $R = 900 + 450 = 1.350$  u.m.

Tenemos estadística de ventas de 4 años.

TABLA 5.2  
Estadística de ventas mensuales durante cuatro años

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Año 1	110	40	100	50	90	150	50	80	110	160	70	70	1.080
Año 2	60	80	90	60	80	110	90	70	80	190	100	90	1.100
Año 3	110	120	100	50	120	80	40	70	140	100	50	130	1.110
Año 4	70	90	70	90	60	80	90	100	120	110	130	60	1.070

El consumo medio mensual es  $[(1.080 + 1.100 + 1.110 + 1.070) : 4] : 12 = 90$   
El coste anual probable de rotura de stocks Z1:

$$Z1 = \frac{12 \times R \times F(s)}{P} = \frac{12 \times 1.350 \times F(s)}{1} = 16.200 \times F(s)$$

$P = 1$  (revisión mensual) (en el caso de revisión anual  $P = 12$ ).  
El coste anual probable de posesión de stocks, Z2, será:

$$Z2 = T \times u \times Ss = 0,15 \times 300 \times Ss = 45 \times Ss$$

Siendo Ss: Stock de seguridad.  
Confeccionamos la tabla 5.3 de frecuencias de las ventas en orden decreciente.

TABLA 5.3  
Tabla para determinar el stock de seguridad más económico

Salidas mensuales por orden decreciente	Frecuencias observadas	Frecuencias observadas acumuladas	Frecuencias observadas acumuladas en % $100 \times F(s)$	Desviación de las salidas respecto a la media Ss: stock seguridad)	Gastos de rotura de stock Z1	Gastos de posesión de stock seguridad Z2	Gastos totales Z1 + Z2
190	1	1	2,1	100	338	4.500	4.838
160	1	2	4,2	70	675	3.150	3.825
150	1	3	6,3	60	1.013	2.700	3.713
<b>140</b>	1	4	<b>8,3</b>	<b>50</b>	1.350	2.250	<b>3.600</b>
130	2	6	12,5	40	2.025	1.800	3.825

TABLA 5.3 (continuación)

Salidas mensuales por orden decreciente	Frecuencias observadas	Frecuencias observadas acumuladas	Frecuencias observadas acumuladas en % $100 \times F(s)$	Desviación de las salidas respecto a la media Ss: stock seguridad)	Gastos de rotura de stock Z1	Gastos de posesión de stock seguridad Z2	Gastos totales Z1 + Z2
120	3	9	18,8	30	3.038	1.350	4.388
110	5	14	29,2	20	4.725	900	5.625
100	5	19	39,6	10	6.413	450	6.863
90	7	26	54,2	0	8.775	0	8.775
80	6	32	66,7	-10	10.800	-450	10.350
70	6	38	79,2	-20	12.825	-900	11.925
60	4	42	87,5	-30	14.175	-1.350	12.825
50	4	46	95,8	-40	15.525	-1.800	13.725
40	2	48	100,0	-50	16.200	-2.250	13.950

En la 3.<sup>a</sup> columna, podemos ver que en 48 ocasiones las ventas fueron de 40 unidades o más (como en efecto sucedió), que en 26 ocasiones las ventas fueron de 90 unidades o más, que en 1 ocasión las ventas fueron de 190 unidades o más.

En la 4.<sup>a</sup> columna, podemos ver que en el 100% de las ocasiones las ventas fueron de 40 unidades o más, que en el 54,2% de las ocasiones las ventas fueron de 90 unidades o más y que en el 2,1% de las ocasiones las ventas fueron de 190 unidades o más.

En la 5.<sup>a</sup> columna podemos ver las desviaciones respecto a 90 (venta media mensual).

En la 6.<sup>a</sup> y 7.<sup>a</sup> columnas, los cálculos correspondientes de Z1 y Z2.

En la 8.<sup>a</sup> y última columna, el coste total de la rotura de stocks.

Puede verse en la tabla que el coste mínimo es el valor 3.600, que corresponde al caso de trabajar con un stock de seguridad de 50. La probabilidad de romper stock podemos ver que es de un 8,3%.

**Caso 2.** El valor del coste de rotura no puede ser precisado. Trabajamos con los mismos datos.

Supongamos que fijamos un riesgo de una rotura al año:  $F(s) = \frac{1}{12} = 0,083$  que corresponde a un stock de seguridad de 50 unidades.

Para un riesgo de 2 roturas al año:  $F(s) = \frac{2}{12} = 0,166$ , interpolando en la tabla 5.3

vemos que corresponde a un stock de seguridad de 35 unidades.

Así calcularemos el resto de los valores que figuran en la tabla 5.4.

En la última columna está calculado el coste anual de posesión del stock de seguridad.

TABLA 5.4  
*Cálculo del coste anual de posesión del stock de seguridad*

Número de roturas probables aceptadas por año	Stock de seguridad en cantidad (s)	Coste anual de posesión del stock de seguridad $Z_2 = T \times u \times S$
3	25	1.125
2	35	1.575
1	50	2.250
0,5	70	3.150
0,25	100	4.500

Podemos ver la rapidez con que se incrementaría el coste anual de posesión del stock de seguridad conforme deseáramos disminuir el número de roturas de stock en el año y, a la vista de ello, tomar la decisión más oportuna.

## RESUMEN

**El material comprado** por la empresa tiene tres clases de costes: coste de la compra, coste de posesión del stock y coste de adquisición del stock.

**El coste de posesión de stocks anual** es lo que le cuesta a la empresa mantener el stock durante un año; será tanto mayor cuanto mayor sea el valor de éste, así como también dependerá del tipo de interés bancario del dinero, del espacio ocupado, primas de seguros, personal utilizado, posibilidad de deterioro de los materiales, obsolescencia, etc.

**El coste de adquisición anual** de los pedidos son todos los costes que comportan el poder disponer del material correspondiente, incluye: personal que detecta la falta de material, personal de compras, de aprovisionamiento, de recepción, de control de calidad de entrada, de almacén, etc. Será tanto mayor cuantos más pedidos hagamos para cubrir las necesidades del año.

**Lote económico** será la cantidad a pedir cada vez que se detecte la necesidad, para así conseguir que la suma de los costes de posesión y de adquisición sean mínimos.

**La fórmula del lote económico es:**

$$Q_e = \sqrt{\frac{2GS}{uT}}$$

**El punto de pedido** representa la existencia llegada a la cual debe emitirse el pedido y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Stock de seguridad} + (\text{Consumo normal} \times \text{Plazo aprovisionamiento})$$

**El stock de seguridad** es una cantidad que no se necesita utilizar si el consumo es el normal y no hay retraso en el plazo de entrega, y cubre con una cierta probabilidad el no quedarnos sin stock.

**El diagrama ABC** sirve para analizar la importancia de las piezas ya sean de adquisición externa o fabricadas internamente (por su volumen, por su precio, etc.), y en función de ello controlar las piezas con una u otra técnica de gestión de stocks.

**El proceso para la confección del diagrama ABC** es el siguiente: 1.º Saber consumo anual de cada pieza y su precio. 2.º Se multiplica el consumo de cada pieza por su precio. 3.º Se ordenan de mayor a menor valor. Representamos en unos ejes coordinados los valores de acumulado en porcentaje de referencias en el eje de las X y los valores de acumulado en porcentaje del valor en el eje de las Y. Unidos los puntos obtenidos con estas coordenadas nos dará una gráfica.

Los puntos de inflexión de la gráfica nos permiten observar tres partes diferenciadas: un tramo recto, una curva y otro tramo recto, los cuales nos determinan las zonas A, B y C.

**Los artículos de la zona A** son los que se deben controlar mejor ajustando al máximo las existencias, ya que son el 10% de los productos y representan el 75% del total del valor de las compras.

**Los artículos de la zona B** no requieren ser controlados con el rigor de los de A ya que el 25% de los productos representan el 20% de las compras.

**Los artículos de la zona C**, por su menor importancia, no serán controlados tan estrictamente ya que el 65% restante de las referencias sólo suponen el 5% de las compras.

**Las técnicas de gestión de stocks** empleadas para los distintos grupos son las siguientes:

Artículos del grupo A: aprovisionamiento en fechas fijas (técnica clásica) y el sistema «just in time» (JIT); artículos del grupo B: punto de pe-

dido, lote económico y stock de seguridad; artículos del grupo C: caja de reserva.

**El aprovisionamiento en fechas fijas** consiste en que, a intervalos de tiempo prefijados, se revisa la existencia disponible y los pedidos pendientes de recibir y se pide una cantidad tal, que sumada al ser recibida a la disponible no debería sobrepasar un stock máximo prefijado.

**El período de revisión en el aprovisionamiento en fechas fijas** se determina por la siguiente fórmula:

$$Pr = \sqrt{\frac{2G}{SuT}}$$

**La cantidad a pedir en el aprovisionamiento en fechas fijas** se determina con la fórmula siguiente:

$$Q = Emáx - [(Exist. + Ped. ptes.) - ta \times S].$$

**La «caja de reserva»** consiste en tener una cantidad en una caja precintada que sólo se abre cuando ya no quedan más existencias. La cantidad es tal que cubre con suficiente holgura las necesidades hasta que llegue el pedido que ahora se cursa. Cuando se abre la caja, en su interior hay un vale que se entrega en compras como indicador de que hay que pedir.

## CUESTIONES

1. Mediante el diagrama *ABC* se determina que, aproximadamente, el porcentaje de referencias compradas al exterior que corresponden al grupo A es de: ... %, y que representan el: ... % del valor total de las compras.
2. Ídem respecto a las del grupo B: ... % de las referencias, .... % del valor total de las compras.
3. Ídem respecto a las del grupo C: ... % de las referencias, ... % del valor total de las compras.
4. Para la gestión clásica de los stocks del grupo A se debe determinar...
5. Las técnicas empleadas para la gestión de los stocks del grupo B son...
6. Las técnicas empleadas para la gestión de los stocks del grupo C son...
7. Explicar los pasos a seguir para realizar un diagrama *ABC*.
8. ¿Qué se conoce como coste de emisión de un pedido? Indicar todos los costes que la componen.
9. ¿Qué se conoce como coste de lanzamiento de una orden de fabricación? Indicar todos los costes que la componen.
10. ¿Qué se conoce como coste de posesión de stock y cómo se calcula?
11. En general, en la gestión de los stocks de lo que se trata es de minimizar la suma de los costes de ... y de ...
12. En la gestión de los artículos del grupo B, la cantidad llegada a la cual ya hay que emitir el pedido se llama... y la cantidad a pedir se llama...
13. ¿Qué significa el término JIT?
14. El JIT se emplea básicamente para la gestión de los productos del grupo...
15. El consumo anual previsto de una determinada pieza es de 5.000 unidades y su precio de compra unitario 20 u.m. El coste de adquisición por pedido es de 200 u.m., la tasa de posesión de stocks se puede cifrar en un 20%. Calcular: 1.º El coste total anual de posesión y de adquisición en los casos de realizar 1, 3, 6 y 12 pedidos al año. 2.º Indicar qué caso resulta más económico. 3.º Cantidad del lote económico y número de pedidos al año más conveniente.
16. Calcular el stock de seguridad para un 95% de grado de confianza de que no habrá rotura de stocks de un producto cuyo consumo normal diario es de 1.000 unidades, el tiempo de aprovisionamiento 50 días y la variabilidad de la demanda en tanto por uno 0,10.
17. Calcular el punto de pedido de un producto cuyo stock de seguridad es de 300 unidades, su consumo medio diario es de 20 unidades, y el período de aprovisionamiento 30 días.
18. Calcular el punto de pedido de una materia prima cuyo consumo anual es de 6.000 kg, el plazo de aprovisionamiento 2 meses y el stock de seguridad cubre las necesidades de 15 días.
19. De un producto tenemos los siguientes datos: Precio unidad: 10 u.m. Consumo anual: 4.000 unidades. Coste de adquisición por pedido: 500 u.m. Tasa de posesión de stock: 10%.  
Calcular: 1.º Lote económico. 2.º Coste de posesión anual del stock.

20. De un producto tenemos los siguientes datos: Precio unidad: 12,5 u.m. Consumo diario: 178 unidades. Plazo de entrega = 7 días. Coste de adquis./pedido: 500 u.m. Coste de almacenamiento = 1,25 u.m./unidad y año. Número de días laborables/año = 360. Stock de seguridad = 600.  
Calcular: 1.º Tamaño lote de pedido que minimiza los costes totales de gestión de stocks. 2.º Número de pedidos a realizar por año. 3.º Punto de pedido. 4.º Coste total anual de la gestión.
21. Determinar el período de revisión y la cantidad a pedir de un producto de grupo A, cuyo consumo anual es de 12.000 piezas, el precio unitario: 2.000 u.m., el tiempo de aprovisionamiento: 18 días, el coste de adquisición por pedido: 500 u.m., y la tasa de posesión de stocks: 0,10. El stock máximo fijado es de 500 piezas. En el momento de realizar el pedido, las existencias más los pedidos pendientes ascienden a 800 piezas.
22. Hallar la cantidad del pedido de compras más económico teniendo en cuenta los descuentos en función de la cantidad del pedido.  
La cantidad anual consumida es de 120.000 kg.  
El coste de adquisición por pedido: 1.500 u.m.  
La tasa de posesión de stocks: 0,15.  
Existen cuatro tipos de ofertas. ¿Cuál de las cuatro nos interesa más escoger?

	Cantidad del lote (kg)	Precio/kg
1	5.000	15,5
2	10.000	14,8
3	20.000	14,3
4	40.000	14,2

## RESPUESTAS A LAS CUESTIONES

1. 10%; 75%.
2. 25%; 20%.
3. 65%; 5%.
4. El stock máximo, el período de revisión y, llegado el momento, la cantidad a pedir.
5. Punto de pedido, lote económico y stock de seguridad.
6. Caja de reserva.
7. a) Se confecciona una lista con todas las referencias.  
b) Se ordenan de mayor a menor valor.  
c) Se calcula el valor en acumulado para cada una de las referencias.  
d) Se calcula el % que representan respecto al total.  
e) Se calcula el número de referencias en acumulado para cada una de las referencias.

- f) Se calcula el% que representan respecto al total.  
Así se podrá ver que aproximadamente el 10% de las referencias supone aproximadamente el 75% del valor total.
8. Es el coste que comporta cada pedido que se emite, a saber:
- Detección de qué es necesario pedir.
  - Confección del pedido.
  - Envío del pedido.
  - Vigilancia de que se cumpla el plazo de entrega.
  - Recepción (descarga, control de cantidad y calidad, transporte interno).
  - Trámite administrativo para el pago al proveedor.
9. Es el coste que comporta cada orden de fabricación que se lanza, a saber:
- Detección de qué es necesario fabricar.
  - Confección de la documentación (vales de materiales, bonos de trabajo...).
  - Lanzamiento.
  - Preparación de las máquinas.
  - Vigilancia de que se cumpla el plazo de fabricación.
  - Control de cantidad y calidad.
  - Transporte interno.
10. Coste de posesión de stocks es lo que cuesta mantener el stock y se calcula multiplicando el valor del stock por la tasa de posesión de stock (que tiene en cuenta, además del interés bancario del dinero, el seguro de las mercancías, el riesgo de obsolescencia, espacios...).
11. Emisión (lanzamiento); posesión.
12. Punto de pedido; lote económico.
13. *Just in time* (Justo a tiempo).
14. A.
15. Coste anual de adquisición =  $G \times (S : Q) = G \times n$   
Coste anual de posesión =  $Q/2 (uT)$

$n = \text{N.º de pedidos al año}$	Cantidad del lote: $Q = S : n$	Coste anual de adquisición = $G \times n$	Coste anual de posesión = $Q/2 (uT)$	Coste total
1	5.000	200	$(5.000)/2 \times (20 \times 0,20) = 10.000$	10.200
3	5.000 : 3	$200 \times 3 = 600$	$(5.000 : 3)/2 \times (20 \times 0,20) = 3.333$	3.933
6	5.000 : 6	$200 \times 6 = 1.200$	$(5.000 : 6)/2 \times (20 \times 0,20) = 1.666$	<b>2.866</b>
12	5.000 : 12	$200 \times 12 = 2.400$	$(5.000 : 12)/2 \times (20 \times 0,20) = 833$	3.233

Puede verse que corresponde a realizar 6 pedidos al año.

$$\text{Lote económico } Q_e = \sqrt{\frac{2GS}{uT}} = \sqrt{\frac{2 \times 20 \times 5.000}{20 \times 0,20}} = 707$$

$$\text{Número de pedidos} = 5.000 : 707 = 7$$

16. Stock de seguridad =  $(Cn \times \text{ta}_{\text{prov.}}) \times 2\sigma = 1.000 \times 50 \times 2 \times 0,10 = 10.000$

17. Pto. de pedido =  $(Cn \times \text{ta}) + \text{stock de seguridad} = (20 \times 30) + 300 = 900$

18. Pto. de pedido =  $(\text{consumo medio} \times \text{plazo aprovis.}) + \text{stock de seguridad} = (6.000/12) \times 2 + (0,5 \times 500) = 1.250 \text{ kg}$

19. 1.º  $Qe = \sqrt{\frac{2GS}{uT}} = \sqrt{\frac{2 \times 500 \times 4.000}{1 \times 0,10}} = 2.000$

2.º  $C_{\text{pos.}} = (Qe/2) \times u \times T = (2.000/2) \times 1 \times 0,10 = 100$

20. 1.º  $Qe = \sqrt{\frac{2GS}{uT}} = \sqrt{\frac{2 \times 500 \times 64.080}{1,25}} = 7.160$

2.º Número de pedidos al año =  $S/Qe = 64.080/7.160 = 9$

3.º Pto. de pedido  $(S \times \text{ta}) + \text{stock seguridad} = (178 \times 7 \text{ días}) + 600 = 1.846$

También =  $(64.080 \times 7/360) + 600 = 1.846$

4.º  $CT = Ca + Cp = 4.500 + 4.475 = 8.975$

$Ca = G \times \text{n.º pedidos al año} = 500 \times 9 = 4.500$

$Cp = (Qe/2) \times u \times T = (7.160/2) \times 1,25 = 4.475$

21. 1.º  $Qe = \sqrt{\frac{2 \times 500}{12.000 \times 2.000 \times 0,10}} = 0,020 \text{ años} = 1 \text{ semana}$

2.º  $Q = E_{\text{máx}} - (\text{Exist.} + \text{Ped. ptes.}) - \text{ta} \times S = 500 - (800 - 18/360 \times 12.000) = 300$

22.  $CT = S \times u + (S/Q) \times G + (Q/2) \times u \times T$

$CT_1 = 120.000 \times (15,5 + 1.500/5.000) + (5.000/2) \times 15,5 \times 0,15 = 1.901.813$

$CT_2 = 120.000 \times (14,8 + 1.500/10.000) + (10.000/2) \times 14,8 \times 0,15 = 1.805.000$

$CT_3 = 120.000 \times (14,3 + 1.500/20.000) + (20.000/2) \times 14,3 \times 0,15 = \mathbf{1.746.450}$

$CT_4 = 120.000 \times (14,2 + 1.500/40.000) + (40.000/2) \times 14,2 \times 0,15 = 1.751.100$

Como puede verse, nos interesa más la  $CT_3$ .

# 6

## Programación, lanzamiento y control de producción (planificación a muy corto plazo)

### Después de leer este capítulo usted deberá:

- Describir qué es programar una operación y las fases que la componen.
- Describir los problemas que aparecen en la programación de operaciones.
- Describir los objetivos que se persiguen cuando se programan operaciones.
- Describir reglas de programación de operaciones.
- Enumerar los diferentes algoritmos de programación.
- Resolver problemas de programación mediante algoritmos.
- Describir en qué consiste el lanzamiento de una orden de producción.
- Describir diferentes acciones para solucionar las desviaciones que se producen entre lo programado y lo real.

### 6.1. INTRODUCCIÓN

La naturaleza y la complejidad de la función de programación varían enormemente entre los diferentes sistemas de fabricación.

En la **fabricación continua**, la mayoría de los problemas de programación suelen ser bastante simples, la capacidad de producción es fija y se determina al diseñar la línea de producción. Ejemplos de sectores de fabricación continua: cementeras, fabricación de vidrio plano, siderurgia.

En el caso de fabricación de vidrio plano se programa la fabricación por espesores empezando por el de menor espesor y, cuando se han realizado todos los pedidos de dicho espesor más la cantidad que se quiera destinar a stock, se pasa al espesor inmediato superior y así hasta que se llega al espesor mayor, y vuelta a empezar.

Al otro extremo de la escala de complejidad de la programación se encuentra el **trabajo puro de taller** (trabajo bajo pedido). Ejemplos de sectores de trabajo puro de taller: fabricación de matrices, moldes...

En estas empresas es muy difícil hacer una predicción de la demanda y la consiguiente planificación de la producción.

En el momento menos pensado se recibe una gran cantidad de pedidos como consecuencia de la aceptación por parte de los clientes de ofertas que se enviaron tiempo atrás, y máquinas que estaban prácticamente desocupadas se convierten en máquinas sobrecargadas.

En el taller deben mantenerse clases diferentes de materias primas puesto que no se conoce qué habrá de fabricarse en las próximas semanas. También deberá disponerse de máquinas de propósito general y contar con trabajadores especializados capaces de efectuar diferentes trabajos.

La *distribución en planta* en general es *por procesos*, llamada *distribución funcional*: las máquinas que realizan el mismo tipo de proceso (función) se disponen juntas formando una sección: prensas, taladros, soldadura, etc., con lo que el material es transportado de una sección a otra donde debe realizarse la siguiente operación, formando cola ante la máquina correspondiente.

La función de programación debe asignar los recursos disponibles del taller a los diferentes trabajos que llegan. Es frecuente que los pedidos se cumplan con retraso. Es casi imposible lograr una alta utilización de los equipos y del personal. Son frecuentes altos inventarios en proceso. A menudo se requiere tiempo extra.

Entre los extremos de la fabricación continua y el trabajo puro de taller se presenta otro tipo de fabricación, llamado de **producción intermitente**. Ejemplos de producción intermitente: la industria auxiliar del automóvil, en la que hay empresas que son suministradoras directamente al primer equipo (empresa que ensambla el automóvil), las cuales suministran conjuntos como faros, aparatos de aire acondicionado...

Aunque es posible que un sistema de **producción intermitente** fabrique solamente **bajo pedido**, es frecuente que se atiendan los pedidos de los clientes por medio de los stocks ya que estas empresas disponen de programas orientativos de las necesidades de sus clientes para todos los meses del año (lo que les permite poder planificar la producción). Estos programas, llegado el momento, se ajustan semanalmente a las necesidades reales.

Las existencias de artículos terminados se reponen periódicamente mediante producción por lotes.

En muchas de estas empresas se emplean programas informáticos para la utilización del MRP II.

A menudo muchos de los productos son de naturaleza similar y se procesan en los mismos equipos. La secuencia de las operaciones de fabricación para cada producto es usualmente fija.

La *distribución en planta* para aquellas piezas de las que hay que fabricar grandes cantidades al año es *por productos*, llamada *distribución en línea* (máquinas de distintos tipos se alinean de acuerdo con el proceso de fabricación de la pieza). También se diseña una línea de fabricación en los casos en que formando familias de piezas (piezas similares en cuanto a proceso) se llega a cantidades importantes.

Dentro del sector del automóvil también hay empresas en las que se fabrican piezas sueltas como las de decoletaje (tornos automáticos), las que embuten, estampan, inyectan o extrusionan, las cuales no tienen ninguna necesidad del empleo del MRP.

De todo lo dicho podemos ver que las circunstancias de las empresas son variadas y que, por tanto, su sistema y complejidad de programación también lo serán.

Hemos visto que la función de planificación de la producción mediante la utilización del MRP determina el período (semanas o días, según el caso) límite en que se deben iniciar las órdenes de fabricación (OF) de los lotes de los diferentes subconjuntos y componentes; por otro lado, control y gestión de stocks indica cuándo (en qué período) y cuánto (lote económico) debe ser fabricado de los componentes que son comunes a muchos productos.

Puede ser que la OF no indique la máquina concreta que ejecutará cada una de las operaciones (puede darse el caso de operaciones que pueden ser ejecutadas indistintamente en una u otra máquina del grupo funcional homogéneo (GFH)<sup>1</sup> indicado en el proceso de fabricación).

Por otro lado, surge el problema cuando se presentan múltiples requerimientos prácticamente simultáneos en un centro de trabajo.

En definitiva, planificación de la producción indica en qué períodos deberían iniciarse las OF o más tardar para que éstas estén acabadas en el período en que se necesitan, pero presenta dificultades para programar las distintas operaciones de la OF, y ¿qué se entiende por programar una operación?, ¿qué pasos deben darse para programar una operación? Aclaremos antes de nada la terminología.

## 6.2. TERMINOLOGÍA

**Programar** una operación es determinar la hora de inicio y finalización de dicha operación.

Para ello previamente tendrá que haber sido *cargada* (asignada su realización en una máquina concreta) y posteriormente puesta en *secuencia* (determinado el orden de ejecución de entre las diferentes operaciones que esperan ser procesadas en dicha máquina), entonces ya es cuando se podrá determinar la hora de inicio y finalización.

La **carga** precede a la puesta en **secuencia** y ésta, a su vez, precede a la **programación**.

**Período de programación** es el período durante el cual se considera fijo un programa; debe ser tan corto como sea posible. Puede variar entre unas pocas horas y una semana. Durante este tiempo solamente se aceptan órdenes de producción de emergencia.

Un período ideal de programación sería de cero, o sea, que las órdenes se recibirían y se asignarían continuamente, el trabajo en proceso y la programación se revisarían continuamente como resultado de las condiciones, en continua mutación dentro de la planta.

---

<sup>1</sup> GFH: grupo de máquinas que pueden realizar el mismo tipo de operaciones, aunque la producción por hora que pueden conseguir en una operación determinada puede ser diferente.

### 6.3. PROBLEMAS EN PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES

A medida que avanzan los trabajos a través de las máquinas, éstos a menudo deben competir con otros trabajos por los mismos recursos escasos formándose colas.

Las máquinas se averían, algunos trabajadores faltan al trabajo, otros rinden por debajo o por encima de los estándares, las herramientas se rompen o se desgastan, los materiales son defectuosos, las máquinas quedan sin trabajo en espera de que llegue del centro precedente. Las OF se cancelan, se reducen o se aumentan. Las materias primas no llegan cuando se espera. Las ventas caen repentinamente o, en la misma forma, aumentan. Marketing inicia una campaña publicitaria de impacto que produce un repentino aumento en la demanda, después del cual ésta oscila rápidamente hasta que el sistema puede volver a equilibrarse. Ingeniería introduce modificaciones en los productos que alteran los tiempos estándar de proceso, los tiempos de preparación, las secuencias de operación, las instrucciones a los operarios, etc.

Es muy difícil ejercer un estrecho control en un ambiente dinámico tal como el que acabamos de describir. No solamente existen muchos factores que contribuyen a la naturaleza dinámica del sistema, sino que, aún más, éstos interactúan entre sí de una manera matemáticamente compleja. Sin embargo, a pesar de estas dificultades, debe realizarse la función de programación.

### 6.4. OBJETIVOS DE LA PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES

Los objetivos de la programación de operaciones son:

- Evitar quedarse sin stocks (empresas que trabajan para stocks).
- Cumplir plazos de entrega (empresas que trabajan sobre pedido).
- Evitar paros de las máquinas y del personal.
- Poco stock en curso de fabricación.
- Evitar horas extras innecesarias.

Estos objetivos deben lograrse dentro del marco general especificado por el plan de producción y de tal manera que *se minimicen los diferentes costes* asociados con el incumplimiento de estos objetivos.

Unas preguntas básicas son: ¿qué es un buen programa?, ¿cómo sabremos que hemos hallado uno?, ¿con qué criterio medimos la «bondad» de un programa? Podríamos estar buscando el programa que logre completar el mayor número de operaciones durante el período programado; podríamos estar tratando de minimizar el tiempo ocioso en nuestras

máquinas, y es importante señalar que una programación para satisfacer uno de los objetivos puede que lo consiga a costa de no satisfacer los demás.

## **6.5. FASES DE LA PROGRAMACIÓN**

En la figura 6.1, diagrama de flujo de la función de programación de operaciones, pueden verse las diferentes fases: cargar las máquinas, evaluar la carga de trabajo, poner en secuencia los trabajos en cada máquina y desarrollar un programa detallado:

### **1. Cargar las máquinas**

Las órdenes de producción se convierten en operaciones a realizar. Las operaciones se asignan a las máquinas. Cuando son posibles las asignaciones alternativas (GFH), se debe tener en cuenta la carga de trabajo existente en las máquinas alternativas. Se determinan los requerimientos de mano de obra, máquinas y materiales.

### **2. Evaluar la carga de trabajo**

Se comparan los requerimientos de horas de mano de obra y de horas de cada tipo de máquinas con las capacidades correspondientes. Dependiendo del resultado, se toman las decisiones oportunas tales como: implantar turnos adicionales de tarde y de noche, contratar personal temporal, realizar horas extras, etc., para así intentar equilibrar los requerimientos con las capacidades.

### **3. Poner en secuencia los trabajos en cada máquina**

Aquí debemos poner en el orden en que deben efectuarse todas las operaciones asignadas a cada máquina viendo de cumplir los objetivos básicos por orden de prioridad.

### **4. Desarrollar un programa detallado**

Ahora ya se pueden determinar la hora de inicio y finalización de cada una de las operaciones, y el programa está listo para entregarse a lanzamiento y control de producción.

La función de programación no puede realizarse con propiedad sin información actualizada y exacta, lo cual se intenta conseguir a través de un sistema de recolección de datos bien diseñado y de un buen sistema de control de progreso.

## 6.6. DIAGRAMA DE LA FUNCIÓN DE PROGRAMACIÓN

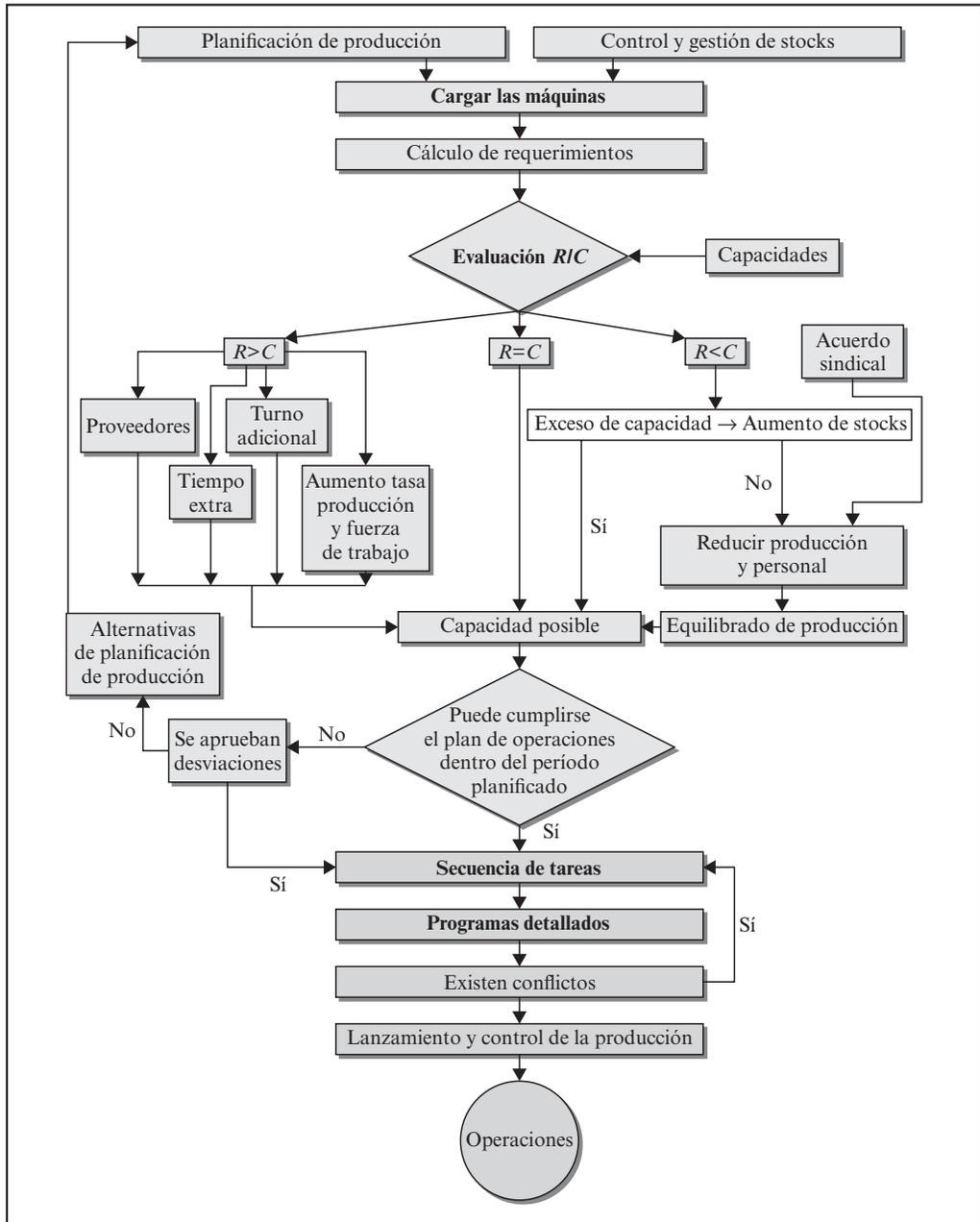


Figura 6.1. Vista general de la función de programación de operaciones.

## 6.7. CARGA DE MÁQUINAS Y EVALUACIÓN DE LA CARGA

Podrían considerarse dos casos: capacidad infinita y capacidad finita.

### Capacidad infinita

Las tareas se cargan a un centro de trabajo de acuerdo con el momento en que deben realizarse para responder a las necesidades del cliente, sin importar la respuesta de la capacidad ante dicha carga. Las tareas se cargan bajo el supuesto de que el centro de trabajo cuenta con una capacidad prácticamente ilimitada (lo cual, por supuesto, no es real).

### Capacidad finita

Visto ya en el apartado 3.4, se trata de incrementar al máximo la capacidad normal disponible para intentar satisfacer de la manera más económica posible los requerimientos dentro del período planificado.

### 6.7.1. Carga de máquinas: método de los índices

Algunas veces, varias máquinas diferentes pueden realizar operaciones similares (es el caso de las máquinas que forman un grupo funcional homogéneo «GFH»). Si éste es el caso, debemos decidir qué operaciones se asignarán a cada máquina. Esta situación se presenta casi exclusivamente en los sistemas de taller (fabricación bajo pedido).

Supongamos que tenemos cinco operaciones que deben ser ejecutadas y tres máquinas disponibles para realizarlas (tabla 6.1). Una máquina determinada puede realizar una operación particular más rápidamente que las otras máquinas, así como puede efectuar otras operaciones con más lentitud que las demás; donde no está anotado ningún valor, es porque esa máquina no puede realizar esa operación particular. Las horas disponibles para asignaciones nuevas se muestran en la fila inferior para cada máquina.

Lo ideal sería poder asignar cada operación a la máquina en particular que pudiera efectuar la operación en el menor tiempo posible.

Para nuestro ejemplo<sup>2</sup>, deseáramos que las operaciones 27A, 32B y 51E fueran realizadas en la máquina 2 ya que es donde menos tiempo se requiere; sin embargo, esto no es posible debido a que el tiempo total de proceso para las tres operaciones es de 180 horas, y sólo disponemos de 110 horas en el período programado. Cuando no es posible ejecutar una operación en la máquina más rápida, quisiéramos poder asignarla a la máquina que le sigue en rapidez.

El método de los índices para carga nos da un procedimiento sistemático para asignar las operaciones a las máquinas de acuerdo con el razonamiento anterior. Este método, por lo general, nos dará una solución óptima en términos de mínimo tiempo total de procesamiento.

---

<sup>2</sup> Del libro *Planificación y control de operaciones*, de Mize, J. H., White, Ch. R. y Brooks, G. M. Prentice-Hall Internacional.

Veamos paso a paso la aplicación del método.

### **Paso 1**

Dado un conjunto de operaciones que deben realizarse dentro de un período programado y las horas disponibles en cada máquina en ese período, construya una tabla similar a la tabla 6.1.

**TABLA 6.1**

*Tiempos de proceso, en horas, para cinco operaciones en tres máquinas optativas*

<b>Operación</b>	<b>Máquina 1</b>	<b>Máquina 2</b>	<b>Máquina 3</b>
22C	100	150	125
27A	200	100	220
44G	25	50	20
32B	40	30	—
51E	60	50	70
Horas disponibles	160	110	150

### **Paso 2**

Determine la eficiencia de cada máquina para cada operación. A la máquina con el menor tiempo de proceso para una operación dada se le asigna un índice de 1,00. A la máquina siguiente en cuanto a duración del tiempo de proceso, se le asigna un valor índice igual a la razón entre el tiempo de proceso en esta máquina y el tiempo de proceso en la máquina más rápida. Continúe hasta haber asignado a todas las máquinas un valor índice para cada operación. Anote estos índices en una tabla como la tabla 6.2.

### **Paso 3**

Las operaciones se asignan ahora a las máquinas con base en el índice más bajo, si hay suficiente tiempo disponible. Si no se dispone del tiempo suficiente, asigne las operaciones a la máquina que tenga el siguiente índice menor, siempre que haya suficiente tiempo disponible. Continúe hasta que todas las operaciones hayan sido asignadas a las máquinas. Cuando se asigna una operación, se coloca entre paréntesis el número de horas requeridas en esa máquina particular, y se anota el tiempo en la fila inferior.

TABLA 6.2  
Método índice para carga

Operación	Máquina 1		Máquina 2		Máquina 3	
	Horas	Índice	Horas	Índice	Horas	Índice
22 C	(100)	1,00	150	1,50	125	1,25
27 A	200	2,00	(100)	1,00	220	2,20
44 G	25	1,25	50	2,50	(20)	1,0
32 B	(40)	1,33	30	1,00	—	—
51 E	60	1,20	50	1,00	(70)	1,40
Horas disponibles	<b>160</b>		<b>110</b>		<b>150</b>	
Horas asignadas	100		100		20	
	40				70	
	<b>140</b>		<b>100</b>		<b>90</b>	

#### Paso 4

(Opcional) Puede ser posible mejorar la carga mediante inspección visual o manipulación. Puede ser deseable, por ejemplo, repartir el trabajo en varias máquinas, particularmente si el método de los índices llevó a cargar unas máquinas más fuertemente que otras.

### 6.7.2. Evaluación de la carga

Los requerimientos de mano de obra por especialidades y horas de máquina de cada tipo se comparan con las capacidades correspondientes.

El cálculo de estas capacidades está en función del número de trabajadores, del número de máquinas de cada tipo, del calendario detallado para el período de programación, cambio en el número de turnos, cantidad de horas extras que pueden realizarse, posibilidad de recurrir a subcontratos. Todas las decisiones que se tomen para aumentar la capacidad deben amoldarse al plan general de operaciones, o debe obtenerse aprobación para desviaciones significativas.

**Nota:** Lo ideal para que haya la máxima flexibilidad en cuanto a la capacidad disponible de cualquier tipo de máquina es contemplar la posibilidad de tener personal en los tres turnos de trabajo, con lo que en aquellos puestos de trabajo en que puntualmente hubiera puntas de carga se podría trabajar las 24 horas.

**Estas puntas de carga en ocasiones se originan debido a averías en las máquinas, dando lugar a acumulaciones de trabajos pendientes.**

## 6.8. PONER EN SECUENCIA Y PROGRAMA DETALLADO

Una vez que disponemos de la capacidad suficiente para cumplir lo planificado, se procede a poner en secuencia las distintas operaciones en sus máquinas respectivas.

De las diversas técnicas de toma de decisiones, algunas contienen sofisticados procedimientos matemáticos mientras que otras se refieren a enfoques sólo de sentido común. A menudo se tendrán que utilizar combinaciones de varias técnicas para realizar la función de programación en una planta particular.

En un extremo están los enfoques directos, de sentido común, aplicables tan sólo a un pequeño número de situaciones y tal vez a sólo una empresa.

En el otro extremo están los enfoques altamente sofisticados, que pretenden ser muy generales y aplicables a una amplia gama de situaciones de programación, pero están tan limitados por las suposiciones restrictivas, que tan sólo pueden aplicarse directamente en muy pocas situaciones reales.

En la mayoría de las técnicas de programación existen usualmente varias suposiciones. En la mayoría de los casos, a pesar de las suposiciones, resulta un programa útil. Las suposiciones más comunes son:

- Los tiempos de proceso para las operaciones son determinables y conocidos.
- Los tiempos de preparación son determinables y conocidos.
- Cada operación, una vez iniciada, debe completarse antes de que se pueda iniciar otra operación en la misma máquina.
- Las máquinas nunca se averían.
- Las fechas de terminación de las órdenes son conocidas y fijas.
- Las secuencias de operación son fijas.

### 6.8.1. Tipos de enfoques para el secuenciado

Podemos clasificar en cuatro grupos generales los diferentes enfoques: analíticos, iterativos, heurísticos y gráficos.

**Enfoque analítico.** Se ha intentado estructurar el problema de programación en un modelo matemático formal, pero se ha logrado tan sólo para como máximo tres máquinas.

**Enfoque iterativo.** En este enfoque se ensayan todas las combinaciones posibles de secuencias de trabajo en cada máquina y se escoge la mejor. Este enfoque no es práctico debido a la tremenda cantidad de tiempo y de esfuerzo requerido para los cálculos.

**Enfoque gráfico.** Este enfoque ha sido utilizado en plantas de todos los tipos y tamaños y su forma usual es una gráfica de barras, llamada la carta de Gantt.

**Enfoque heurístico.** En este enfoque se utilizan reglas de decisión lógica o modelos de simulación en ordenadores para obtener un programa. Aunque usualmente no obtenemos el mejor programa con este enfoque, se consiguen bastante buenos, con tiempos y esfuerzos razonables para los cálculos.

De todos estos enfoques, los enfoques gráficos y heurísticos han operado bien en la práctica debido a su simplicidad y flexibilidad.

Parece que el mejor método práctico para realizar la función de programación sigue siendo el programador humano ayudado de gráficas, reglas de decisión y, tal vez, de un modelo de simulación en ordenador.

## 6.8.2. Enfoque iterativo

Para mejor entender lo tedioso de este enfoque veamos el siguiente ejemplo<sup>3</sup>:

Supongamos que recibimos tres órdenes de producción que deben ser programadas en tres máquinas. La secuencia de operaciones para cada orden de producción se ha determinado y se considera fija.

En la tabla 6.3 se muestran las tres órdenes de producción y la secuencia de las operaciones. Para cada operación se indican los tiempos de proceso, en horas, y el número de la máquina a la cual se asigna la operación.

Hemos que programar 13 operaciones en las tres máquinas. El objetivo es el de programar las operaciones de tal manera que las órdenes de producción se completen tan pronto como sea posible.

Supongamos, por ejemplo, que las máquinas 1, 7 y 12 ya tienen programadas las operaciones que se indican en la figura 6.2. La escala horizontal representa el tiempo en horas.

Vemos que la máquina 1 tiene dos operaciones asignadas previamente, cada una de las cuales requiere 10 horas de tiempo de proceso. La notación *79E* significa: «operación *E* de la orden de producción 79».

TABLA 6.3

*Programación de tres órdenes de producción en las máquinas 1, 7 y 12*

Orden de producción número	Secuencia de operación	Tiempo de proceso	Máquina número
96	C	10	12
	D	20	1
	A	10	7
	B	20	12
	E	10	1
122	A	10	7
	B	20	12
	D	10	1
	C	10	7
201	B	20	1

<sup>3</sup> *Ibidem*, p. 225.

TABLA 6.3 (continuación)

Orden de producción número	Secuencia de operación	Tiempo de proceso	Máquina número
	C	10	7
	A	10	12
	D	20	1

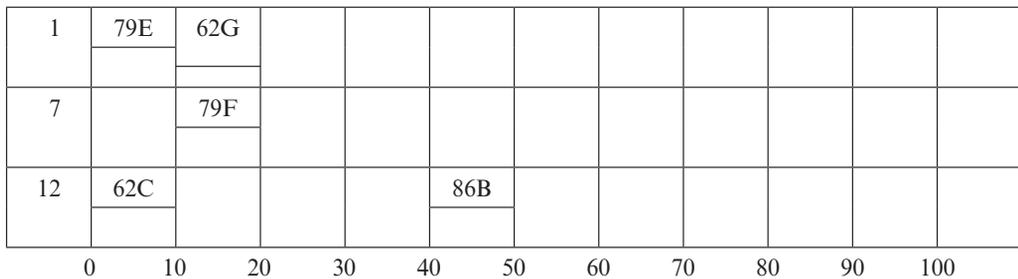


Figura 6.2. Programa en carta de barras que muestra la carga de trabajo inicial.

Coloquemos ahora las operaciones nuevas en la gráfica de barras (figura 6.3). Inicialmente hacemos caso omiso de las operaciones existentes y sólo colocamos cada nueva operación en la posición deseada. Nótese que se han observado las secuencias requeridas de operación mostradas en la tabla 6.3.

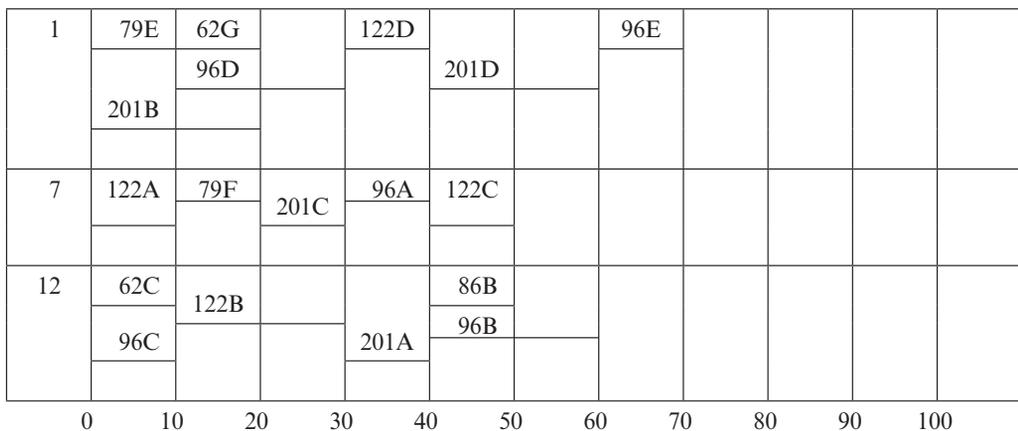


Figura 6.3. Programa en carta de barras que muestra la carga inicial y las operaciones nuevas.

Considerando que sólo se dispone de una máquina de cada tipo, lo que no se podrá es asignar más de una operación al mismo intervalo de tiempo, y vemos que eso es lo que está ocurriendo. Esta situación se conoce como conflicto de programación. Debe entonces deci-

dirse cuál operación se hará primero, cuál segunda, etc. A este proceso lo llamamos de resolución de conflictos.

Cuando se haya resuelto todos los conflictos (o sea, cuando hemos eliminado todas las superposiciones de operación en todas las máquinas) dentro de las restricciones de la secuencia original de operaciones, habremos generado un programa factible. Decimos que un programa es factible cuando puede funcionar. Puede que no sea el mejor programa, o un buen programa, pero puede ejecutarse.

El problema de resolver conflictos de programación es más complejo de lo que puede parecer a primera vista, debido primordialmente a las interdependencias entre máquinas, ocasionadas por las secuencias requeridas de operación.

En la figura 6.3 parece que no existen conflictos en la máquina 7 y que las cinco operaciones pueden realizarse durante los intervalos de tiempo que les hemos asignado. Sin embargo, podemos ver rápidamente que las resoluciones de programación en la máquina 1 obligarán al desplazamiento de algunas de las operaciones en la máquina 7 debido a la secuencia requerida de operaciones.

Al desplazar hacia la derecha una de las operaciones superpuestas, se ocasionará una demora de tiempo, con lo que el tiempo de iniciación de la siguiente operación en la misma orden de producción (pero en una máquina diferente) se demorará en un tiempo equivalente.

Una pregunta que surge naturalmente es cómo deben resolverse los conflictos. Aun en un programa tan pequeño como el que se muestra en la figura 6.3, la complejidad del problema de programación es casi abrumadora. Intuitivamente, podríamos vernos tentados a ensayar todas las resoluciones posibles de conflictos y escoger la mejor. Puede demostrarse que, en teoría, son posibles  $(7!)(5!)(6!) = 435.456.000$  resoluciones diferentes para este pequeño problema; no es, por tanto, un procedimiento razonable.

Todavía, el problema total es mucho más complejo ya que debe considerarse la posibilidad de tiempos variables de proceso (en vez de los tiempos conocidos que hemos supuesto), la no disponibilidad de personal o de materiales, daños en los equipos, órdenes de emergencia y otros factores.

### **6.8.3. Enfoque tabular y gráfico**

Los métodos tabulares y gráficos se han utilizado durante muchos años para cargar en los equipos operativos los órdenes de trabajo, y para la programación detallada de las operaciones de planta. Estos métodos todavía son útiles, particularmente en el caso de pocas operaciones y de larga duración.

#### **6.8.3.1. Cartas de carga**

Cuando las órdenes de producción se emiten, implican el consumo de recursos disponibles: tiempos de máquina, mano de obra y materiales. Los recursos son limitados para un período dado; esta limitación se llama capacidad.

Posiblemente el método más simple para mantener registros actualizados de carga de máquinas es el de anotar cada nueva orden de producción en una tabla como la que se muestra en la tabla 6.4.

La tabla debe revisarse inmediatamente antes de un período de programación. A medida que el trabajo se va completando para cada operación, el trabajo restante, en horas, se anota en la tabla; de esta manera, se determina periódicamente la carga pendiente de realizar en cada máquina.

TABLA 6.4  
*Carta de carga de máquinas*

N.º Orden de producción	Máquina	Máquina	Máquina
	1	2	3
78		10	7
79	20		
84	16		5
88		12	
89	24	8	
104			6
<b>Carga pendiente</b>	<b>60</b>	<b>30</b>	<b>18</b>

### 6.8.3.2. *Diagrama de Gantt: planning de progresión del trabajo y de carga detallada*

Una de las técnicas más antiguas de que se dispone para programar operaciones en las máquinas es el diagrama de Gantt.

La gráfica de barras de la figura 6.2 es una forma elemental de la carta de Gantt.

A la determinación de la fecha límite en la que deben iniciarse las diferentes operaciones o el envío de los pedidos al proveedor para poder cumplir el plazo de entrega se le llama **programación inversa** o, también, **programación hacia atrás**.

A la determinación del plazo de entrega, teniendo en cuenta la disponibilidad de los medios productivos, las duraciones de las preparaciones, las operaciones y tiempos de espera, se le llama **programación directa** o también **programación hacia delante**.

Hay dos aplicaciones importantes, una es el tablero de *planning* de *progresión del trabajo* y la otra el tablero de *planning* de *carga de máquinas*.

Estos tableros suelen ser metálicos con ranuras donde se alojan las cartulinas que representan cada una de las operaciones a realizar. Estas cartulinas se cortan a una longitud equivalente a la duración de la operación y en la parte superior (la que sobresale de la ranura) en el centro, se anota la referencia de la pieza, el número de la operación y la máquina donde debe realizarse dicha operación; en el extremo superior izquierdo se anota la máquina que hace la operación anterior y en el otro extremo la máquina donde debe realizarse la operación siguiente.

**Tablero de planning de progresión del trabajo**

En la figura 6.4 se muestra un *Planning* de progresión del trabajo basado en la carta de Gantt.

		Días																						
Artículo B		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
B111		B111/1 Torno			B111/2 Pulidora			B111/3 Taladro																
B119		B119/1 Torno			B119/2 Pulidora			B119/3 Taladro																
B128		B128/1 Torno		B128/2 Pulidora																				
B134		B134/1 Torno			B134/2 Pulidora																			
Artículo C		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
C100		C100/1 Torno	C100/2 Fresadora																					
C101		C101/1 Torno			C101/2 Fresadora			C101/3 Taladro																
C102		C102/1 Torno		C102/2 Fresadora																				
C103		C103/1 Torno		C103/2 Fresadora																				
C107		C107/1 Torno																						
C109		C109/1 Torno																						

Figura 6.4. *Planning* de progresión del trabajo.

Puede verse que para poder ensamblar el artículo B, faltan por acabar las piezas B111, B119, B128 y B134 y de cada una de ellas qué operaciones son las que faltan.

**Tablero de planning de carga detallada de máquinas**

En la figura 6.5 se muestra un *planning* de carga de máquinas.

En el extremo izquierdo de cada una de las ranuras se coloca una cartulina con el código de cada una de las máquinas, en la ranura correspondiente a cada máquina se colocan todas las cartulinas de las operaciones a realizar en ella.

El orden en que se colocarán será en función de la urgencia en tener acabadas las diferentes referencias para así poder montar lo antes posible un producto y poder cumplir un plazo de entrega comprometido (empresas que trabajan bajo pedido), o evitar quedarse sin stocks (empresas que trabajan para stocks).

Máquina	Días																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Torno 1	C101/1 Torno			F1	C102/1				C106/1			C109/1												
Torno 2	C103/1			C104/1					C107/1															
Torno 3	C105/1										C108/1													
Fresadora 1	B100/2			B102/2			T1	C101/2 Fresadora				TL1	C103/2											
Fresadora 2	C110/2							C100/2					C102/2											
Taladro 1	A100/3			B100/3				B102/3			S1		C101/3 Taladro											
Taladro 2	B115/3				B118/3				B119/3															
Taladro 3	B112/3					B114/3						B111/3												
Pulidora 1	B120/4				B126/4				B128/4				B134/4											

Figura 6.5. *Planning* de carga detallada de máquinas.

Puede verse que la referencia C101 se colocó en primer lugar en el turno 1 (esta operación en el día de hoy ya está acabada), se vio de situar la siguiente operación, C101/2, lo antes posible en la fresadora 1 (ya está casi acabada, sólo le falta un día y medio), y puede verse que en cuanto acabe está previsto realizarse la tercera operación, C101/3, en el taladro 1.

El cursor indica el día de hoy, y las cartulinas con sombreado oscuro indican que están acabadas.

La escala de tiempo puede estar en cualquier unidad apropiada, horas, días, semanas o meses.

Cuando la carta de Gantt se usa para poner en secuencia varias operaciones provenientes de nuevas órdenes de producción, una buena regla a seguir es la de ordenar la máquina más fuertemente cargada primero, la segunda máquina más fuertemente cargada después, etc.

La carta de programación Gantt debe actualizarse con bastante frecuencia para que pueda reflejar la situación cambiante en la planta.

Ciertos trabajos durarán más tiempo de lo esperado; mientras que otros, menos. Las máquinas podrán averiarse, los trabajadores estar ausentes y los materiales agotarse.

Todos estos factores dificultan mantener actualizada la carta de Gantt con base en el tiempo. Sin embargo, no debe menospreciarse la carta de Gantt como una ayuda para carga de máquinas, para poner en secuencia operaciones y para programar.

## 6.9. ENFOQUE HEURÍSTICO

Cuando son muchas las operaciones a programar y de corta duración pueden llegar a ser muy tediosas las técnicas gráficas descritas en el apartado 6.8. Recordemos el ejemplo que usamos en el apartado 6.8.2, y en el cual sólo se trataba de asignar 18 operaciones a tres máquinas.

En un esfuerzo por obtener procedimientos prácticos de programación se ha dedicado mucho tiempo a desarrollar reglas de decisión lógicas. La mayoría de estas reglas se basan en un funcionamiento heurístico; la mayoría de ellas se diseñan para ser aplicadas en un ordenador.

Las reglas de decisión nos suministran una manera práctica de llegar a buenos programas, pero, en general, no generan programas óptimos.

«¿Qué es un buen programa?». Tal vez podamos enfocar esta pregunta especulando sobre cuál podría ser el programa ideal.

Claramente, un programa ideal sería aquel que consiguiera que:

- Todas las órdenes de producción se terminaran a su debido tiempo: no nos quedaríamos sin stocks de productos acabados (empresas que trabajan para stocks) y cumplimentaríamos los plazos de entrega (empresas que trabajan bajo pedido).
- El tiempo de paro de máquinas y operarios fuera cero.
- No se produjera stock en curso de fabricación, entre máquinas.

Cada uno de estos factores tiene un coste asociado que es indeseable, pero, a menudo, inevitable.

Si no podemos generar un programa ideal, entonces desearemos generar uno que esté tan cercano como sea posible al ideal. Por tanto, nuestro objetivo es el de generar programas

que minimicen la suma de los costes ocasionados por los atrasos, el tiempo de paro y el stock en curso de fabricación.

Se han desarrollado muchas reglas de decisión que intentan lograr este objetivo. En los siguientes párrafos se presentan algunas reglas de decisión típicas, la mayoría de ellas se diseñan para tratar de minimizar únicamente uno de los tres factores de coste que se mencionaron anteriormente.

### 6.9.1. Programación de $n$ órdenes de fabricación en una máquina

**Al que primero llega se le atiende primero: FCFS (*first-come, first-serve*).** Las operaciones se colocan en cola a medida que llegan a una máquina, y se procesan en orden secuencial. Esta regla es probablemente la más usada en la práctica, la más fácil de implantar y se desempeña muy satisfactoriamente en muchas situaciones.

**Al último que llega se le atiende primero: LCFS (*last-come, first-serve*).** Esta regla es muy similar a la anterior, y se utiliza en situaciones en las que las operaciones se apilan en espera de ser procesadas. La operación que está encima se hace a continuación debido a que es lo que más conviene. Existe el peligro, sin embargo, de que las operaciones cerca de la base de apilamiento tengan que esperar mucho tiempo antes de ser efectuadas. Es por ello por lo que se establece un tiempo máximo de espera.

**La operación más corta primero: SOT (*shortest operating time*).** Entre las operaciones que esperan proceso en una máquina, la regla selecciona primero a la que tenga el menor tiempo de procesamiento. Esta regla tiende a minimizar el tiempo ocioso en las máquinas, en especial cuando el trabajo debe fluir en secuencia a través de varias máquinas. Una desventaja obvia es que las operaciones largas se penalizan y pueden verse estancadas en el sistema por largo tiempo. Este problema puede resolverse determinando un límite al tiempo de espera permitido en una máquina para una operación.

**La operación más larga primero: OML (*longest operation time*).** Entre las operaciones que esperan proceso en una máquina, la regla selecciona primero a la que tenga el mayor tiempo de procesamiento. Esta regla es útil cuando se trabaja por encargo y la máquina tiene exceso de carga ya que actuando así el tiempo perdido en preparaciones será menor pudiendo trabajar más horas productivas. También podemos usar esta regla como una guía para rehusar los trabajos de corta duración.

**Fecha de terminación más próxima: EDDF (*earliest due date first*).** Se procesa primero la operación que tenga más cerca la fecha de terminación planificada. Esta regla tiende a minimizar el retraso general de los órdenes.

**Holgura estática.** Es la diferencia entre la fecha de vencimiento y el tiempo de la operación. Se realiza primero la de menor holgura.

**Menor ratio crítico: CR (*critic ratio*).** Es el cociente entre la diferencia de la fecha de vencimiento y el tiempo de la operación y el número de días hábiles que quedan hasta la fecha de vencimiento. Se realiza primero la de menor ratio crítico.

**Menor tiempo de espera: STR (*slack time remaining*).** Para cada operación que espera procesamiento en una máquina, el tiempo de proceso restante de esta orden se resta del

tiempo que falta hasta la fecha de entrega. La operación para la cual este valor sea el menor se realiza primero.

**Mínimo tiempo de espera por operación: STR/OP (slack time remaining per operation).** Para cada operación que espera procesamiento en una máquina, el tiempo de proceso restante de esta orden se resta del tiempo que falta hasta la fecha de entrega y este resultado se divide luego por el número de operaciones restantes. La operación para la cual este valor sea el menor se realiza primero.

**Primero todo el grupo del pedido que más tiempo está en espera.** En máquinas especiales como las biseladoras de espejos de vidrio, los pedidos de los clientes se agrupan por la dimensión del bisel (usualmente de 1-6 cm), y dentro de esta dimensión de bisel hay pedidos de piezas con espesores diferentes (usualmente de 3-8 mm). Estas máquinas son muy laboriosas de preparar por lo que cuando se preparan para una dimensión de bisel (el cambio de espesor dentro del mismo bisel supondrá un reglaje) se realizan todas las piezas que tengan esa dimensión aunque sea un pedido que acaba de llegar.

## 6.9.2. Programación de $n$ órdenes de fabricación en dos máquinas

Además de las reglas de decisión anteriormente vistas, se han ideado algoritmos.

**Expresión general:**  $n/m/F$  o  $G/Lmáx.$

$n$  = N.º de OF;  $m$  = N.º máquinas

$F$  = No hay retrocesos en ninguna O.F.

$G$  = Hay retrocesos en alguna/s O.F.

$Lmáx.$  = Criterio a optimizar

### 6.9.2.1. Algoritmo de Johnson $n/2/F/Lmáx$

$Lmáx.$  = Evitar tiempos de espera en la 2.ª máquina.

El algoritmo dice: Seleccione el menor valor de todos, si éste pertenece a la primera máquina (A), la OF correspondiente sitúela en primer lugar, pero si pertenece a la segunda máquina (B) sitúela en último lugar; una vez situadas táchelas de la tabla, y siga del mismo modo con el resto.

	Horas	Máquina
OF	A	B
$a$	4	3
$b$	5	4
$c$	3	2
$d$	6	4
$e$	7	6
$f$	2	6
Suma	27	25

El resultado de la aplicación es:  $f, e, b, d, a, c$ .

**La solución encontrada con este algoritmo es la óptima.**

### 6.9.2.2. Algoritmo de Jackson $n/2/G/Lmáx$

$Lmáx.$  = Disminuir el n.º de horas de paro.

El algoritmo dice que:

En la máquina A se sitúen las OF en el siguiente orden:

- 1.º El conjunto de OF que empiezan en A y después van a B.
- 2.º Las OF que sólo se hacen en A.
- 3.º El conjunto de OF que empiezan en B y después se hacen en A.

En la máquina B en el siguiente orden:

- 1.º El conjunto de OF que empiezan en B y después van a A.
- 2.º Las OF que sólo se hacen en B.
- 3.º El conjunto de OF que empiezan en A y después se hacen en B.

El orden dentro de cada conjunto se establece aplicando Johnson.

OF	Horas máquina	
	A	B
<i>a</i>	—	2
<i>b</i>	3	—
<i>c</i>	4 →	5
<i>d</i>	1 ←	4
<i>e</i>	6 →	5
<i>f</i>	3 ←	7
<i>g</i>	1 →	2
<i>h</i>	3 ←	3
Suma		

El resultado de la aplicación es:

	Horas máquina	
OF	A	B
<i>c</i>	4	5
<i>e</i>	6	5
<i>g</i>	1	2

	Horas máquina	
OF	B	A
<i>d</i>	4	1
<i>f</i>	7	3
<i>h</i>	3	3

Máquina A: *g, c, e, b, h, f, d*.

Máquina B: *h, f, d, a, g, c, e*.

La solución encontrada con este algoritmo es la óptima.

### 6.9.3. Programación de *n* órdenes de fabricación en *m* máquinas

#### 6.9.3.1. Algoritmo de los trapecios *n/m/F/Lmáx*

*Lmáx.* = Acabar lo antes posible todas las OF.

El algoritmo dice: Calcúlese para cada OF los valores de  $S_1$  y  $S_2$ .

Siendo:

$$S_1 = (m - 1) \times tm_1 + (m - 2) \times tm_2 + \dots [m - (m - 1)] \times tm_{m-1}, \text{ y } S_2 = \\ = (m - 1) \times tm_m + (m - 2) \times tm_{m-1} + \dots [m - (m - 1)] \times tm_{[m-(m-2)]}$$

OF	A	B	C	$S_1$	$S_2$
<i>a</i>	3	7	4	13	15
<i>b</i>	5	8	2	18	12
<i>c</i>	7	3	1	17	5
<i>d</i>	6	2	4	14	10
<i>e</i>	2	5	8	9	21
<i>f</i>	1	4	3	6	10

Para la OF *a*:  $S_1 = (2 \times 3) + (1 \times 7) = 13$

$S_2 = (2 \times 4) + (1 \times 7) = 15$

$S_1$  y  $S_2$  representan dos máquinas hipotéticas que sustituyen a  $A$ ,  $B$ ,  $C$ .

Calculados los valores  $S_1$  y  $S_2$  para todas las OF, aplíquese Johnson.

El resultado de la aplicación es:  $f$ ,  $e$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $d$ ,  $c$ .

**La solución encontrada con este algoritmo no se puede asegurar que sea la óptima, pero si no lo es, está muy próxima a la óptima.**

Mediante un diagrama de Gantt, o mediante el siguiente cuadro, puede verse que podrían estar acabadas en la hora 32.

OF	A	B	C
$f$	1	5	8
$e$	3	10	18
$a$	6	17	22
$b$	11	25	27
$d$	17	27	31
$c$	24	30	<b>32</b>

### 6.9.3.2. Algoritmo de Palmer $n/m/F/Lmáx$

$Lmáx.$  = Acabar lo antes posible todas las OF.

El algoritmo dice:

Calcúlese para cada OF el valor de  $S_3 = S_1 - S_2$  y ordénese de menor a mayor valor.

OF	A	B	C	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$a$	3	7	4	13	15	-2
$b$	5	8	2	18	12	6
$c$	7	3	1	17	5	12
$d$	6	2	4	14	10	4
$e$	2	5	8	9	21	-12
$f$	1	4	3	6	10	-4

El resultado de la aplicación es:  $e$ ,  $f$ ,  $a$ ,  $d$ ,  $b$ ,  $c$ .

La fecha de finalización resulta ser también 32.

### 6.9.3.3. Algoritmo de Gupta $n/m/F/Imáx$

$Lmáx.$  = acabar lo antes posible todas las OF.

El algoritmo dice: Calcúlese para cada OF el valor de  $S_4$ , y ordenar de menor a mayor valor.

Siendo:

$$S_4 = x / \text{mín.} (d_i^j + d_i^{j+1})$$

En el que:

$d_i^1$ : Duración de la operación de la primera máquina.

$d_i^m$ : Duración de la operación de la última máquina.

$$1 \leq j \leq m$$

$$X = 1 \text{ si } d_i^1 \geq d_i^m$$

$$x = -1 \text{ si } d_i^1 \leq d_i^m$$

OF	A	B	C	$S_4$
a	3	7	4	-1/10
b	5	8	2	1/10
c	7	3	1	1/4
d	6	2	4	1/6
e	2	5	8	-1/7
f	1	4	3	-1/5

Para la OF a:  $d_i^j + d_i^{j+1}$ :  $3 + 7 = 10$ ;  $7 + 4 = 11$ ; el menor valor es 10.

El resultado de la aplicación es: f, e, a, b, d, c el mismo que se obtuvo con el método de los trapecios.

## 6.10. CONSIDERACIÓN DE LAS HORAS DE PREPARACIÓN EN LA PROGRAMACIÓN

Habría de sumarse el tiempo de preparación al tiempo de ejecución de la operación. Aplicado al mismo ejemplo anterior.

$$S_1 = 2 \times (TP_A + A) + (TP_B + B)$$

$$S_2 = 2 \times (TP_C + C) + (TP_B + B)$$

OF	$TP_A$	$A$	$TP_B$	$B$	$TP_C$	$C$	$S_1$	$S_2$
$a$	1	3	2	7	1,5	4	17	20
$b$	0,5	5	2,5	8	1	2	21,5	16,5
$c$	2	7	4	3	2	1	25	13
$d$	1	6	3	2	3	4	19	19
$e$	1,5	2	1,5	5	1	8	13,5	24,5
$f$	2	1	2,5	4	1,5	3	12,5	15,5

Aplicando Johnson:  $f, e, a, d, b, c$ .

Las horas de finalización de cada una de las operaciones en cada una de las máquinas serían ahora las indicadas en la siguiente tabla:

OF	$A$	$B$	$C$
$f$	3	9,5	14
$e$	6,5	16	25
$a$	10,5	25	30,5
$d$	17,5	30	37,5
$b$	23	40,5	43,5
$c$	32	47,5	<b>50,5</b>

## 6.11. PROGRAMACIÓN EN ENTORNOS MRP Y DE ARRASTRE (PULL)

Las reglas de decisión y algoritmos de secuenciado de operaciones que hemos descrito suelen aplicarse en entornos de producción donde no se utilizan sistemas integrados de control de la producción. En aquellos entornos donde se utilizan métodos integrados (por ejemplo, MRP o sistemas de arrastre kanban), son los propios sistemas los que proporcionan prioridades inherentes de programación (no se descarta en ocasiones la utilización de dichas reglas y algoritmos).

- Sistemas MRP. Como el programa maestro se «explota» mediante la lógica de MRP, la fecha de vencimiento señalada en el programa maestro para cada artículo y los

ajustes por tiempos de espera que utiliza la lógica MRP generarán fechas de vencimiento para todos los subconjuntos y componentes. Estas fechas de vencimiento se emplean después para establecer el orden de prioridad para la producción. En consecuencia, el método MRP usa la programación de prioridades de fecha de vencimiento como parte de la lógica básica del sistema.

- Sistemas de arrastre (pull) kanban. Los sistemas de arrastre (que analizaremos en el capítulo 7) se basan en la necesidad de reemplazar el material que ha sido «arrastrado» desde el stock de acabados del centro de trabajo para su procesamiento en el centro de trabajo siguiente. En este sentido, los sistemas de arrastre son sistemas de prioridad del tipo primero en llegar, primero en ser atendido.
- El sistema híbrido MRP – kanban (Synchro\_MRP, capítulo 7) se presenta como la mejor solución: MRP planifica la producción y kanban la programa.

## 6.12. LANZAMIENTO Y CONTROL DE PRODUCCIÓN

Hasta ahora hemos visto diferentes sistemas para programar la producción y, una vez tomada la decisión de cómo debe llevarse a cabo, ahora debemos considerar cómo se implanta; esto es, cómo se convierte en acción.

Las decisiones deben pasar de la oficina de lanzamiento y control de producción al responsable de planta y de éste a los trabajadores; el material tiene que ser entregado; deben darse instrucciones a los trabajadores; las piezas deben trasladarse de una operación a la siguiente. A medida que se va cumpliendo el trabajo, debemos disponer de un medio de registrar el progreso, de compararlo con lo programado y llevar a cabo luego la acción correctiva que parezca apropiada.

Podríamos afirmar que el propósito fundamental del despacho y control de progreso es el de cerrar el ciclo en nuestro sistema de planificación y control de operaciones. Para lograr esto, debemos buscar medios de detectar cuándo se ha presentado una desviación, analizar lo que ha ocurrido, decidir qué acción correctiva será la apropiada, aplicarla incorporándola a las decisiones de programación siguientes y, finalmente, retroalimentar información sobre el progreso a la sección de planificación para mejorar la planificación futura.

### 6.12.1. Decisiones de despacho y control de progreso

Para cada orden de producción que figura en el programa y que debe ser lanzada, debe prepararse: las hojas de ruta, instrucciones de operación, vales de materiales y utillaje, ficha de trabajo del operario y ordenar la entrega de los materiales, herramientas, plantillas y dispositivos.

Se debe seguir las siguientes fases:

- **Verificación de la disponibilidad y asignación.** Un paso importante antes de lanzar una orden consiste en la verificación de la disponibilidad de los materiales necesari-

rios. Si no hay suficientes materiales disponibles no debería lanzarse, aunque una acción alternativa puede ser lanzar una orden parcial.

Lo que hacen muchos sistemas MRP es, en primer lugar, chequear la disponibilidad de componentes para cualquier orden que un planificador desee lanzar. Si están disponibles suficientes cantidades de cada componente, la orden de trabajo puede crearse. Si se crea la orden, el sistema asigna las cantidades necesarias para la orden de trabajo concreta. Esta asignación significa que esta cantidad está reservada y que, por tanto, no está disponible para cualquier otra orden de trabajo. El balance físico de inventario puede ser mayor, con una diferencia representada por asignaciones a órdenes de trabajo específicas que ya han sido lanzadas, pero para las que las piezas componentes aún no han sido extraídas del inventario.

Para cada orden de producción que debe ser lanzada, debe prepararse: las hojas de ruta, instrucciones de operación, vales de materiales y utillaje, boleto de trabajo del operario y ordenar la entrega de los materiales, herramientas, plantillas y dispositivos.

- **Adquisición de datos.** Una vez en marcha la OF, se debe obtener información debido a que casi siempre se presentarán desviaciones respecto a lo previsto.

Algunas de las principales causas de desviaciones son: los tiempos variables de operación, la actividad variable de los trabajadores, los fallos en los equipos, la calidad variable de los artículos comprados y fabricados, los tiempos variables de entregas de los proveedores, las órdenes de urgencia, las órdenes que se cancelan, los problemas laborales y los conflictos de programación imprevistos que resultan de las relaciones complejas entre las operaciones que se están procesando, a través de las diferentes máquinas.

- **Evaluación de la ejecución.** En general, debemos comparar la ejecución real con la planificada, detectar las desviaciones significativas al plan de producción y determinar acciones correctivas apropiadas.
- **Acción correctiva a corto plazo.** Si existen diferencias significativas entre los hechos planificados y los reales, lo inmediato es solucionarlo mediante alguna de las siguientes acciones: encargar a un lanzador para que apresure la orden atrasada a través de la planta, uso de tiempo extra, utilizar un turno adicional, recurrir a subcontratos, comprar componentes que normalmente fabricamos, demorar ciertos trabajos, rechazar nuevos pedidos, o una combinación de dos o más de las alternativas anteriores.

En este punto del sistema estamos más preocupados con «qué ocurrió y qué hacer», que con determinar por qué ocurrieron las diferencias y qué deberíamos hacer para prevenir estas diferencias en el futuro, es decir, es necesario aplicar la acción correctiva apropiada para evitar que vuelva a ocurrir.

## RESUMEN

- En la **fabricación continua**, la mayoría de los problemas de programación suelen ser bastante simples, la capacidad de producción es fija y se determina al diseñar la línea de producción. Ejemplos de sectores de fabricación continua: cementeras, fabricación de vidrio plano, siderurgia.

- Al otro extremo de la escala de complejidad de la programación se encuentra el **trabajo puro de taller** (trabajo bajo pedido). Ejemplos: fabricación de matrices, moldes...

La función de programación debe asignar los recursos disponibles del taller a los diferentes trabajos que llegan. Es frecuente que los pedidos se cumplan con retraso. Es casi imposible lograr una alta utilización de los equipos y del personal. Son frecuentes altos inventarios en proceso. A menudo se requiere tiempo extra.

- Entre los extremos de la fabricación continua y el trabajo puro de taller se presenta otro tipo de fabricación, llamado de **producción intermitente**. Ejemplo de producción intermitente: la industria auxiliar del automóvil.

Aunque es posible que en un sistema de **producción intermitente** se fabrique solamente **bajo pedido**, es frecuente que se atiendan los pedidos de los clientes por medio de los stocks ya que estas empresas disponen de programas orientativos de las necesidades de sus clientes para todos los meses del año (lo que les permite poder planificar la producción). Estos programas, llegado el momento, se ajustan a las necesidades reales por semanas.

- **Programar** una operación es determinar la hora de inicio y finalización de dicha operación.

Para ello previamente tendrá que haber sido *cargada* (asignada su realización en una máquina concreta) y posteriormente puesta en *secuencia* (determinado el orden de ejecución de entre las diferentes operaciones que esperan ser procesadas en di-

cha máquina); ahora ya es cuando se podrá determinar la hora de inicio y finalización.

La **carga** precede a la puesta en **secuencia** y ésta a su vez precede a la **programación**.

- **Período de programación** es el período durante el cual se considera fijo un programa; debe ser tan corto como sea posible. Puede variar entre unas pocas horas y una semana. Durante este tiempo solamente se aceptan órdenes de producción de emergencia.

- **Problemas en programación de operaciones.**

A medida que avanzan los trabajos a través de las máquinas, éstos a menudo deben competir con otros trabajos por los mismos recursos escasos formándose colas.

Las máquinas se averían, algunos trabajadores faltan al trabajo, otros rinden por debajo o por encima de los estándares, las herramientas se rompen o se desgastan, los materiales son defectuosos y las máquinas quedan sin trabajo en espera de que llegue el del centro precedente. Las O.F. se cancelan, se reducen o se aumentan. Las materias primas no llegan cuando se espera. Las ventas caen repentinamente o, en la misma forma, aumentan. Ingeniería introduce modificaciones en los productos que alteran los tiempos estándar de proceso, los tiempos de preparación, las secuencias de operación, las instrucciones a los operarios, etc.

- **Objetivos de la programación de operaciones:** evitar quedarse sin stocks (empresas que trabajan para stocks), cumplir plazos de entrega (empresas que trabajan sobre pedido), evitar paros de las máquinas y del personal, poco stock en curso de fabricación y evitar horas extras innecesarias, de tal manera que se *minimicen los diferentes costes* asociados con el incumplimiento de estos objetivos.

- **Fases de la programación:** cargar las máquinas, evaluar la carga de trabajo, poner en

secuencia los trabajos en cada máquina y desarrollar un programa detallado.

- **Cargar las máquinas.** Es asignar las operaciones a las máquinas. Cuando son posibles las asignaciones alternativas (GFH), se debe tener en cuenta la carga de trabajo existente en las máquinas alternativas. Se determinan los requerimientos de mano de obra, máquinas y materiales. Un método utilizado para la carga de máquinas es el de los **índices**.
- **Evaluar la carga de trabajo.** Se comparan los requerimientos de horas de mano de obra y de horas de cada tipo de máquinas con las capacidades correspondientes, y se toman las decisiones oportunas tales como: implantar turnos adicionales de tarde y de noche, contratar personal temporal, realizar horas extras, etc., para así intentar equilibrar los requerimientos con las capacidades.
- **Poner en secuencia los trabajos en cada máquina.** Es poner en el orden en que deben efectuarse todas las operaciones asignadas a cada máquina viendo de cumplir los objetivos básicos por orden de prioridad. Se hacen suposiciones tales como: los tiempos de proceso para las operaciones son determinables y conocidos; cada operación, una vez iniciada, debe completarse antes de que se pueda iniciar otra operación en la misma máquina; las máquinas nunca se averían; las fechas de terminación de las órdenes son conocidas y fijas; las secuencias de operación son fijas.
- **Desarrollar un programa detallado.** Es determinar la hora de inicio y finalización de cada una de las operaciones.
- **Tipos de enfoques para el secuenciado:** analíticos, iterativos, heurísticos y gráficos.  
**Enfoque analítico:** Modelo matemático formal que comprende como máximo tres máquinas.  
**Enfoque iterativo:** Se ensayan todas las combinaciones posibles de secuencias de trabajo en cada máquina, y se escoge la mejor. Este enfoque no es práctico debido a

la tremenda cantidad de tiempo y de esfuerzo requerido para los cálculos.

**Enfoque gráfico:** Este enfoque ha sido utilizado en plantas de todos los tipos y tamaños y su forma usual es una gráfica de barras, llamada la carta de Gantt.

**Enfoque heurístico:** En este enfoque se utilizan reglas de decisión lógica o modelos de simulación en ordenadores para obtener un programa. Aunque usualmente no obtenemos el mejor programa con este enfoque, se consiguen bastante buenos, con tiempos y esfuerzos razonables para los cálculos.

- De todos estos enfoques, los enfoques gráficos y heurísticos han operado bien en la práctica debido a su simplicidad y flexibilidad. Parece que el mejor método práctico para realizar la función de programación sigue siendo el programador humano ayudado de gráficas, reglas de decisión y, tal vez, de un modelo de simulación en computador.
- **Programación de  $n$  órdenes de fabricación en una máquina.** Se emplean distintas reglas: al que primero llega se le atiende primero; al último que llega se le atiende primero; la operación más corta primero; la operación más larga primero; fecha de terminación más próxima; holgura estática; menor ratio crítico; menor tiempo de espera; mínimo tiempo de espera por operación; primero todo el grupo del pedido que más tiempo está en espera.
- **Programación de  $n$  órdenes de fabricación en varias máquinas.** Se emplean distintos algoritmos: *Johnson, Jackson, trapezoides, Palmer, Gupta*.
- **Las reglas de decisión y algoritmos de secuenciado** de operaciones descritos suelen aplicarse en entornos de producción donde no se utilizan sistemas integrados de control de la producción. En aquellos entornos donde se utilizan métodos integrados (por ejemplo, MRP o sistemas de arrastre kanban), son los propios sistemas los que proporcionan prioridades inherentes de programación, aunque no se descarta en

ocasiones la utilización de dichas reglas y algoritmos.

- **Sistemas MRP.** La fecha de vencimiento señalada en el programa maestro para cada artículo y los ajustes por tiempos de espera que utiliza la lógica MRP generarán fechas de vencimiento para todos los subconjuntos y componentes. Estas fechas de vencimiento se emplean después para establecer el orden de prioridad para la producción. En consecuencia, el método MRP usa la programación de prioridades de fecha de vencimiento como parte de la lógica básica del sistema.

- **Lanzamiento y control de progreso.** Una vez programada la producción, ésta debe materializarse: las decisiones deben pasar de la oficina de lanzamiento y control de producción al responsable de planta y de éste a los trabajadores; el material tiene que ser entregado; deben darse instrucciones a los trabajadores; las piezas deben trasladarse de una operación a la siguiente. A medida que se va cumpliendo el trabajo, debemos disponer de un medio de registrar el progreso, de compararlo con lo programado y tomar luego la acción correctiva que parezca apropiada.

## CUESTIONES

1. Describir qué es programar una operación y las fases que lo componen.
2. Describir los problemas que aparecen en la programación de operaciones.
3. El objetivo principal de programación de la producción en las empresas que trabajan para stocks es: *a)* \_\_\_\_\_ y en las que trabajan sobre pedido: *b)* \_\_\_\_\_. Otros objetivos importantes en ambas son: *c)* \_\_\_\_\_.
4. Pasos a seguir para la programación de las operaciones planificadas para un mes determinado.
5. Describir reglas de programación de operaciones en el caso de una máquina.
6. Enumerar los diferentes algoritmos de programación en el caso de dos máquinas.
7. Enumerar los diferentes algoritmos de programación en el caso de varias máquinas que trabajan secuencialmente.
8. Tenemos cinco órdenes de trabajo: A, B, C, D y E, que se han de realizar en la misma máquina. Los tiempos de operación y las fechas de entrega solicitadas por los clientes son los indicados en la siguiente tabla. Encontrar la secuencia más adecuada para que el número de días promedio de espera por parte de los clientes sea mínimo. Utilizar las siguientes reglas: FCFS (1.º llega, 1.º se atiende), SOT (más corta 1.º), LD (menor holgura dinámica 1.º), CR (menor ratio crítico 1.º).

OF	Tiempo operación	Fecha de entrega solicitada
<i>A</i>	1	4
<i>B</i>	5	7
<i>C</i>	2	2
<i>D</i>	6	10
<i>E</i>	3	9

Programación, lanzamiento y control de producción (planificación a muy corto plazo)

OF	Tiempo operación	Fecha de entrega solicitada	Hora finalización	Holgura estática	Ratio crítico	Días de atraso	Días de espera del cliente
<b>FCFS (1.º llega, 1.º se atiende)</b>							
Promedio							
<b>SOT (más corta 1.º)</b>							
Promedio							
<b>LD (menor holgura dinámica 1.º)</b>							
Promedio							
<b>CR (menor ratio crítico 1.º)</b>							
Promedio							

9. Tenemos cinco órdenes de trabajo: A, B, C, D y E, que han de pasar sucesivamente por tres máquinas  $M1$ ,  $M2$  y  $M3$  (con este mismo orden:  $M1 \rightarrow M2 \rightarrow M3$ ); las duraciones de los trabajos, en horas, se dan en la siguiente tabla:

OF	M1	M2	M3				
A	2	8	4				
B	7	1	3				
C	6	7	9				
D	4	8	3				
E	8	5	5				

Las cinco OF son de piezas que faltan para montar un producto que es urgente. Se desea conocer la secuencia más adecuada para conseguir el inicio del montaje lo antes posible. Usar los métodos de los trapecios, de Palmer y de Gupta.

10. El producto X es reclamado con urgencia por nuestro cliente y en estos momentos los componentes que falta acabar de fabricar y sus operaciones pendientes son los indicados (los tiempos en horas).
1. Sabiendo que el montaje supone 8 horas, determinar lo más pronto que podríamos tenerlo montado.
  2. Representar con un Gantt la carga de máquinas.

Nota: Las máquinas A, B y C están ya libres, la D lo estará dentro de 3 horas y las E y F dentro de 5 horas.

Componente	Horas de las operaciones pendientes en las máquinas			
a	B:3			
b	B:2	A:4		
c	C:3	D:1	E:4	F:1
d	C:5	D:4	E:2	F:3
e	A:12	B:8		
f	C:3	D:3	E:4	F:2
g	B:5	A:3		

11. Describir en qué consiste el lanzamiento de una orden de producción.
12. Siendo:
  - a) Entregar los vales de material, utillajes y ficha de trabajo de las operaciones a iniciar.
  - b) Controlar la asistencia del personal de producción.

- c) Poner en secuencia las operaciones por tipos de máquina.
- d) Informar a ingeniería de procesos de material y/o tiempo incumplidos reiteradamente.
- e) Vigilar el avance de la obra en curso.
- f) Tomar decisiones de inicio de operaciones no previstas por programación e informar a ésta.
- g) Calcular las necesidades de materiales y horas de máquina.
- h) Lanzar nuevos productos al mercado.

El orden de las funciones a realizar por «lanzamiento y control de producción» es:

A) *gblelh*      B) *alefld*      C) *clglalf*      D) *blalfle*.

13. Describir diferentes acciones para solucionar las desviaciones que se producen entre lo programado y lo real.

## RESPUESTAS A LAS CUESTIONES

1. **Programar** una operación es determinar la hora de inicio y finalización de dicha operación.

Para ello previamente tendrá que haber sido *cargada* (asignada su realización en una máquina concreta) y posteriormente puesta en *secuencia* (determinado el orden de ejecución de entre las diferentes operaciones que esperan ser procesadas en dicha máquina); ahora ya es cuando se podrá determinar la hora de inicio y finalización.

2. Las máquinas se averían, algunos trabajadores faltan al trabajo, otros rinden por debajo o por encima de los estándares, las herramientas se rompen o se desgastan, los materiales son defectuosos y las máquinas quedan sin trabajo en espera de que llegue el del centro precedente. Las OF se cancelan, se reducen o se aumentan. Las materias primas no llegan cuando se espera. Las ventas caen repentinamente o, en la misma forma, aumentan. Ingeniería introduce modificaciones en los productos que alteran los tiempos estándar de proceso, los tiempos de preparación, las secuencias de operación, las instrucciones a los operarios, etc.

3.

- a) No quedarse sin stocks.
- b) Cumplir plazos de entrega.
- c) Evitar paros, evitar horas extras innecesarias, evitar stocks excesivos en curso de fabricación.

4.

- Evaluar la carga de trabajo (requerimientos): *R*.
- Compararla con la capacidad actual: *C*.
- Tomar decisiones para que  $R = C$ .
- Asignar operaciones a máquinas.
- Poner en secuencia.
- Determinar hora de inicio y finalización de las operaciones.

5. Al que primero llega se le atiende primero; al último que llega se le atiende primero; la operación más corta primero; la operación más larga primero; fecha de terminación más próxima; holgura estática; menor ratio crítico; menor tiempo de espera; mínimo tiempo de espera por operación; primero todo el grupo del pedido que más tiempo está en espera.
6. Johnson y Jackson.
7. Trapecios, Palmer y Gupta.
- 8.

OF	Tiempo operación	Fecha de entrega	Hora finalización	Holgura estática	Ratio crítico	Días de atraso	Días de espera del cliente
<b>FCFS (1.º llega, 1.º se atiende)</b>							
<i>A</i>	1	4	1	3	0,75	-3	0
<i>B</i>	5	7	6	2	0,29	-1	0
<i>C</i>	2	2	8	0	0	6	6
<i>D</i>	6	10	14	4	0,4	4	4
<i>E</i>	3	9	17	6	0,67	8	8
<b>Promedio</b>			9,2			2,8	<b>3,6</b>
<b>SOT (más corta 1.º)</b>							
<i>A</i>	1	4	1			-3	0
<i>C</i>	2	2	3			1	1
<i>E</i>	3	9	6			-3	0
<i>B</i>	5	7	11			4	4
<i>D</i>	6	10	17			7	7
<b>Promedio</b>			7,6			1,2	<b>2,4</b>
<b>LE (menor holgura estática 1.º)</b>							

Programación, lanzamiento y control de producción (planificación a muy corto plazo)

OF	Tiempo operación	Fecha de entrega	Hora finalización	Holgura estática	Ratio crítico	Días de atraso	Días de espera del cliente
<i>C</i>	2	2	2	0		0	0
<i>B</i>	5	7	7	2		0	0
<i>A</i>	1	4	8	3		4	4
<i>D</i>	6	10	14	4		4	4
<i>E</i>	3	9	17	6		8	8
<b>Promedio</b>			9,6			3,2	<b>3,2</b>
<b>CR (menor ratio crítico 1.º)</b>							
<i>C</i>	2	2	2		0	0	0
<i>B</i>	5	7	7		0,29	0	0
<i>D</i>	6	10	13		0,4	3	3
<i>E</i>	3	9	16		0,67	7	7
<i>A</i>	1	4	17		0,75	13	13
<b>Promedio</b>			11			4,6	<b>4,6</b>

9.

	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>	<i>S<sub>1</sub></i>	<i>S<sub>2</sub></i>	<i>S<sub>3</sub></i>	<i>S<sub>4</sub></i>
<i>A</i>	2	8	4	12	16	-4	-1/10
<i>B</i>	7	1	3	15	7	8	1/4
<i>C</i>	6	7	9	19	25	-6	-1/13
<i>D</i>	4	8	3	16	14	2	1/11
<i>E</i>	8	5	5	21	15	6	1/10

Trapecios

	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>A</i>	2	10	14
<i>C</i>	8	17	26
<i>E</i>	16	22	31
<i>D</i>	20	30	34
<i>B</i>	27	31	<b>37</b>

Palmer

	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>C</i>	6	13	22
<i>A</i>	8	21	26
<i>D</i>	12	29	32
<i>E</i>	20	34	39
<i>B</i>	27	36	<b>42</b>

Gupta

	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>A</i>	2	10	14
<i>C</i>	8	17	26
<i>D</i>	12	25	29
<i>E</i>	20	30	35
<i>D</i>	27	31	<b>38</b>

La secuencia más adecuada es la de trapecios. A las 37 horas del comienzo se podrá montar.

10.

1. Dividimos el problema en 2 partes:

Para A y B aplicamos Jackson y para C, D, E, F aplicamos trapecios (optativamente se podría aplicar Palmer o Gupta).

**Parte 1** Para A y B

*Jackson*

	A	B
<i>a</i>	0	3
<i>b</i>	4 ← 2	
<i>e</i>	12 → 8	
<i>g</i>	3 ← 5	

Se separan las que van A → B, de las que van B → A

A → B		B → A
<i>e</i>	<i>b</i>	2
	<i>g</i>	5
		4
		3

Según Jackson: Máquina A: A → B - A - B → A  
 Máquina B: B → A - B - A → B

Se aplica Johnson al conjunto B → A, resultando el siguiente orden: *b-g*.

La solución será:

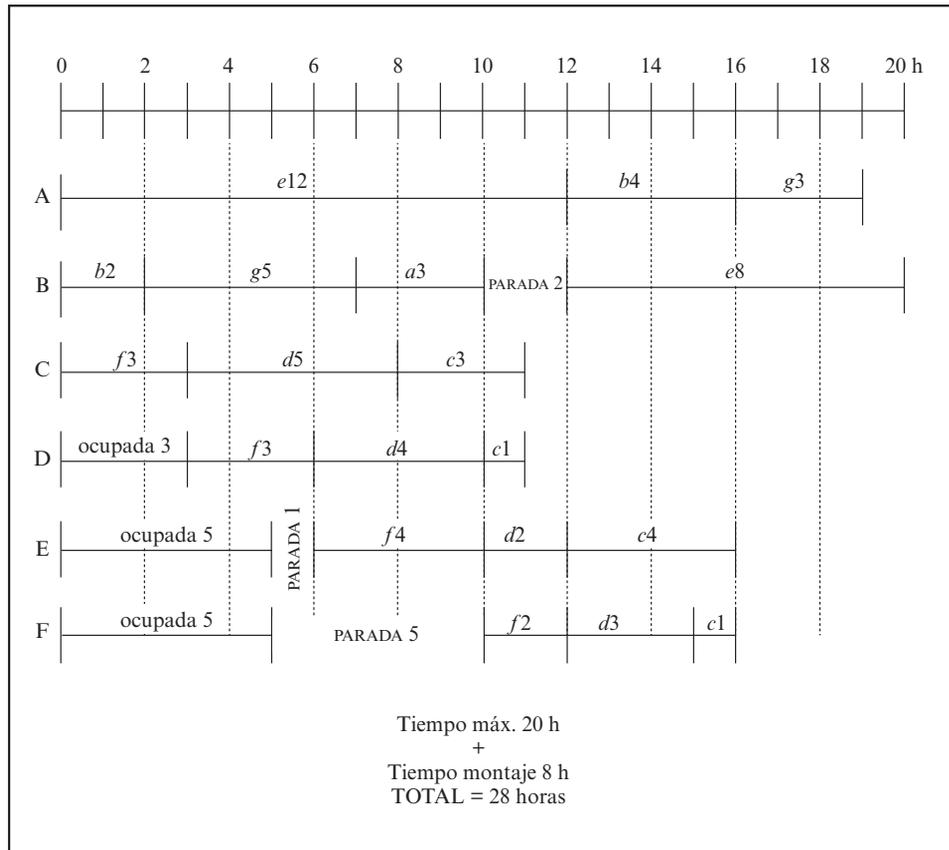
Máquina A →	<i>e-b-g</i>
Máquina B →	<i>b-g-a-e</i>

**Parte 2**

*Trapezios*: Para C, D, E, F

	C → D → E → F	S1	S2	
<i>c</i>	3    1    4    1	15	12	$S_1 = 3C + 2D + E$ $S_2 = 3F + 2E + D$
<i>d</i>	5    4    2    3	25	17	
<i>f</i>	3    3    4    2	19	17	
	Solución →	<i>f - d - c</i>		

2. Diagrama de Gantt:



11. Una vez programada la producción, ésta debe materializarse: las decisiones deben pasar de la oficina de lanzamiento y control de producción al responsable de planta y de éste a los trabajadores; el material tiene que ser entregado; deben darse instrucciones a los trabajadores.
12. B.
13. Encargar a un lanzador para que apresure la orden atrasada a través de la planta, uso de tiempo extra, utilizar un turno adicional, recurrir a subcontratos, comprar componentes que normalmente fabricamos, demorar ciertos trabajos, rechazar nuevos pedidos, o una combinación de dos o más de las alternativas anteriores.

# 7

## El sistema Toyota de producción

### Después de leer este capítulo usted podrá:

- Describir las ideas básicas del sistema Toyota de producción.
- Describir los pilares básicos en los que se asienta.
- Representar el diagrama de interrelación de las diferentes técnicas para conseguir el objetivo de obtención del máximo beneficio.
- Describir las diferencias entre los sistemas de producción de Ford y Toyota.
- Describir los despilfarros que originan costes innecesarios.
- Describir el sistema de arrastre «pull» de la producción.
- Describir qué es un kanban y los diferentes tipos.
- Describir el funcionamiento de la cadena de montaje en Toyota mediante el kanban.
- Describir el funcionamiento del kanban con los proveedores.
- Representar el diagrama de planificación de la producción.
- Describir en qué consiste el nivelado de la producción y representar el diagrama correspondiente.
- Describir cómo se establece la programación de la producción diaria.
- Describir gráficamente la relación entre programa decenal y pedidos diarios de vendedores, y la secuencia del programa de producción.
- Describir qué es una producción equilibrada y sincronizada y los pasos a seguir para obtenerla.
- Representar el diagrama de los pasos a seguir para conseguir la flexibilidad (Shojinka).
- Representar una distribución combinada de líneas en U.
- Describir la comparación entre el sistema kanban con el MRP.
- Describir el sistema Synchro MRP.

## 7.1. ANTECEDENTES DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE TOYOTA (TPS)

MI. Taiichi Ohno, primer vicepresidente de Toyota Motor Corp., es el inventor y promotor en Toyota del sistema Toyota de producción. Desde que dirigía el departamento de mecanización de la fábrica Honsha, en 1949-1950, hasta 1975 en que alcanza la vicepresidencia de Toyota, fue extendiendo gradualmente sus métodos originales a través de la compañía, aplicándolos finalmente al conjunto de las empresas del grupo Toyota.

En el desarrollo y promoción del sistema Toyota se ha de destacar el apoyo de los altos ejecutivos: Sakichi Toyoda, que en la fábrica de telares estableció uno de los pilares del TPS (Jidoka: calidad asegurada sin despilfarros), y Kiishiro Toyoda, que en la fábrica de automóviles estableció el otro pilar (Just in time: procesos flexibles en flujo sin despilfarros), así como las ideas de todos los trabajadores de Toyota.

Fue justamente tras la primera crisis del petróleo, a fines de 1973, cuando el sistema Toyota de producción atrajo la atención de las industrias japonesas. Frente al impacto de una inflación de costes sin precedentes, la mayoría de las empresas japonesas habían caído en números rojos, excepto Toyota, que mostraba amplios beneficios. Se hizo evidente que, para superar la crisis del petróleo, las citadas empresas debían conseguir una **organización ágil y vigorosa**. Desde este punto de vista, no resultaría excesivo afirmar que las compañías japonesas remontaron la depresión de la crisis del petróleo mediante la introducción, parcial o total, del sistema Toyota de producción.

## 7.2. ESTRUCTURA GLOBAL DEL SISTEMA TOYOTA

La idea básica del sistema Toyota de producción es mantener en las fábricas un **flujo continuo de productos, para adaptarse flexiblemente a los cambios de la demanda** obteniendo con la calidad adecuada la cantidad que se requiera y al mínimo coste.

La realización del flujo de producción citado se denomina en Toyota **JUST-IN-TIME**, que significa **producir sólo los artículos necesarios, en la cantidad y en el tiempo que asimismo sean necesarios**. Como resultado, disminuirán de modo natural los excedentes de personal y de existencias, consiguiendo de este modo el propósito de **incrementar la productividad con la consiguiente reducción de los costes**.

El principio básico de la producción just-in-time es universalmente racional; es decir: **EL SISTEMA TOYOTA DE PRODUCCIÓN SE HA DESARROLLADO SIGUIENDO CONTINUAMENTE EL MÉTODO ORTODOXO DE GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN.**

El sistema Toyota de producción **reduce los costes al eliminar totalmente los despilfarros (el personal y las existencias innecesarios)**. No es exagerado afirmar que se trata de un nuevo sistema revolucionario de gestión de la producción, tras los sistemas de Taylor (gestión científica) y de Ford (cadena de montaje en serie).

Mediante la puesta en práctica de dos conceptos clave —«**Just-in-time**» y **autocontrol**— se logra un flujo continuo de producción adaptado a las variaciones, en cantidad y en variedad, de la demanda.

Ambos conceptos son los **pilares básicos** del sistema Toyota de producción.

«**Just-in-time**» (**JIT**) significa ante todo producir las unidades necesarias en la cantidad asimismo necesaria y en el tiempo preciso.

**Autocontrol** («**jidoka**» en japonés) debe interpretarse como autocontrol de los defectos y sirve de soporte al concepto de producción en el momento oportuno, al impedir la entrada en el flujo como resultado de cada proceso, de unidades defectuosas que perturbarían el proceso siguiente.

El sistema incluye otros dos conceptos clave:

**Flexibilidad** en el trabajo (en japonés «**shojinka**»), que supone la variación del número de trabajadores en función de las variaciones de la demanda, e **ideas innovadoras** («**soifuku**») mediante el aprovechamiento de las sugerencias del personal.

En la figura 7.1 puede verse el diagrama del sistema Toyota de producción.

### 7.3. COMPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS ORIGINARIOS DE TOYOTA Y FORD

El sistema de Toyota respecto del de Ford tiene tres diferencias básicas, que son las siguientes:

- Producción en lotes pequeños.
- Producción con mezcla de modelos.
- Operación en flujo continuo pieza a pieza durante la fabricación hasta el montaje final.

Veamos a continuación cada una de estas tres características.

#### **Producción en grandes lotes versus pequeños lotes**

Ford produce en masa unos pocos modelos, mientras Toyota produce muchos modelos en pequeñas cantidades. La decisión de adoptar, bien la **producción en masa**, o bien la **producción de pequeñas cantidades** de una amplia variedad de modelos no se hace porque sí, más bien responde a condiciones del mercado y demandas de los usuarios.

Obviamente, la producción en masa tiene algunas ventajas, tales como la amortización de máquinas, útiles y herramientas especiales. Tradicionalmente, los fabricantes de automóviles americanos han tenido la idea de que los grandes lotes y la producción en masa generarían sustanciales ahorros de costes; sin embargo, este enfoque da lugar a:

- Grandes stocks de artículos acabados (causados por los desfases entre la producción basada en previsiones y la demanda real).

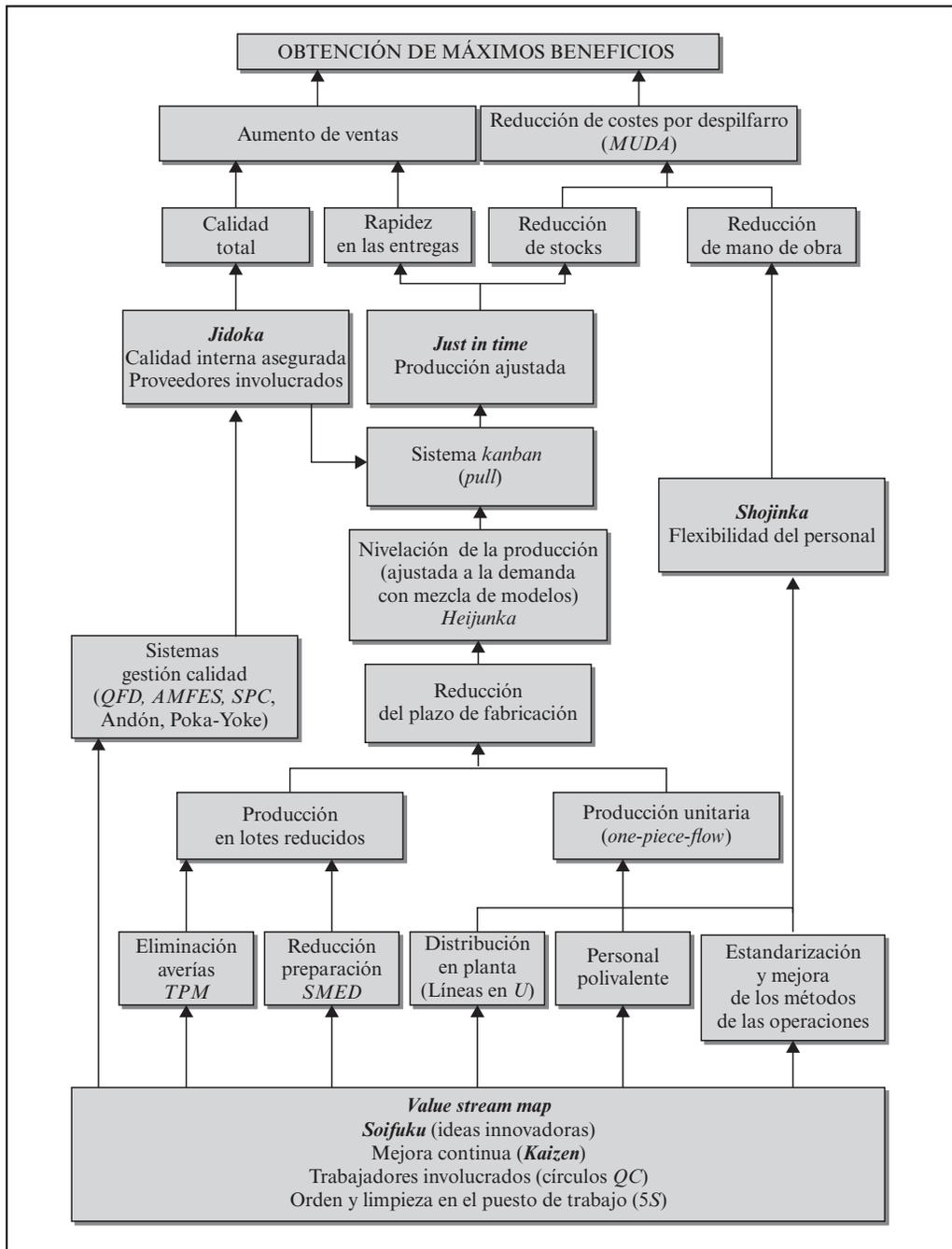


Figura 7.1. Diagrama del sistema Toyota de producción.

- Acumulaciones de trabajos en curso entre procesos (creadas por los grandes lotes de producción).

### Producción con mezcla de modelos

Así como en Ford toda la cantidad a fabricar mensualmente de un modelo se hace con continuidad, en Toyota se hace mezclando modelos.

*Ejemplo:* En Ford: 200.000 unidades del modelo X en los primeros 5 días del mes, 300.000 del Y en los 7 días siguientes y 400.000 del Z en los 10 últimos días.

En Toyota, producción de modelos mezclados en la proporción correspondiente: 2X, 3Y, 4Z.

### Operación en flujo continuo pieza a pieza durante la fabricación hasta el montaje final

En Ford, el montaje se realiza en flujo pieza a pieza en cadena, pero las piezas suministradas a montaje se producen en grandes lotes.

En Toyota, tanto el montaje como las piezas se realizan en flujo pieza a pieza, y donde no es posible, en pequeños lotes.

TABLA 7.1

*Comparación de los sistemas de Ford y Toyota*

Características	Ford	Toyota	Beneficios del sistema Toyota
Flujo pieza a pieza.	Solamente en montaje.	Montaje y fabricación conectados.	Ciclos cortos, stocks reducidos de productos acabados y de trabajos en proceso.
Tamaño de lote.	Grande.	Pequeño.	Reducción del trabajo en proceso.
Flujo del producto.	Pocos modelos.	Muchos modelos (con flujo mezclado).	Flexibilidad a los cambios.

## 7.4. TIPOS DE ACTIVIDADES EN LOS PROCESOS

Se pueden clasificar en dos tipos:

- Actividades con valor añadido: son aquellas que se adaptan a las necesidades del usuario, éste las percibe y está dispuesto a pagar por ellas.
- Despilfarros: son todas las actividades que no aumentan el valor, sino sólo el coste. Algunas de ellas se originan debido a los medios actualmente empleados pero que el cliente no percibe. Otras no son necesarias y consumen espacios, instalaciones, material, tiempo y energías.

La actuación debe ser:

- Eliminar los despilfarros.
- Combinar las actividades con valor añadido para obtener un flujo tenso y simplificarlas.

## 7.5. LOS SIETE DESPILFARROS (MUDA) DE OHNO

Los costes se reducirán si se eliminan los despilfarros.

La definición de despilfarro es bastante simple: cualquier actividad desarrollada por una empresa que consume recursos y no produce «valor» para el cliente.

Es cuestión de reducir el consumo de material y mano de obra y reducir el stock.

La cantidad de *mudas* existentes en una empresa es enorme y se podrían agrupar en los tipos siguientes:

1. Exceso de producción.
2. Operaciones.
3. Movimientos.
4. Transportes.
5. Esperas.
6. Stocks.
7. Defectos de calidad.

A esto podríamos añadirle un **octavo: infrautilización de las habilidades del personal.**

Recordemos que sólo las *operaciones* pueden añadir *valor al producto*, el resto de las actividades (inspecciones, transportes, esperas, almacenajes) añaden sólo coste y, por tanto, son indeseables.

No obstante, no todas las operaciones ni todos los elementos de operación añaden valor.

Recordemos también que el tiempo actualmente consumido en las horas de presencia de un trabajador es la suma del tiempo productivo (trabaja) y el improductivo (parado).

### ***Muda* de exceso de producción**

El *muda* de sobreproducción se manifiesta cada vez que la producción no responde a la demanda (productos no demandados por el mercado, o en cantidades superiores, o en períodos en los cuales no hay demanda). También a causa de los stocks para no perder clientes, minimizando su espera. Como consecuencia, es necesario disponer de almacenes o áreas en el interior de las naves que contengan los productos acabados en espera de su comercialización.

Lo mismo ocurre en el almacén de componentes, queriendo evitar la falta de éstos para ensamblar, debido a las averías de las máquinas y los rechazos por mala calidad.

Caso aparte son los productos de venta estacional.

Técnicas a emplear para eliminar el *muda* de exceso de producción:

- Sistema PULL.
- Lotes pequeños.
- Nivelación producción.
- TPM.
- Tack-time.

### ***Muda de las operaciones***

Es el tiempo productivo que excede al que sería estrictamente necesario (contenido básico del trabajo).

Puede ser imputable a dos grandes causas:

1. Ingeniería de producto: mal diseño del producto; falta de normalización; normas de calidad erróneas.
2. Ingeniería de proceso: mal diseño del proceso: maquinaria, herramientas y condiciones tecnológicas inadecuadas; malos métodos de trabajo de los operarios.

En el proceso de producción a menudo se realizan operaciones que podrían ser eliminadas. Esto es debido a que no se cuestionan los procesos de fabricación actuales, donde cambios que a lo largo del tiempo han podido producirse en los utillajes de fabricación (moldes, utillaje de bloqueo de la pieza) podrían hacer innecesaria la realización de alguna operación (o elemento de operación) que en su momento no lo era.

Evitar el *muda* de operaciones es posible eliminando las actividades que no añaden valor:

- Operaciones que, aun modificando el producto, no se reconocen como valor añadido por el cliente final.
- Operaciones añadidas para poner remedio a operaciones precedentes no realizadas correctamente.

*Ejemplo:* operación para la eliminación de las rebabas producidas por una herramienta desgastada durante la operación de corte, ya que es un inconveniente para la ejecución de la operación siguiente.

Este proceso puede ser modificado porque conlleva un *muda*: de hecho, se tendría una reducción de los despilfarros previendo la sustitución de la herramienta cuando el corte empieza a no ser limpio.

- *Elementos de operación innecesarios*

Un ejemplo es la extracción manual de la pieza acabada cuando, de aprovechar la fuerza de gravedad, diseñando un sistema de expulsión de las piezas podría evacuarse automáticamente al recipiente deseado.

**Técnicas a emplear** para eliminar el *muda* de las operaciones:

- Mejora de métodos.
- 5 porqués.

### ***Muda de movimientos***

Es el tiempo productivo que excede al que sería estrictamente necesario imputable a ingeniería de proceso por:

— *Malos métodos de trabajo de los operarios*

Los **desplazamientos en el puesto de trabajo** pueden hacerse necesarios debido a seguir un mal método en la operación.

En muchas ocasiones, el *muda* se pone en evidencia por el indicador que podríamos llamar «**contenido de trabajo**». Éste puede calcularse como la relación entre el tiempo efectivamente empleado en el aumento de valor y el tiempo total de la operación.

*Por ejemplo:* un trabajo que se desempeña por un operario en 10 minutos y está constituido por 6 minutos de trabajo y 4 minutos de movimiento para coger las herramientas necesarias, tiene un «contenido de trabajo» igual al 60%.

**Técnicas a emplear** para eliminar el *muda* de movimientos:

- Mejora de métodos.
- 5 porqués.

### ***Muda por transporte***

Es el tiempo productivo que excede al que sería estrictamente necesario imputable a ingeniería de proceso:

El transporte de materiales entre puestos de trabajo representa un coste y no crea valor añadido.

Un análisis adecuado permite una importante reducción de los transportes.

Los transportes son *muda* debido principalmente a:

1. No cuestionar los procesos de fabricación actuales.
2. Distribuciones en planta inadecuadas.
3. Elementos de manutención inadecuados.

**Técnicas a emplear** para eliminar el *muda* de transporte:

- Mejora de métodos.
- Distribuciones en planta.
- Manutención.

### **Muda por esperas (pérdidas de tiempo, paros)**

Son las que dan lugar a tiempos improductivos.

Las causas pueden ser múltiples:

1. Mala programación de la producción.
2. Falta de entrega de material por parte de los proveedores o del almacén.
3. Averías de las instalaciones.
4. Malas condiciones de trabajo (fatiga excesiva y consiguiente tiempo de descanso necesario).
5. Accidentes.
6. Retrasos y ociosidad.

Las causas no son sólo *ocasionales* como las citadas, sino que pueden ser también *sistemáticas* como sería el caso de un operario que, después de haber cargado la máquina y puesto el avance automático, espera a que ésta haya terminado el proceso para después extraer la pieza.

Otro posible *muda* de tiempo se manifiesta en las máquinas automáticas que tienen elevados volúmenes productivos. A menudo sucede que se decide que una persona vigile estas máquinas para evitar que posibles defectos, si no se detectan pronto, causen daños en la propia máquina y una cantidad no despreciable de piezas defectuosas.

**Técnicas a emplear** para eliminar el *muda* por esperas:

- Nivelación producción.
- Flujo «pull».
- Selección de proveedores.
- Mantenimiento productivo total (TPM).
- Mejora de métodos.
- Seguridad en el trabajo.
- Motivación.
- Círculos de calidad.

### **Muda de stock**

Los inventarios no crean valor y, por tanto, son *muda* (productos acabados, semielaborados, componentes y cualquier tipo de material en almacén o en curso de fabricación), hacen aumentar los costes financieros además de ocupar espacio, requiriendo elementos de manutención y almacenes. El material además puede estropearse o volverse obsoleto.

Además, y muy importante: evitan la detección de problemas originados por una mala organización, como averías, mala calidad, etc. (más adelante se verá el símil del barco).

**Técnicas a emplear** para eliminar el *muda* de stock:

- Nivelación producción.
- Flujo «pull».
- Lotes pequeños.
- Single-Minute Exchange of Die (SMED, cambio de troqueles en menos de 10 minutos).
- Todas las que evitan defectos de calidad.

### ***Muda* de defectos de calidad**

Ocasionados por:

- Falta de planificación de la calidad del producto.
- Instalaciones inadecuadas o en mal estado.
- No realizar autocontrol de calidad.
- Chapucería por falta de interés por parte del trabajador.

La presencia de defectos en los trabajos y en los productos es una gran fuente de desperdicio y se llama *muda* de los desechos/reelaboraciones.

Puede suceder que una pieza defectuosa, debido a la falta de un sistema de control, no se identifique como tal en ese momento y se la siga incluyendo en operaciones.

En el caso de máquinas automáticas de alta velocidad, en ausencia de un dispositivo de detección automática, éstas pueden producir un elevado número de piezas defectuosas antes de que sean detenidas por el operario.

Éstos son los que se llaman *costes internos de la no calidad*.

Aún sería peor el caso en el que los defectos no fueran identificados en la fábrica, sino por el cliente (*costes externos de la no calidad*), ya que es necesario introducir una estructura capaz de gestionar las reclamaciones, soportar los gastos derivados de las reparaciones, del desembalaje, del reembalaje y de la entrega, y, lo que es peor, la pérdida de imagen a ojos de los clientes.

**Técnicas a emplear** para eliminar el *muda* de defectos de calidad:

- QFD (despliegue de la función de la calidad).
- AMFES (análisis modal de fallos y efectos).
- Capacidad de procesos.
- Autocontrol.
- POKA-YOKE (prueba de errores).
- TPM.
- Formación.
- Motivación.
- Círculos de calidad.

*Ejemplo de muda en las oficinas*

Muda	Ejemplos
1. Excesiva producción	Hacer copias de un documento que no será jamás utilizado; suministrar copias de un informe a personas que no lo han solicitado y que no lo leerán.
2. Operaciones	Solicitar firmas de aprobación de varias personas cuya autorización es superflua; recoger datos que no son utilizados o mirados por nadie; escribir manualmente cuando es posible utilizar un ordenador.
3. Movimientos	Desplazamientos en el puesto de trabajo para coger material o archivar documentos, cuando bien organizado podrían ser evitados o disminuidos.
4. Transportes	Desplazarse desde la mesa a la fotocopidora o a la impresora.
5. Esperas	Esperar la firma de aprobación de un documento, esperar la reparación del ordenador, fotocopidora, etc., para poder desempeñar un trabajo; esperar a otras personas antes de iniciar una reunión.
6. Stocks	Cartuchos de impresora, papel.
7. Defectos	Corregir errores en los documentos; archivar documentos en el sitio equivocado; gestionar reclamaciones respecto al servicio; errores causados por informaciones equivocadas o poco claras.

## 7.6. EL SÍMIL DE LA FILOSOFÍA JUST-IN-TIME

Los stocks no dejan ver los problemas originados por una mala organización; no se originan fallos de entregas de productos y la apariencia es que todo va bien, que no hay problemas, pero ello es basándose en unos niveles de stocks cuyo coste es elevadísimo.

El símil es el de un barco que puede navegar plácidamente sin chocar con las rocas del fondo debido a que el nivel del agua es suficientemente elevado pareciendo que no hay ningún obstáculo.

Sólo bajando el nivel del agua (stocks) aparecerá el problema más destacado y podrá ser solucionado, y ello permitirá seguir bajando el nivel hasta encontrar el próximo y así hasta conseguir «navegar» plácidamente con un nivel mínimo (véase figura 7.2).

## 7.7. EL SISTEMA DE ARRASTRE (PULL) DE LA PRODUCCIÓN

Este sistema se les ocurrió a unos ingenieros de Toyota mientras visitaban un supermercado. Observaron cómo en un espacio relativamente reducido de las estanterías había gran variedad de productos del mismo tipo en cantidades reducidas, y que una persona observa-

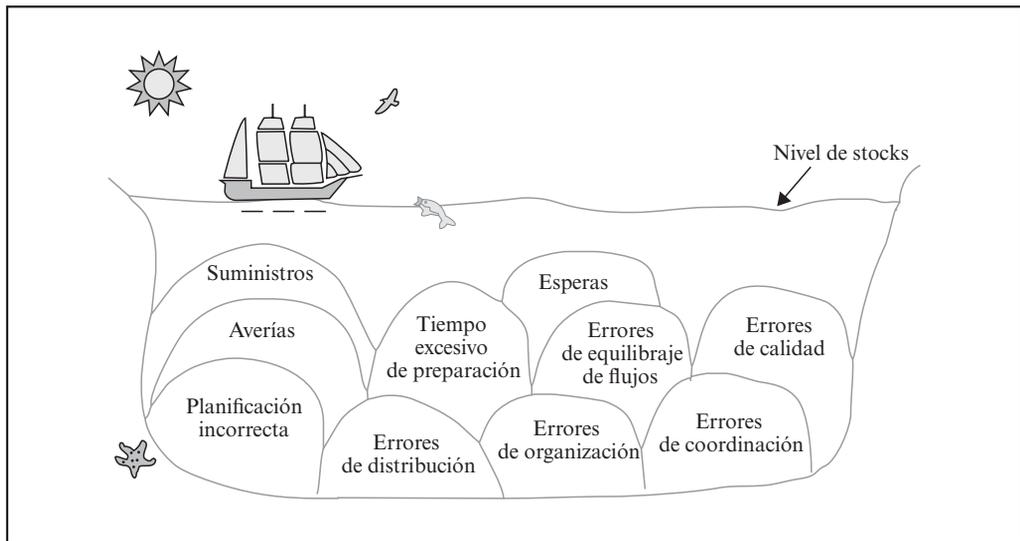


Figura 7.2. Simil del barco.

ba dónde se iban produciendo huecos procediendo a su pronta reposición para así tener a la vista siempre todos los productos y evitar pérdidas de venta de los siguientes clientes pudiendo así ofrecer una amplia gama en poco espacio.

La producción «Just-in-time» de Toyota es un método de adaptación a las modificaciones y cambios de la demanda, mediante el cual *todos los centros producen los bienes necesarios, en el momento oportuno y en las cantidades precisas*. Es por ello por lo que lo primero que necesita el método JIT es permitir a todos los procesos conocer con precisión qué cantidades son las requeridas y en qué momento.

En los **sistemas tradicionales de programación de la producción**, la condición citada se cumple elaborando *diversos programas para todos los procesos*, tanto para los necesarios para la fabricación de piezas o subconjuntos como para los de las líneas de montaje. Estos procesos parciales producen elementos de acuerdo con sus programas, de modo que **cada proceso entrega dichos elementos al siguiente (sistema «push» o de empuje)**, lo que dificulta la flexibilidad de adaptación a los cambios originados por la alteración de algún proceso o por las fluctuaciones de la demanda.

La adaptación a tales modificaciones a lo largo de un mes requiere, en el sistema ordinario, que la empresa realice de modo simultáneo los cambios de los programas de producción correspondientes a cada proceso; este enfoque hace difíciles los cambios frecuentes de programas. Como resultado, la compañía se ve **obligada a mantener existencias en curso entre todos los procesos para poder absorber las alteraciones y los cambios de la demanda**.

El sistema Toyota supone, por contraste, una revolución, en el sentido de que, en él, **cada proceso recoge los elementos o piezas del anterior (método conocido como sistema de arrastre, pull)**.

Puesto que **únicamente la línea de montaje final puede conocer con precisión la cantidad de elementos que se necesitan y en qué momento**, será ella la que requiera del proceso anterior esos elementos necesarios en las cantidades y en el tiempo precisos para el montaje del vehículo, de modo que cada proceso habrá de producir los elementos que le sean requeridos por el proceso siguiente.

De este modo, no es necesario elaborar a un tiempo los programas mensuales de fabricación para el conjunto de los procesos. En su lugar, basta con informar a la línea de montaje final, con ocasión del montaje de cada uno de los vehículos, de los cambios en los programas de producción. Para transmitir a todos los procesos la información sobre el momento y la cantidad de los elementos que deben producirse, Toyota utiliza el **kanban**.

El kanban es un sistema de información que controla de modo armónico la fabricación de los productos necesarios, en la cantidad y en el tiempo en que se requieren en cada uno de los procesos que tienen lugar tanto en el interior de la fábrica como entre la empresa y sus proveedores.

## 7.8. ¿QUÉ ES UN KANBAN?

Un kanban es una herramienta para conseguir la producción «just-in-time». Se trata, usualmente, de una tarjeta en una funda rectangular de plástico.

### *Tipos de kanban*

Se utilizan principalmente dos tipos: el **kanban de transporte** y el **kanban de producción**. El primero especifica el tipo y la cantidad de producto a retirar del proceso anterior, mientras el kanban de producción indica el tipo y la cantidad a fabricar.

En la figura 7.3 puede verse que el kanban de transporte servirá para recoger producto del proceso de forja que posteriormente será mecanizado para lo cual se utiliza el kanban de producción (figura 7.4).

Almacén Estante nº <b>5E215</b> Código Artículo <b>A2-15</b>		Proceso anterior
Artículo nº <b>35670507</b>		<b>FORJA</b>
Id Nombre <b>PIÑÓN DE TRASMISIÓN</b>		<b>B-2</b>
Tipo de coche <b>SXT08C</b>		Proceso siguiente
		<b>MECANIZK.</b>
Capac. Caja	Tipo Caja	Salida nº
<b>30</b>	<b>B</b>	<b>418</b>
		<b>M-6</b>

Figura 7.3. Kanban de transporte.

Almacén Estante nº	F26-18	Código Artículo	A5-34	Proceso
Artículo nº	56790-321			MECANIZAC.
Id. Nombre	EJE DE CIGÜENAL			SB-8
Tipo de coche	SX50BC-150			

Figura 7.4. Kanban de producción.

También se emplean otros tipos de kanban que son de señales, el **kanban triangular** y el **kanban rectangular** elaborados con lámina metálica. La figura 7.5 muestra cómo el kanban triangular ordena al proceso de estampación n.º 10 la producción de 500 unidades de puerta izquierda cuando, tras los pedidos retirados, quedan sólo dos cajas: es decir, el punto de emisión de una nueva orden (punto de pedido) se sitúa en dos cajas o 200 unidades de puerta izquierda.

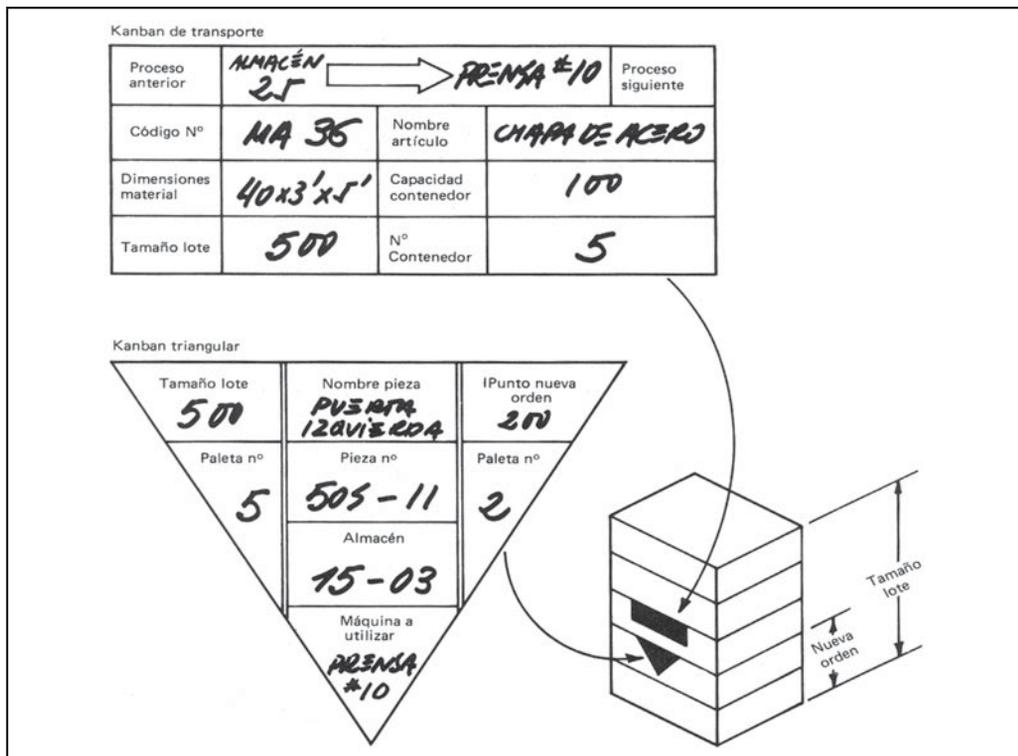


Figura 7.5. Kanban de señales.

El segundo tipo de señal es el kanban rectangular y se utiliza para el transporte de materiales. En la figura 7.5 el proceso de estampación n.º 10 deberá retirar, del almacén n.º 25, 500 unidades de chapa de acero cuando se hayan entregado dos cajas de puertas izquierdas a la línea de montaje. En el ejemplo, el punto de puesta en marcha de una nueva orden de pedido de materiales se sitúa en tres cajas de puertas izquierdas.

Con este sistema, una vez determinados el punto de pedido y el tamaño del lote, no resulta necesario preocuparse por el plan diario de producción y su seguimiento.

## 7.9. FUNCIONAMIENTO DE LA CADENA DE MONTAJE EN TOYOTA MEDIANTE EL KANBAN

En principio es una cadena de montaje normal en la que los útiles de montaje están preparados de forma que cambios en el número de trabajadores, o en variantes del modelo en la cadena, no supondrán pérdidas de tiempo.

Su particularidad es que, en lugar de hacer el montaje de muchas unidades del mismo tipo seguidas, pueden montarse mezclando tipos en una secuencia y proporción determinada.

La figura 7.6 muestra la utilización de los kanban de transporte y de producción, para el funcionamiento de la cadena de montaje.

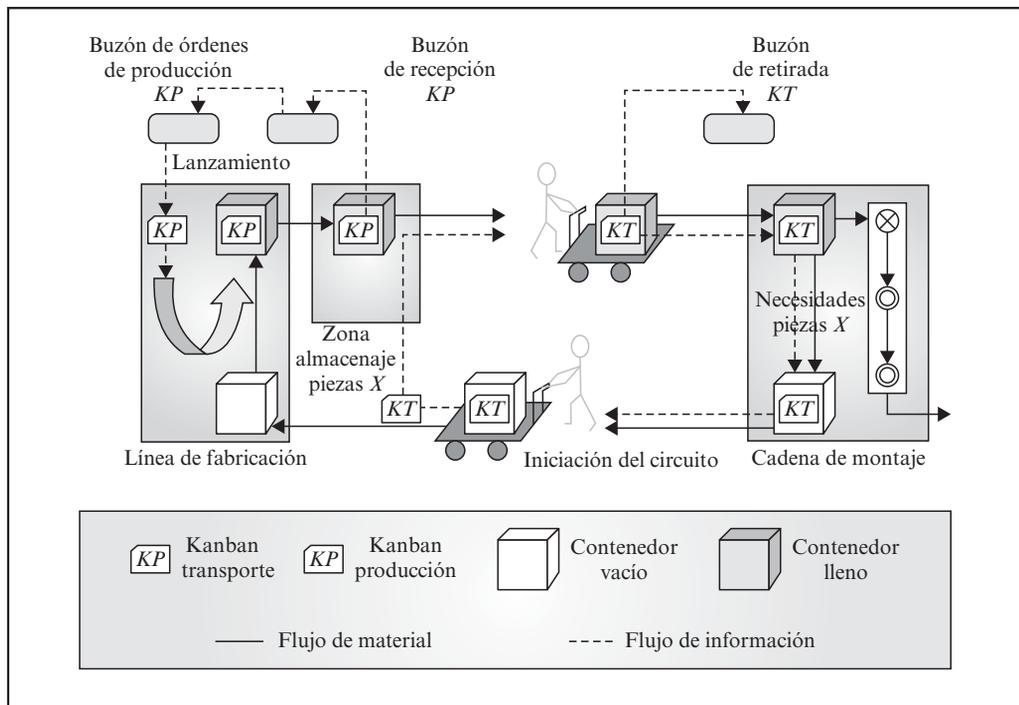


Figura 7.6. Funcionamiento de la cadena de montaje mediante el kanban.

1. En la parte inferior de la figura puede verse que el peón aprovisionador de la cadena de montaje, al observar que junto a la cadena de montaje hay un contenedor vacío con su correspondiente kanban de transporte (KT), con una carretilla lo transporta al almacén de acabados del proceso anterior indicado en el KT, que es donde se fabrica el componente o subconjunto a reponer, deja el contenedor vacío en el lugar designado, coge el kanban de transporte y se dirige a buscar un contenedor lleno del componente o subconjunto indicado en el kanban.

2. Localizado el contenedor lleno, despega el kanban de producción adherido al contenedor una vez que previamente ha comparado cuidadosamente los datos con el kanban de transporte y que son coincidentes, deja el kankan de producción en el *buzón de recepción* correspondiente y adhiere el kanban de transporte que lleva al contenedor. A continuación transporta el contenedor lleno al lugar destinado para el stock de ese tipo de material en la cadena de montaje.

3. Cuando en la cadena de montaje no se va a seguir montando ese modelo o se ha de disminuir la cantidad, el kanban de transporte debe dejarse en el buzón de retirada de kanban de transporte, con lo que no se seguirá suministrando más material de ese tipo a la cadena de montaje.

4. En el proceso anterior, las órdenes kanban de producción deberán recogerse de su *buzón de recepción* cada cierto tiempo o cuando haya un cierto número de unidades, colocándose en el *buzón de kanban de producción* en la misma secuencia con que se hayan cogido del buzón de recepción.

5. Se fabricarán las piezas siguiendo la secuencia de los kanban de producción en su buzón.

6. Completado el proceso, los contenedores con sus correspondientes kanban de producción se dejarán en la zona de almacenaje, dispuestos para ser recogidos en su momento por el peón de transporte de la cadena de montaje.

Una cadena como la descrita, con los dos tipos de kanban, debe establecerse de modo continuo en los procesos precedentes, con lo que cada proceso recibirá los tipos necesarios de unidades en el momento y en la cantidad asimismo necesarios, realizándose así el ideal de la producción «just-in-time» para cada proceso (véase figura 7.7).

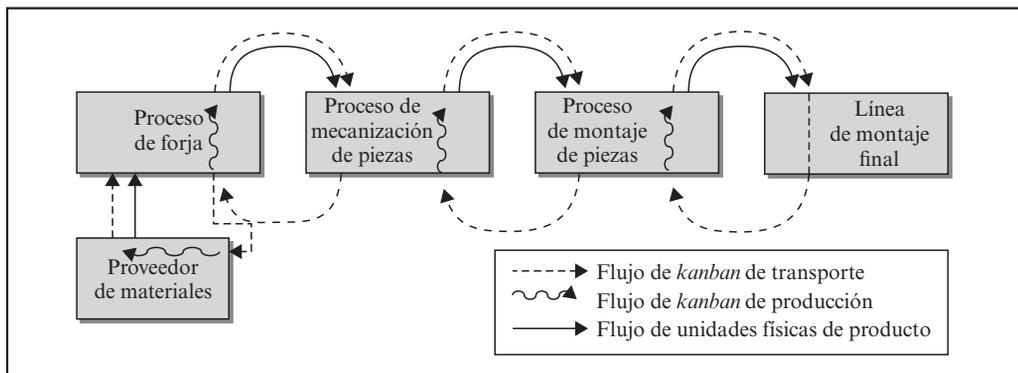


Figura 7.7. Coordinación mediante kanban de los diferentes procesos.

### **7.9.1. Kanban urgente**

Se emite en caso de escasez de una pieza o elemento.

Imaginemos, por ejemplo, una situación en que el carretillero que aprovisiona la línea de montaje se dirige al almacén de un proceso anterior (línea de mecanización) y se encuentra con que no existe suficiente aprovisionamiento del elemento B, cuya escasez es grave (figura 7.8). Habrán de tomarse, en tal caso, las medidas siguientes:

1. El carretillero emite el kanban urgente para el elemento B y lo coloca en el buzón urgente (a veces llamado buzón rojo) próximo al de órdenes de producción del proceso de mecanización.
2. Al mismo tiempo pulsa un botón para que la línea de mecanización fabrique el elemento B. El botón utilizado para poner en marcha las líneas de mecanización está situado en un tablero junto al buzón de órdenes de producción kanban.
3. En un tablero luminoso, denominado Andón, se encendería una luz correspondiente al elemento B, indicando una orden de producción de la citada pieza o subconjunto.
4. En el punto de la línea en que se hubiere encendido la luz, el trabajador debe producir de inmediato el elemento B y llevarlo al proceso siguiente (línea de montaje). El trabajador será felicitado si la luz roja se apaga inmediatamente.

## **7.10. REGLAS KANBAN**

Para conseguir el propósito de la producción kanban «just-in-time» deben cumplirse las normas siguientes:

- Regla 1. El proceso posterior recogerá del anterior los productos necesarios en las cantidades precisas y en el momento oportuno.
- Regla 2. El proceso precedente deberá fabricar sus productos en las cantidades recogidas por el proceso siguiente.
- Regla 3. Los productos defectuosos nunca deben pasar al proceso siguiente.
- Regla 4. El número de kanban debe minimizarse.
- Regla 5. El kanban habrá de utilizarse para lograr la adaptación a pequeñas fluctuaciones de la demanda. (Ajuste de la producción mezclada mediante kanban.)

## **7.11. APLICACIÓN DEL SISTEMA KANBAN A LOS PROVEEDORES**

### **7.11.1. Kanban de proveedor**

Un fabricante importante puede dar instrucciones a sus proveedores para que le aporten sus piezas «just-in-time». Pero, si éstos no cambian al mismo tiempo su propio sistema de producción, el sistema kanban se convierte en algo muy perjudicial para ellos, ya que les obligará a tener stocks de todo lo que pueda pedirles.

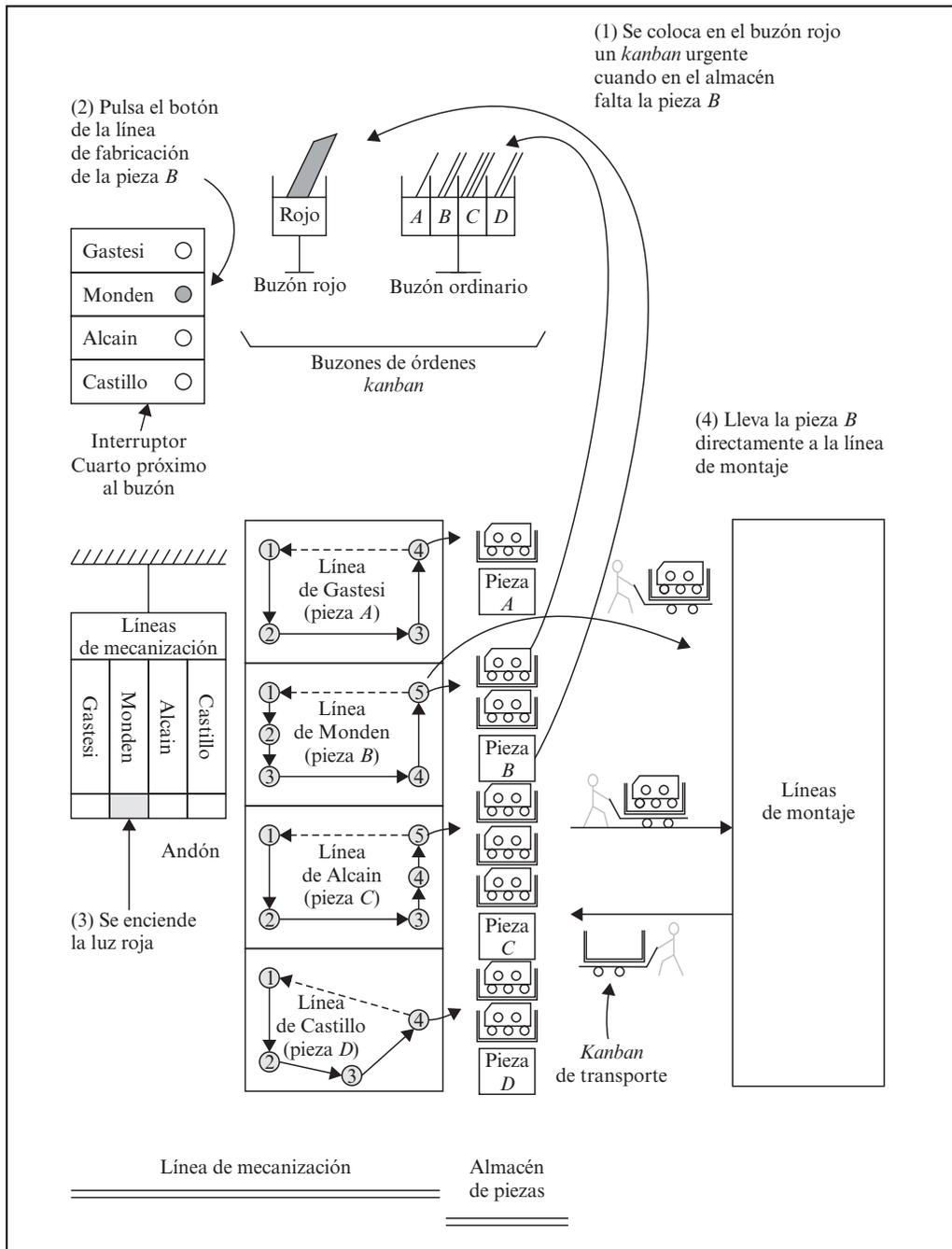


Figura 7.8. Utilización del *kanban* urgente.

Por tanto, aunque se trate de un medio muy efectivo para la realización del concepto de «just-in-time», no debería aplicarse al proveedor sin que antes éste haga los cambios correspondientes en el conjunto de su sistema de fabricación.

El sistema kanban es un subsistema del sistema Toyota de producción, que requiere a su vez una reorganización completa de los sistemas productivos.

Si el proceso siguiente recoge piezas de forma irregular en cantidad o en plazo, el proceso anterior debe disponer necesariamente de amplias capacidades de personal, instalaciones y existencias. Si el fabricante importante está relacionado con el proveedor mediante el sistema kanban, el proveedor tendría problemas si el fabricante le pide las piezas de modo fluctuante. Por ello es preciso esforzarse en minimizar las variaciones irregulares en la línea final de montaje del fabricante.

En 1950, la fábrica Honsha de Toyota comenzó a instalar un esquema de nivelación de la línea final de montaje y la de mecanización. Desde entonces, el sistema kanban fue desarrollándose y extendiéndose a través de los procesos anteriores. Como resultado, desde 1962 el sistema kanban se viene aplicando al conjunto de las plantas de Toyota. Fue en 1962 cuando Toyota comenzó a aplicar el kanban a sus proveedores y en 1970 lo había extendido al 60% de ellos. En 1982, Toyota había aplicado el kanban de proveedores al 98% de sus empresas proveedoras, aunque sólo el 50% de ellas utilizaban el kanban de producción en sus propias fábricas.

### **7.11.2. Información mensual y diaria a proveedores**

Toyota proporciona a sus proveedores dos tipos de información: en primer lugar, una planificación previa de la producción mensual, que se comunica a mediados del mes anterior y cuya utilización permite determinar los siguientes datos:

1. Ciclo de fabricación de cada proceso.
2. Ruta estándar de operaciones, con la que se realiza la asignación de personal de acuerdo con el ciclo de fabricación de cada proceso.
3. Cantidades de piezas y de material a pedir a los subproveedores.
4. Número de cada kanban.

El segundo tipo de información es de carácter diario y especifica el número de unidades a entregar de cada tipo.

Toyota utiliza dos métodos de pedidos diarios: un sistema de reposición y un sistema de secuencia de pedidos.

El *sistema de reposición* es un método de utilización de kanban de proveedor. A lo largo de la línea de montaje, en Toyota, están dispuestas numerosas cajas que contienen piezas y kanban de proveedor.

La utilización de las piezas en la línea irá dejando las cajas vacías, que se transportarán a intervalos regulares de tiempo, junto con sus kanban de proveedor, en una carretilla, al

proveedor respectivo. Del correspondiente almacén del proveedor se recogerán en la carretilla otras cajas con piezas acabadas para Toyota.

Consideremos ahora el *sistema de secuencia de pedidos*. En algunos casos, Toyota proporciona al proveedor una serie de programas de pedidos para un gran número de piezas. Estos programas permiten a Toyota recoger las piezas respectivas siguiendo la secuencia programada para la combinación de modelos en la línea de montaje.

Si la secuencia de diversos automóviles programada en la línea final de montaje de Toyota es, por ejemplo (A-B-A-C-A-B-A-C...), la secuencia programada de las diversas transmisiones a subensamblar por el proveedor deberá ser (Ta-Tb-Ta-Tc-Ta-Tb-Ta-Tc ...) donde Ta significa la transmisión para el coche A.

### **7.11.3. Sistema de aprovisionamiento de proveedor mediante kanban**

Como se expresa en la figura 7.9 el flujo de un kanban de proveedor consta de dos fases:

1. A las 8 de la mañana, el conductor de una furgoneta lleva al proveedor los kanban con las cajas vacías.
2. Cuando la furgoneta llega al almacén del proveedor, su conductor descarga las cajas y entrega al personal del almacén los kanban. Luego regresa a Toyota conduciendo otra furgoneta cargada con las piezas dentro de cajas identificadas con sus kanban (fabricadas durante el turno de la noche anterior).

La situación indicada requiere tres furgonetas. Mientras el conductor lleva una de ellas, las otras dos están, respectivamente, estacionadas en el almacén de Toyota, para descargar las piezas entregadas, y en el almacén del proveedor para cargar nuevas piezas. Participan asimismo tres personas: el conductor de la furgoneta y dos trabajadores encargados simultáneamente de la carga y descarga.

Entre las ventajas del sistema se encuentran:

- Reducción del tiempo de aprovisionamiento entre el proveedor y el fabricante, al no requerirse tiempo de espera para el conductor, por carga y descarga, en los respectivos almacenes, puesto que otras personas se ocupan de la carga y de la descarga mientras la tercera furgoneta está realizando el transporte.
- Aunque las tres furgonetas requeridas por el sistema tienen tres veces los costes de amortización de una furgoneta, el período de duración es asimismo tres veces mayor, con lo que, a largo plazo, el sistema no incrementará los costes de transporte. Por otra parte, si las piezas hubieran de transportarse en una sola furgoneta, se necesitarían más de dos personas para la carga y descarga para reducir todo lo posible el tiempo de aprovisionamiento.
- Se deberá tener en cuenta además los beneficios del sistema de transporte con carga mixta que Toyota aplica a varios proveedores, en el que se aprovecha la recogida de varios de ellos situados en la misma zona o trayecto.

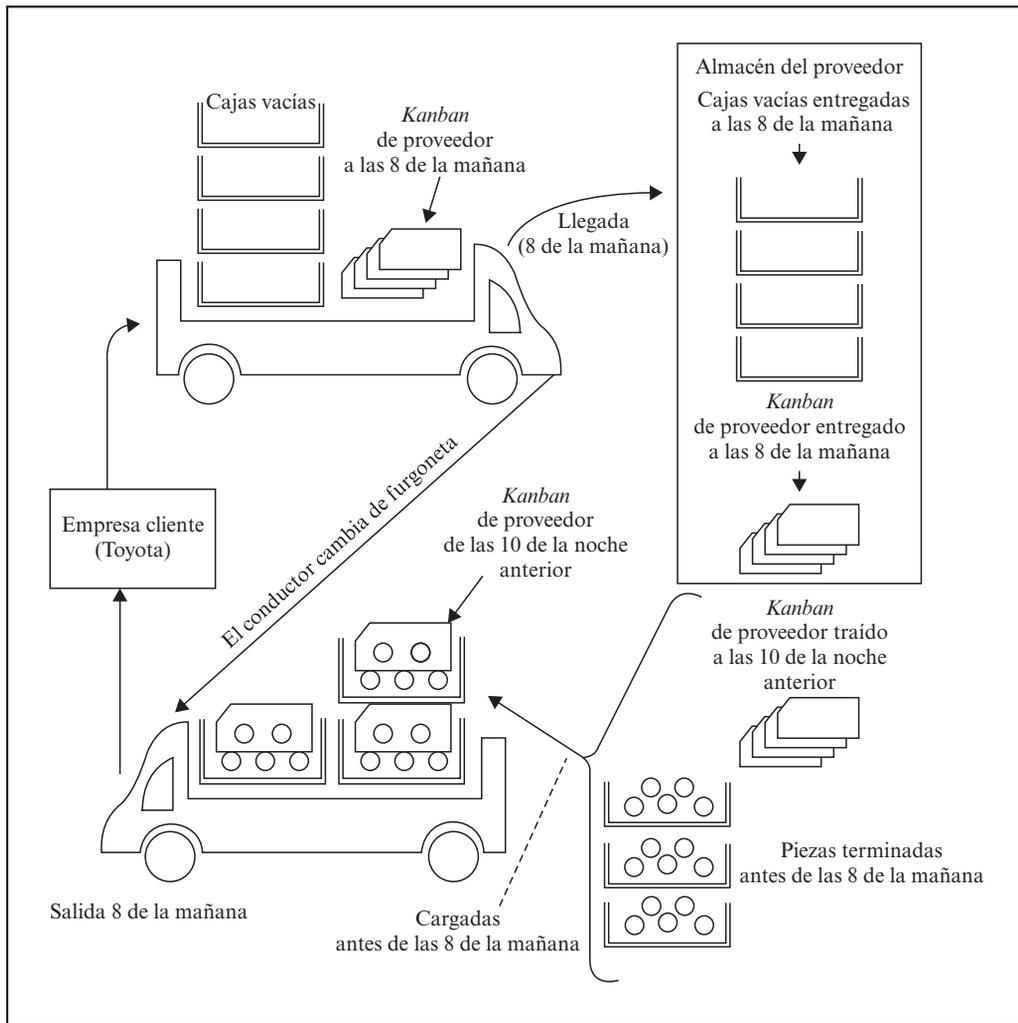


Figura 7.9. Circuito del kanban de proveedor.

## 7.12. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN

A continuación, en la figura 7.10, puede verse el diagrama de planificación y programación de la producción, que parte de una predicción de la demanda a largo plazo y acaba con la petición de entrega de materia prima a la planta para el procesamiento de piezas.

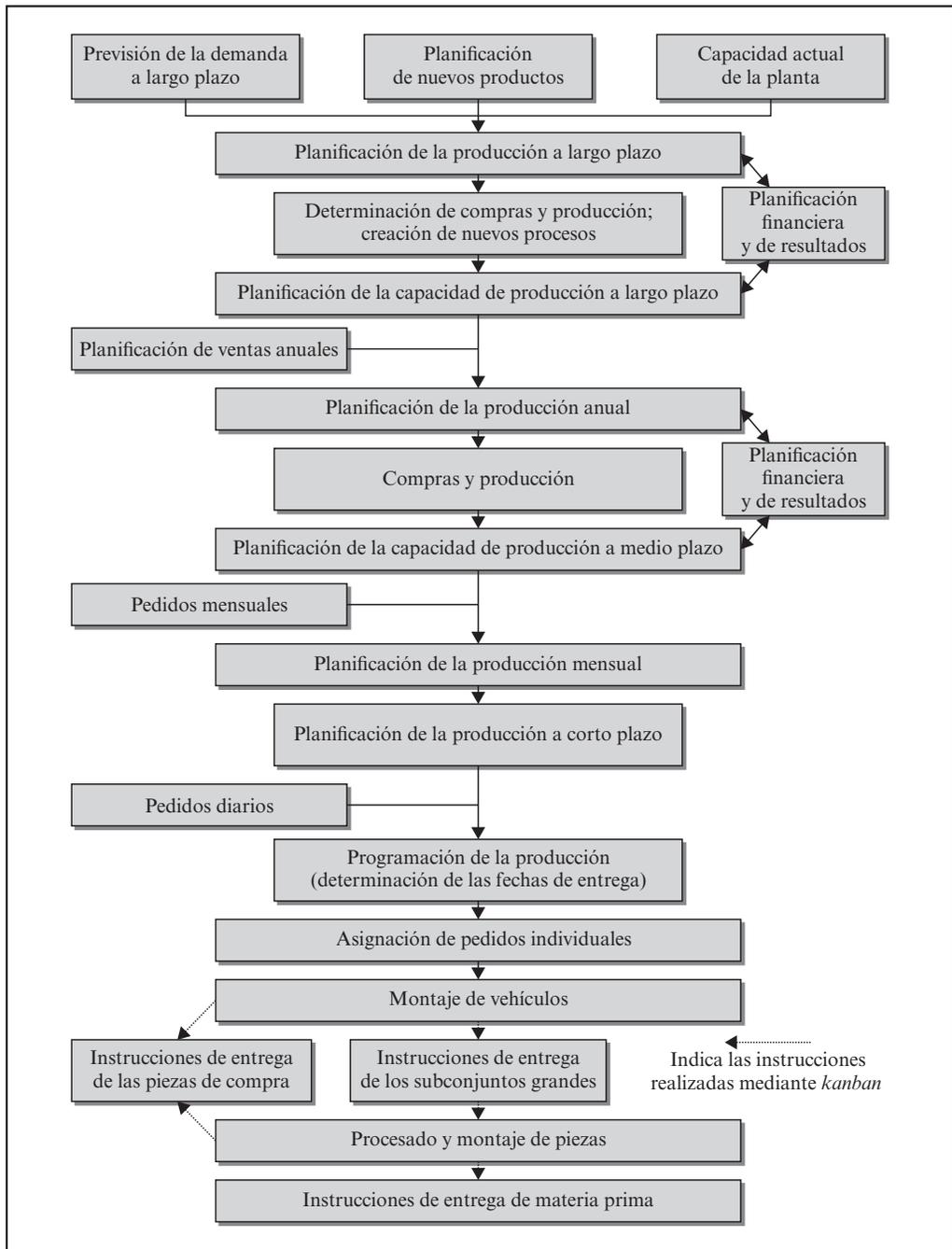


Figura 7.10. Diagrama de planificación y programación de la producción.

## 7.13. NIVELADO DE LA PRODUCCIÓN

En Toyota, el procedimiento para adaptar la producción a la demanda variable se denomina nivelado de la producción.

Mediante el nivelado de la producción, una línea de producción no fabricará un tipo único de producto en grandes series, sino que producirá muchas variedades diarias como respuesta a la demanda cambiante de los consumidores; como consecuencia se mantiene actualizada la producción y se reducen las existencias.

La Toyota Motor Corp. posee un plan anual de producción que indica el número de coches a fabricar y vender en el año en curso, así como un plan mensual en dos etapas:

1. Se estiman los tipos y el número de coches con dos meses de antelación.
2. Se determina un plan detallado con un mes de antelación.

Tanto la información estimada como la determinada se comunican a los proveedores. A partir del programa mensual de producción, se establece el programa diario de producción.

El programa diario es particularmente importante porque incorpora el concepto de nivelado de la producción.

La **primera fase** expresa la adaptación a los cambios de la demanda durante el año (**adaptación mensual**); en la **segunda fase**, la adaptación a los cambios diarios de la demanda durante el mes (**adaptación diaria**).

Las fases de nivelado de la producción pueden verse en la figura 7.11.

## 7.14. PLANIFICACIÓN MENSUAL DE LA PRODUCCIÓN

La **adaptación mensual** se conseguirá por medio de la planificación mensual de la producción: la elaboración de un programa maestro de producción indica el nivel medio diario de producción en cada proceso de la fábrica. Este programa maestro de producción se basa en la predicción de la demanda a tres meses y en una predicción de la demanda mensual.

Cuando el proceso de producción reciba el programa mensual con la producción media diaria, debe adaptarse a la nueva información.

Por ejemplo, en una fábrica de Toyota existen numerosas líneas finales de montaje —la línea Corolla, la línea Yaris, la línea Avensis, etc.—. Supongamos que la línea Corolla tiene que producir 20.000 unidades en un mes de 20 días laborables, lo que significa que habrán de producirse 1.000 Corollas diarios. Ésta es la nivelación de la producción en términos de producción diaria, es decir, el promedio de cantidad total a producir cada día durante el mes.

La línea Corolla ha de ser nivelada en términos de las distintas variantes de Corollas posibles, aproximadamente 3.000 o 4.000 tipos diferentes entre sí por diversas combinaciones de motores, transmisiones, número de puertas, colores interiores y exteriores, neumáticos

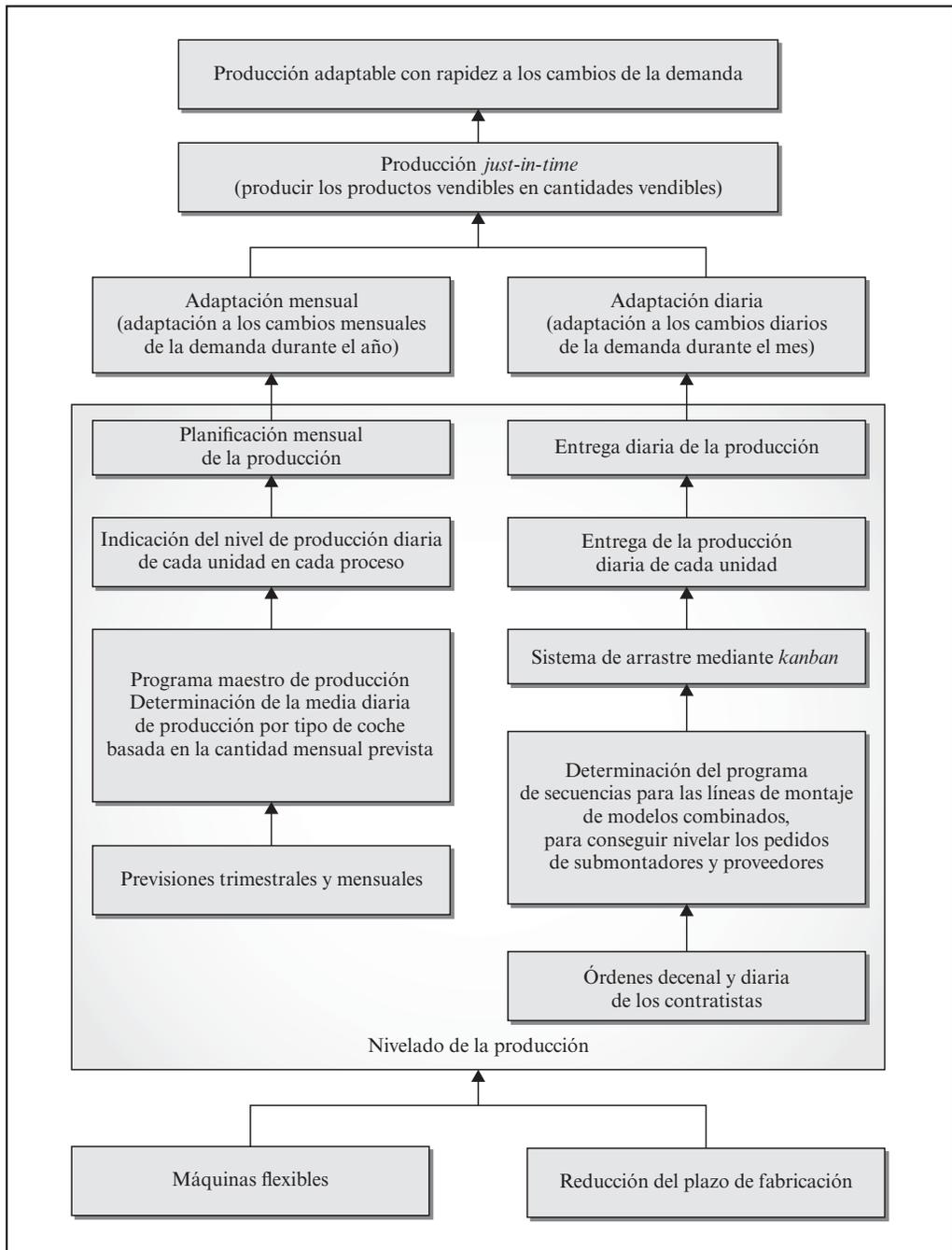


Figura 7.11. Fases del nivelado de la producción.

y opciones diversas. Cada uno de estos tipos diferentes de Corollas debe asimismo nivelarse en la producción diaria.

Supongamos que hay cuatro tipos principales de automóviles en la línea Corolla; que el número de días laborables al mes es de 20, y que se trabaja a dos turnos de 8 horas. La cantidad media diaria de cada tipo y el ciclo de fabricación resultante se indican en la tabla 7.2.

TABLA 7.2

*Nivelado de la cantidad de cada producto a producir cada día*

Tipos	Demanda mensual (unidades)	Salida media diaria (unidades)	Ciclo de fabricación	Unidades por cada 9 minutos 36 segundos
A	8.000	400	$480 \text{ min} \times 2 \text{ turnos} = 960 \text{ min.}$ $960' : 100 = 9,60 \text{ min/unidad}$	4
B	6.000	300		3
C	4.000	200		2
D	2.000	100		1
	20.000	1.000		10

Así pues, en cada intervalo de 9 minutos y 36 segundos, de los tipos A, B, C y D se montarán: 4 de A, 3 de B, 2 de C y 1 de D; la secuencia sería: AAAA, BBB, CC y D, o bien otra más complicada: A, B, A, C, B, A, D, A, B, C, etc.

Toyota puede adaptarse en un plazo relativamente corto al incremento de la demanda, mediante horas extraordinarias que llenen el espacio libre entre el primer turno (de 8 de la mañana a 5 de la tarde) y el segundo turno (de 9 de la noche a 6 de la mañana), consiguiendo un aumento de capacidad de hasta el 37,5%.

Por otro lado, si la demanda disminuye, la adaptación en los procesos de fabricación de piezas se puede conseguir aumentando el número de máquinas manejadas por cada operario y disminuyendo los trabajadores eventuales. En la línea de montaje, el ciclo se aumentará, lo que originará un sobrante de trabajadores.

Toyota opina que es mejor dejar que los trabajadores sobrantes tomen un descanso o realizar otras actividades que producir existencias innecesarias. Algunas actividades que pueden realizarse durante el período de baja actividad serían: transferencia de trabajadores a otras líneas, disminución de horas extraordinarias, fabricación de piezas que venían siendo adquiridas a los proveedores, reuniones de círculos de calidad, mantenimiento y reparación de las máquinas.

Así como el objetivo principal es la mejora del proceso para *atender la demanda con un mínimo número de trabajadores*, Toyota no considera necesario atender la demanda con un mínimo de máquinas.

Puesto que la empresa tiene normalmente exceso de capacidad en máquinas, cuando la demanda se incrementa sólo se necesitan trabajadores eventuales para aumentar rápidamente la capacidad efectiva de producción.

En ocasiones, en lugar de contratar y después despedir trabajadores eventuales, Toyota utiliza horas extraordinarias y transferencia de trabajadores entre diferentes líneas para adaptarse a los cambios de la demanda.

## 7.15. PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DIARIA

Una vez realizado el cálculo del plan mensual de producción, la siguiente fase del nivelado es la preparación del programa de secuencias de cada día, que especifica el orden de montaje de los diversos coches a través de las líneas finales de montaje, como, por ejemplo, A-B-A-C, etc.

El aspecto más característico del sistema Toyota de información radica en que el programa de secuencias se comunica sólo al punto de partida de la línea final de montaje y no a otros procesos.

Los procesos anteriores a la línea final de montaje reciben sólo estimaciones mensuales de las cantidades que les serán requeridas, permitiendo con ello que el responsable de cada proceso pueda calcular las necesidades de personal para el mes en cuestión.

En estos procesos anteriores la programación de la producción diaria la marca el kanban.

### 7.15.1. Transmisión del programa de secuencias a la línea de montaje

Para recibir el programa de secuencias la línea final de montaje utiliza una impresora o una pantalla terminal de un ordenador. La información citada se transmite en tiempo real a la impresora o pantalla situados en la cabecera de la línea de montaje, siguiendo el programa de secuencias determinado por el ordenador central. Entre otra información, la terminal proporciona para cada coche una etiqueta que identifica las especificaciones del tipo concreto de vehículo a montar. Los operarios de la línea montarán el vehículo siguiendo las especificaciones de la etiqueta. **El programa de secuencias se aplica en muchos casos no sólo a la línea final de montaje (carrocería), sino también en otras líneas de montaje de piezas o a proveedores que fabriquen elementos de tamaño considerable, como transmisiones, motores, etc.** Se basa en la idea del **sistema secuencia de pedidos**. El programa de secuencias de las variantes de productos terminados a fabricar en las líneas de submontaje se entrega a veces a dichas líneas o al proveedor, y así la línea final de montaje puede retirar tales piezas en una secuencia conforme a sus programas de montaje.

Todos los demás procesos de producción y los proveedores reciben, como información para su trabajo, kanban o **sistema de reposición**.

## 7.15.2. Relaciones entre programas decenales y pedidos diarios del vendedor y la secuencia de programas de producción

Se relacionan de la siguiente forma:

1. Llegada a Toyota Motor Sales Co., Ltd. de un programa decenal de ventas previstas del vendedor.
2. Envío de un pedido diario (o de una modificación diaria) de venta ya realizada del vendedor a Toyota Motor Sales Co., Ltd.
3. Envío de una orden diaria de Toyota Motor Sales Co., Ltd. a Toyota Motor Co., Ltd.
4. Actualización del programa diario de secuencias a las fábricas de Toyota y a los proveedores.

Examinemos ahora estas etapas (véase figura 7.12):

1. El mes se divide en tres períodos decenales y el programa decenal llegará unos siete días antes de que comience uno de tales períodos.

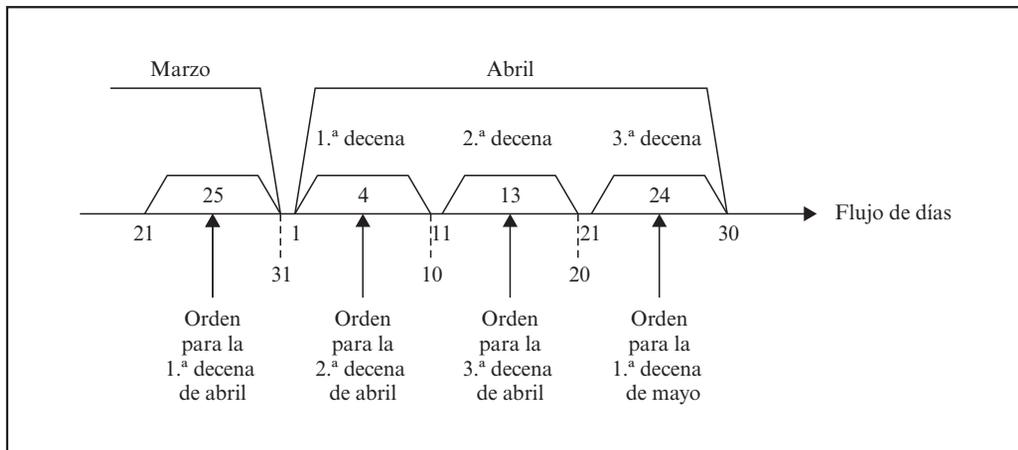


Figura 7.12. Programa decenal de los vendedores.

En el **programa decenal**, el vendedor, en función del interés manifestado por los clientes y las ventas realizadas, anticipa sus necesidades de automóviles con especificaciones estándar. Estos programas decenales sirven *para revisar el plan de nivelado de la producción* para el programa diario, pues, aunque la producción mensual se basa en una previsión de ventas, los programas decenales se basan en una previsión más actualizada de las ventas mensuales

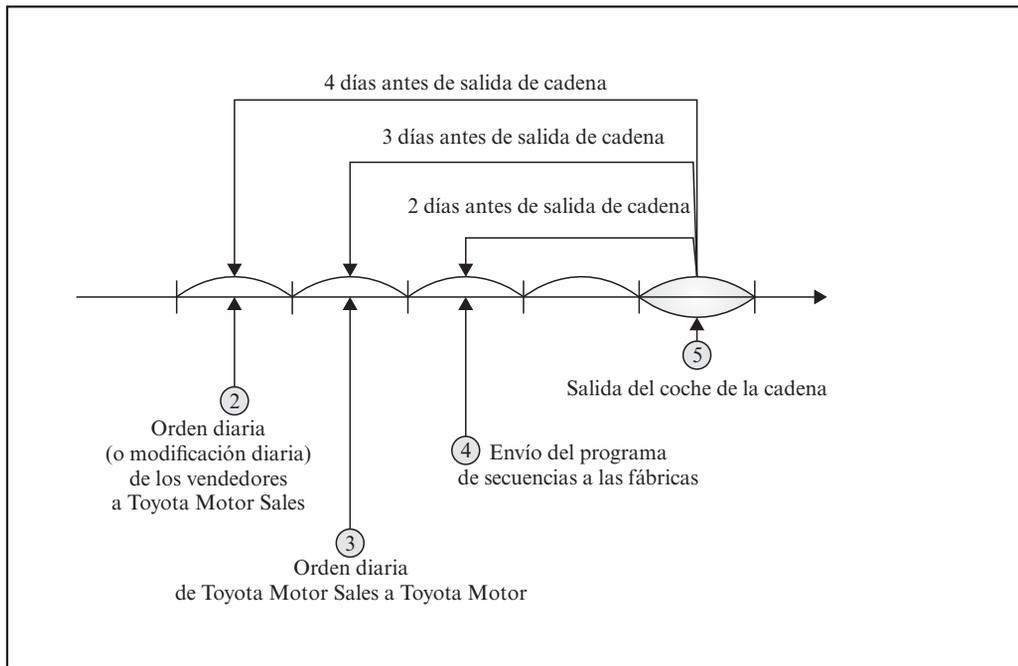


Figura 7.13. Pasos sucesivos desde la orden del vendedor a la salida de cadena del coche.

de los vendedores y así se calculan las cantidades medias al preparar los programas de secuencia diarios.

2. Toyota Motor Sales Co. cada día recibe los **pedidos diarios** de todos sus vendedores en el país. En la figura 7.13 puede verse que se reciben *cuatro días antes* de la salida de cadena del coche en la línea de montaje de la carrocería. El **pedido diario** difiere del programa decenal en que se especifica de acuerdo con los *deseos concretos de los clientes*.
3. Toyota Motor Sales Co. informáticamente clasifica los pedidos de los vendedores según las variantes de coches, tipos de carrocería, motores, transmisiones y colores. Esta información clasificada se proporcionará a Toyota Motor Co. *tres días antes* de la salida de cadena de los coches.
4. Toyota Motor Co. recibe esta información clasificada y preparará el programa de secuencias para la línea de montaje de modelos combinados *dos días antes* de que el automóvil salga de la cadena de montaje.

Así pues, un coche saldrá de la línea de montaje sólo cuatro días después de que el vendedor haya pasado su pedido a Toyota Motor Sales Co.

## 7.16. PRODUCCIÓN EQUILIBRADA Y SINCRONIZADA

Se trata de conseguir que los diferentes procesos tengan una producción horaria lo más igual posible y que el stock intermedio sea mínimo.

Los pasos a seguir son:

1. Determinar el *tack-time* (ciclo máximo de fabricación).
2. Establecer la ruta estándar de operaciones (asignar operaciones a cada operario sin sobrepasar el *tack-time*).
3. Mínima cantidad de trabajo en curso.

### 7.16.1. Determinación del *tack-time* (ciclo máximo de fabricación)

El *tack-time* es la cantidad máxima de tiempo de trabajo que se le debe asignar a un trabajador por unidad de producto en una línea de fabricación para así conseguir en dicha línea (con el número de trabajadores adecuado) la cantidad de productos necesarios.

$$\text{Tack-time} = \frac{\text{Tiempo efectivo diario}}{\text{Cantidad de producción diaria requerida}}$$

Supongamos que se requieren 480 unidades diarias y que el tiempo efectivo diario es de 960 minutos. El *tack-time* sería:  $960/480 = 2$  minutos.

### 7.16.2. Establecer la ruta estándar de operaciones

Se parte del conocimiento de la ficha de capacidad de producción:

$$\text{Capacidad de producción (n.º de unidades)} = \frac{\text{Tiempo efectivo diario}}{(\text{tiempo de ejecución por unidad (ciclo)} + \text{tiempo de preparación por unidad})}$$

$$\text{Tiempo de preparación por unidad} = \frac{\text{Tiempo de cambio}}{\text{Unidades por cambio}}$$

A continuación, y en la figura 7.14, puede verse un ejemplo\* en el que para cada operación el tiempo base está desglosado en tiempo manual y tiempo máquina.

---

\* Monden, Y. (1987): *El sistema de producción de Toyota*. Madrid: CDN.

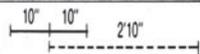
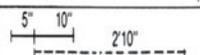
FICHA DE CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN			ÍTEM Nº		DENOMINACIÓN		CANTIDAD NECESARIA AL DÍA		NOMBRE DEL OPERARIO			
									B. LOBATO			
Orden de procesos	Operaciones	Máquina nº	TIEMPO BASE						CAMBIO HERRAM.		Capacidad Producción (960 min)	Referencias Operación manual _____ Proceso mecanizado _____
			Manual		Máquina		De Ejecuc. por Unidad		Unidades por cambio	Tiempo de cambio		
			min.	sec.	min.	sec.	min.	sec.			units	
1	Taladrar centro	CD-300	07		20		27		80	1'00"	655	
2	Chafianar	KA-350	09		35		44		20	30"	549	
									50	30"		
3	Escariar	KB-400	09		25		34		20	30"	606	
									40	30"		
4	Escariar	KC-450	10		18		28		20	30"	643	
2-1	Fresar	MS-100	(20)	(2 10)	(2 20)				1,000	7'00"	820	
2-2	Fresar	MS-101	(15)	(2 10)	(2 15)				1,000	7'00"		
	Dos secciones de máquinas		18									$\left[ \begin{array}{l} \text{Operación manual} \\ \text{Tiempo por unidad} \end{array} \right] = \frac{20'' + 15''}{2} = 17,5'' - 18''$
3	Taladrar	BA-235	(08)		(50)		(58)		500	5'00"	1,947	
	Proceso simultáneo de 2 unidades		04				29					$\left[ \begin{array}{l} \text{Operación manual 1} \\ \text{Tiempo por unidad} \end{array} \right] = \frac{8''}{2} = 4''$
4	Calibrar (1/5)		(18)									
	Inspección de una de cada 5 unidades		09									$\left[ \begin{array}{l} \text{Operación manual} \\ \text{Tiempo por unidad} \end{array} \right] = \frac{18''}{2} = 9''$
			total									

Figura 7.14. Ficha de capacidad de producción.

Veamos como ejemplo los cálculos para la operación 4: Escariar:

El tiempo base de ejecución por unidad será de: 10 segundos + 1 minuto 18 segundos = 1 minuto 28 segundos.

Como cada 20 piezas se tiene que cambiar el escariador y supone un tiempo de 30" resultará un tiempo de cambio por unidad de: 30 segundos/20 = 1,5 segundos, luego el tiempo total a considerar será de: 1 minuto 29,5 segundos equivalente a 1,49166 minutos.

Por lo que la capacidad de producción en número de unidades en los 960 minutos será de: 960/1,49166 = 643.

En la figura 7.15 puede verse la hoja de ruta de operaciones que se asignará al primer operario en la que, como puede verse, el total de las 11 operaciones suma un tiempo ligera-

mente inferior a los 2 minutos que es el *tack-time* calculado. A continuación se procedería de la misma forma hasta haber asignado todas las operaciones y comprobando que todos los operarios tienen una cantidad de trabajo asignado lo más igualitariamente posible (equilibrado).

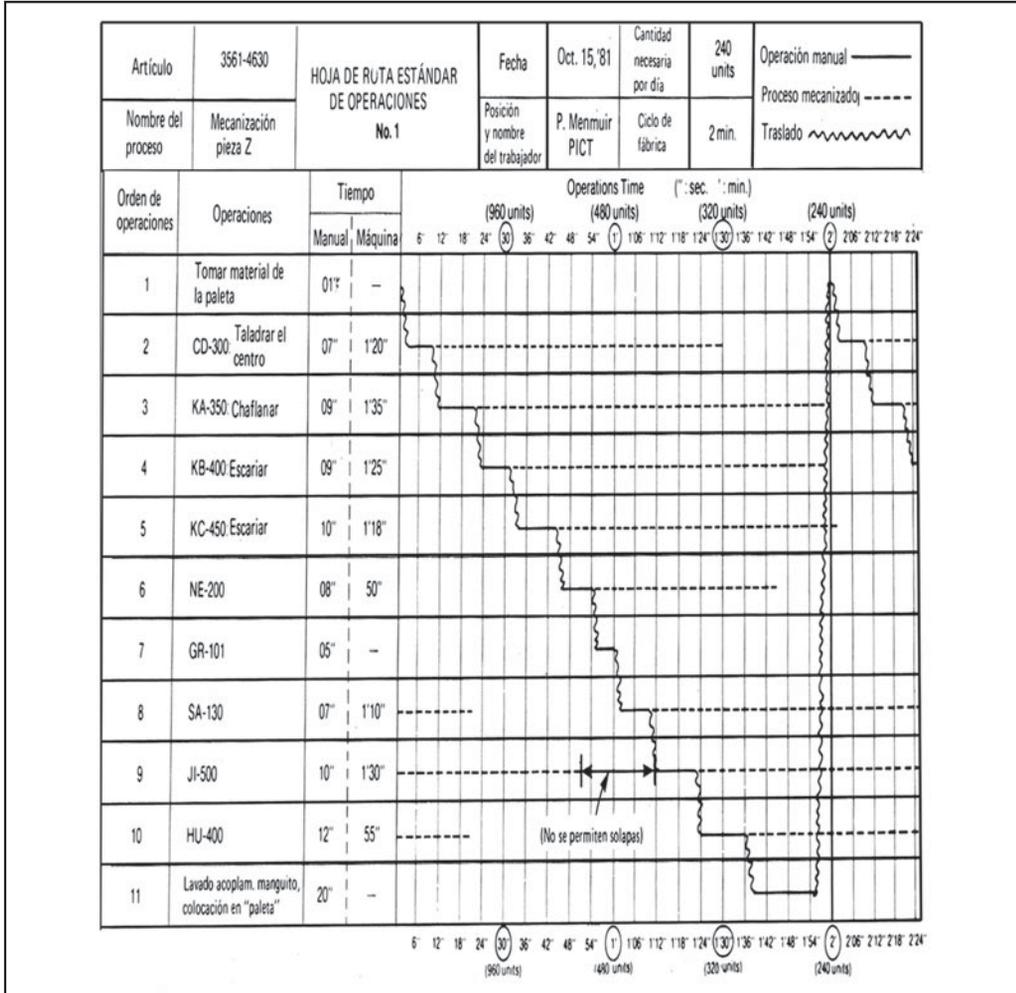


Figura 7.15. Hoja de ruta estándar de operaciones (para un *tack-time* de 2 minutos).

### 7.16.3. Mínima cantidad de trabajo en curso

Si el trabajo asignado está equilibrado, acto seguido mediante las técnicas adecuadas debe conseguirse eliminar o reducir al máximo los stocks intermedios, es decir, sincronizar y trabajar como puede verse en la parte inferior de la figura 7.16 en la que queda eliminado el doble transporte.

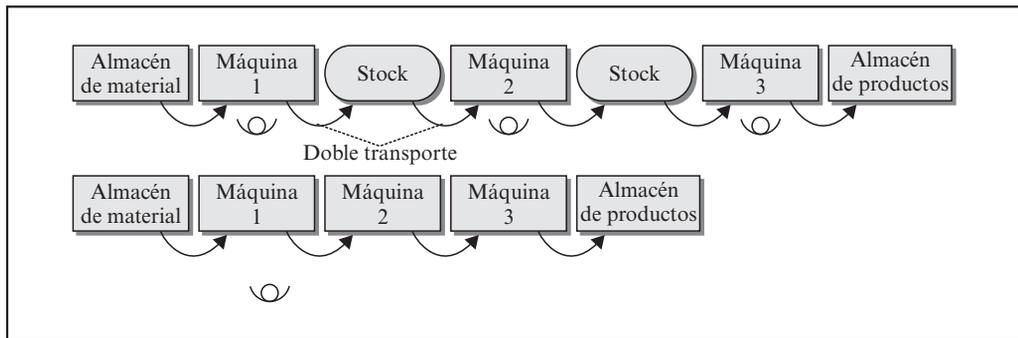


Figura 7.16. Mínima cantidad de trabajos en curso.

## 7.17. ADAPTACIÓN A LA DEMANDA MEDIANTE LA FLEXIBILIDAD (SHOJINKA)

En la figura 7.17 puede verse esquemáticamente los pasos a seguir para conseguir la flexibilidad en el número de trabajadores de una sección para adaptarse a las modificaciones de la demanda.

Uno de estos pasos importantes para conseguir la flexibilidad es que la distribución sea en líneas en forma de U combinadas.

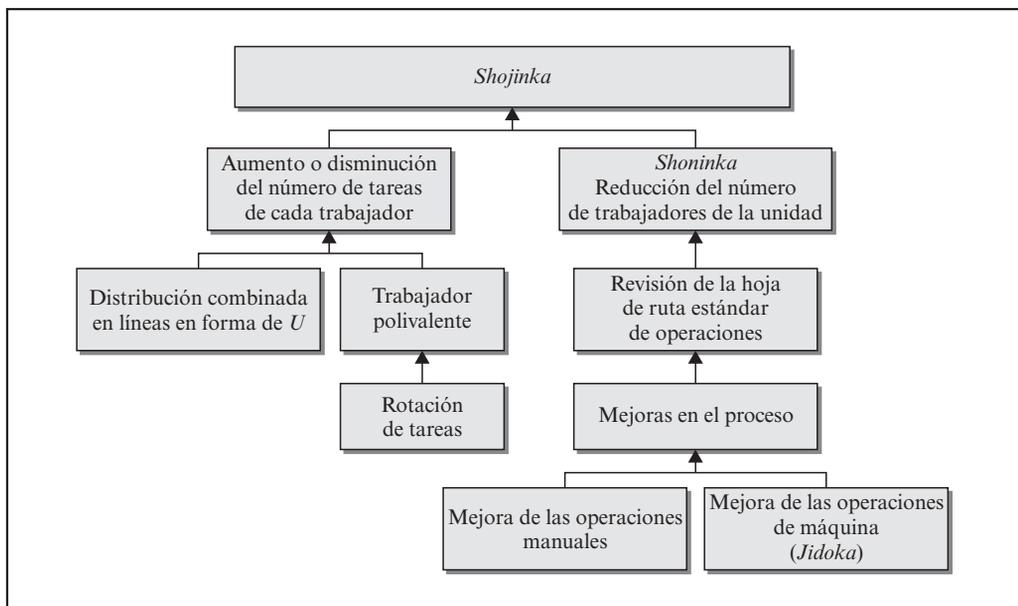


Figura 7.17. Diagrama de pasos a seguir para conseguir la flexibilidad (Shojinka).

## 7.18. DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS EN «U» COMBINADAS

Veamos a continuación, en primer lugar, ejemplos de distribuciones inapropiadas para conseguir la flexibilidad.

### Distribuciones inapropiadas

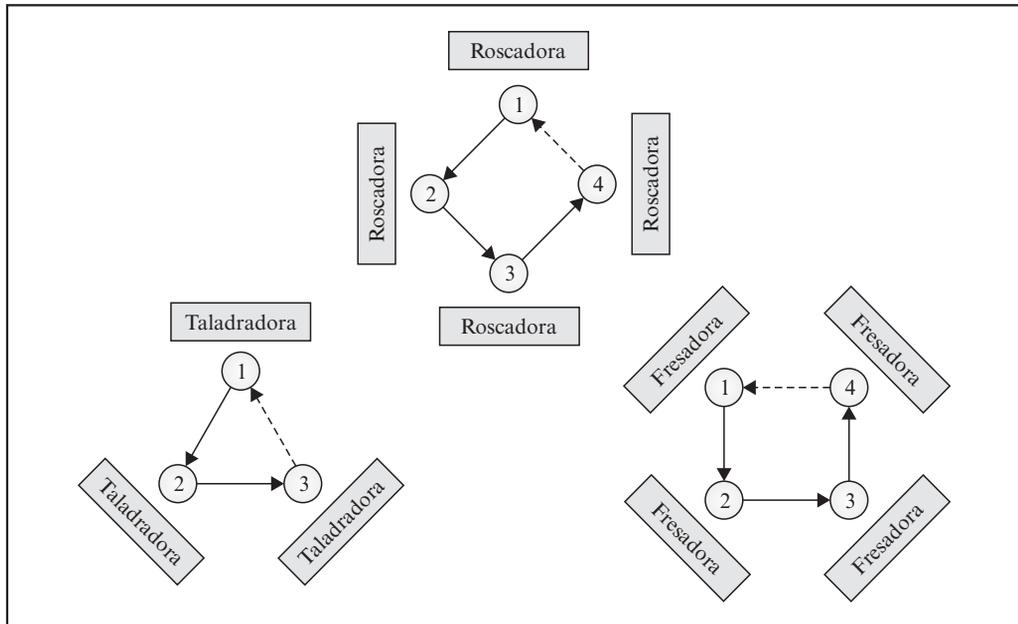


Figura 7.18. Distribución en jaula de pájaro.

En este tipo de distribución cada trabajador se especializa en un tipo de máquina, se generan excesivos stocks intermedios entre los diferentes procesos y no está equilibrado el trabajo entre ellos.

Podría mejorarse esta distribución disponiendo las máquinas en el mismo orden de la secuencia del proceso de la pieza (como puede verse en la figura 7.19, se fabrican dos tipos de piezas) con lo que se evitaría el transporte entre procesos, incrementándose la velocidad de producción de cada tipo de pieza.

Pero este tipo de distribución tiene el inconveniente de que, como la producción horaria de cada tipo de pieza es diferente, se generan stocks de los diferentes tipos de pieza y, como los trabajadores están aislados y no pueden prestarse ayuda, dificulta el equilibrado de las líneas para el conjunto de la fábrica y la minimización del número total de operarios.

Estos inconvenientes se evitan en parte mediante la distribución en línea (véase figura 7.20). Sin embargo, es difícil reasignar operaciones entre los trabajadores para adaptarse a los cambios de la demanda.

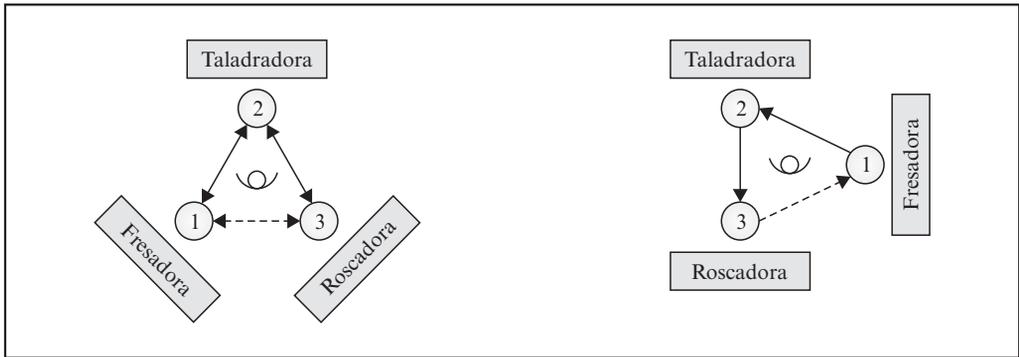


Figura 7.19. Distribución en islotes.

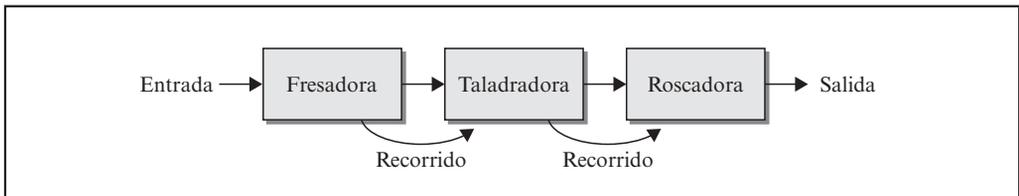


Figura 7.20. Distribución lineal.

La distribución adecuada ideada por Toyota para conseguir ese objetivo de adaptación a los cambios de la demanda es la línea en forma de U, tal y como puede verse en la figura 7.21.

### Distribución apropiada

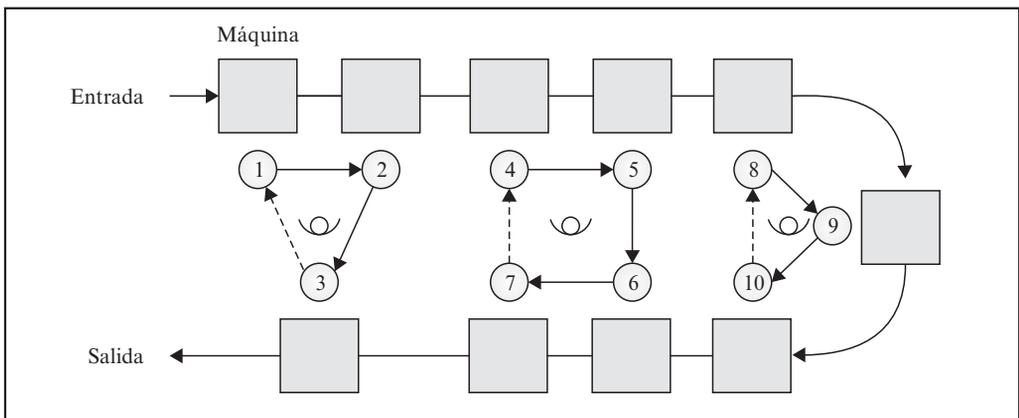


Figura 7.21. Distribución en U.

Con este tipo de distribución la flexibilidad es muy alta, en la figura 7.21 puede verse que el trabajo total está repartido entre tres operarios, pero podría repartirse entre dos, e incluso uno solo realizaría todo el trabajo si la demanda disminuyese; en caso contrario, si la demanda aumentase, podría repartirse entre cuatro o más trabajadores.

A continuación puede verse en la figura 7.22 la hoja de ruta estándar de operaciones para un *tack-time* de 2 minutos, que, como puede verse, se consigue con tres operarios.

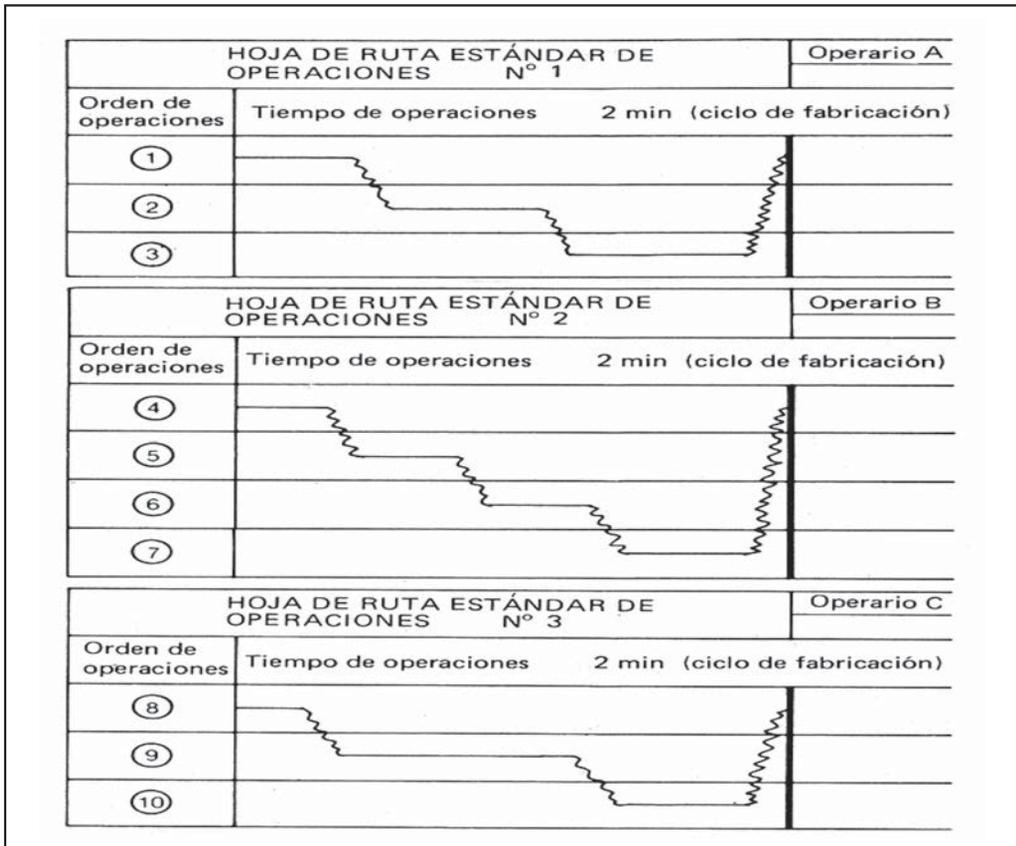


Figura 7.22. Hoja de ruta estándar de operaciones.

Hemos visto que para un *tack-time* de 2 minutos, es decir, una producción horaria mínima de 30 piezas por hora, el número de operarios requerido para fabricar esa pieza o subconjunto es de 3 operarios. Si la demanda disminuyera, podríamos pasar de 3 a 2 operarios con lo que se fabricarían 20 piezas por hora, pero si requiriéramos 25 piezas por hora no podríamos poner 2,5 operarios, sino que habríamos de seguir con 3 operarios, originándose stocks.

Para evitar este problema Toyota ideó combinar varias líneas en forma de U formando una línea integrada (véase figura 7.23)

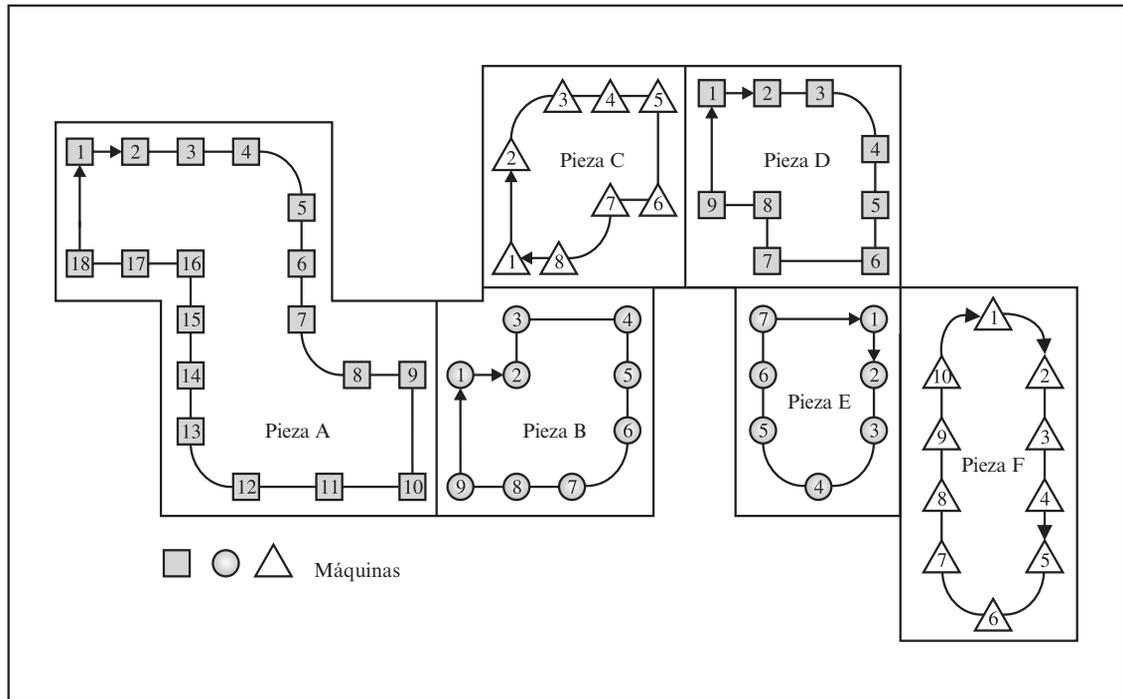


Figura 7.23. Línea combinada de fabricación de seis tipos de piezas (A-F).

## 7.19. COMPARACIÓN DEL SISTEMA KANBAN CON EL MRP

Desde el punto de vista de la adaptación de la producción a los cambios mensuales de la demanda, tanto el MRP como el kanban aspiran a realizar la producción *just-in-time*.

- Para la técnica MRP es muy importante el concepto de plazo de planificación, que puede definirse como un período de tiempo específicamente asignado a la fabricación de cierta cantidad de unidades.
- El sistema MRP requiere además el concepto de decaje en el tiempo en la elaboración de programas, componentes de un producto según sus tiempos de ejecución.
- El sistema kanban no necesita esencialmente el concepto de decaje en el tiempo, puesto que se basa en una producción nivelada.

- MRP exige la captación de datos oportunos y precisos que no son baratos ni fáciles de implementar, y tanto el coste como el esfuerzo se incrementan a medida que los sistemas se vuelven más integrados; sin embargo, una vez implementados de manera correcta, proporcionan la capacidad de planificar y ejecutar eficazmente la producción cuando se presentan una o más de las siguientes condiciones:
  - Cambios frecuentes en el diseño.
  - Cambios en la demanda del mercado.
  - Muchos productos con demandas volátiles o pequeñas.
  - Producción bajo pedido con series muy cortas.

En general, se dice que cuanto mayor es la incertidumbre y la volatilidad en el entorno, el sistema MRP será más efectivo y predictor, proporcionando una buena planificación y un apropiado control.

- El sistema KANBAN puro representa el extremo opuesto. En etapa madura con diseños estables, demanda más alta y predecible los sistemas *pull* puros, como el kanban, operan de manera muy efectiva y con bajo coste.
- En el sistema MRP debe haber una revisión, al final de cada intervalo de planificación de la producción, para comparar la producción prevista y la actual. Si en dicha revisión aparece alguna diferencia entre ambas, han de tomarse acciones correctivas..
- El sistema kanban no necesita una comparación entre la producción prevista y la realizada efectivamente al final de cada intervalo. Si el plan diario de fabricación —el programa de secuencias— requiere una revisión, dicha revisión se basará en las órdenes diarias de los vendedores que reflejan las condiciones diarias del mercado.

Por lo demás, dado que el kanban circula desde la línea final de montaje a los procesos anteriores, basta notificar a la línea final de montaje cualquier cambio en la secuencia para que dicha modificación se realice de modo concordante al total de la fábrica.

Por esta razón el sistema kanban se caracteriza como un «sistema de arrastre» (*pull*) mientras otros procedimientos, como el MRP, se caracterizan como «sistemas de empuje» (*push*), ordenándose este empuje desde la oficina central de planificación.

Lo cierto es que pocos entornos de producción reúnen las condiciones para ubicarse en uno u otro de los extremos.

En consecuencia, numerosas organizaciones han desarrollado sistemas «**híbridos**» que les permiten aprovechar ciertos factores y fortalezas de ambos tipos de sistemas. Dependiendo de sus entornos a estos sistemas también se les denomina «manufactura de flujo».

Este método se basa en planificar mediante el sistema MRP para que tome en cuenta un período específico (de 2 a 3 semanas, por ejemplo), para determinar para cada referencia la cantidad total a fabricar durante el mismo y calcular el número de tarjetas *kanban* requeridas.

El sistema suministrará dos tipos de documentación para ese período: el número de tarjetas *kanban* calculado y una lista de los lanzamientos (lo normal de los sistemas MRP). Tanto la lista de los lanzamientos como las tarjetas *kanban* impresas se envían al centro de

trabajo, que está autorizado para producir un subconjunto o un componente siempre y cuando exista una tarjeta *kanban* disponible y dicho subconjunto o componente aparezca en la lista de lanzamientos.

Después de programar el plan maestro con MRP, el sistema *kanban* se aplicará como instrumento de programación para la realización de la producción en cada intervalo.

Podríamos decir que con MRP planificamos la producción y que la programación de la producción se realiza mediante el *kanban*.

Yamaha Motor Co., Ltd. está empleando este método denominado como «Synchro-MRP».

## 7.20. SISTEMA «SYNCHRO MRP»

### EL SYNCHRO-MRP

El sistema Synchro-MRP combina las características de los sistemas MRP y *kanban*; se desarrolló inicialmente en la planta de producción de motocicletas de Yamaha Motor.

Utiliza la potencia de ambos en un sistema productivo con producción de tipo repetitivo, para el cual ni el MRP ni el *kanban* parecen, individualmente, suficientes. Su introducción costó tres años.

Las características de la planta de producción eran las siguientes:

- 250.000 motocicletas al mes.
- 450 modelos diferentes.
- 25 cambios de modelo al mes.
- 1.750 artículos finales diferentes (se prevén numerosas opciones y variantes para los diversos mercados).
- 200.000 códigos de piezas.
- 40 secciones productivas diferentes.

Las características a tener en cuenta eran las siguientes:

- **Secciones productivas de tipo diferente.** De las aproximadamente 40 secciones productivas, unas son de tipo *job-shop* (intermitente por lotes) mientras que otras actúan como producción repetitiva.

Las primeras producen en función de un sistema de gestión de órdenes de trabajo, mientras que las segundas utilizan programa diario.

- **Modificaciones.** Se producen regularmente gran número de modificaciones del producto.
- **Volumen de producción.** Muy elevado.
- **Variedad del producto.** Gran número de modelos y opciones.

La complejidad de la línea de productos hacía imposible «congelar» el plan maestro o mantener una carga constante en las instalaciones por un largo período de tiempo. Por otra parte, el sistema debía ser capaz de coordinar todos los cambios de diseño.

### Movimiento de materiales y control de la producción con Synchro-MRP

Concentrándonos únicamente en algunos aspectos específicos, conviene resaltar que dentro del sistema *Synchro-MRP* se prepara un programa detallado diario de montaje final para un período de diez días. En cada período el programa es uniforme en el tiempo, es decir, el programa diario de montaje de cada uno de los diez días es idéntico o casi.

Este programa de montaje final es, por tanto, el programa maestro, y es fijo o «congelado» para dos períodos de diez días laborables cada uno, que corresponden más o menos a un mes. Este programa es la parte primera y más fija del plan maestro que guía el sistema *MRP*, que a su vez genera los programas de fabricación.

El programa relativo al primero de los dos períodos genera tarjetas, denominadas *synchro*, para las piezas que deben controlarse en su flujo a través de las secciones de producción **repetitiva** incluido el montaje final.

Existen dos tipos de tarjetas *synchro*:

*Tarjeta synchro 1* (tarjeta de transferencia, retiro, transporte). Estas tarjetas están disponibles en los centros de elaboración y en la línea de montaje, desempeñan el papel de autorizaciones para retirar las piezas que deben ser utilizadas. Un número especificado de tarjetas *synchro 1* idénticas se produce para cada una de las piezas que se emplean en un determinado centro de trabajo.

*Tarjeta synchro 2* (tarjeta de autorización de producción). Se emiten y se suministran a los centros de trabajo que «hacen» las piezas. Se envía a cada centro de trabajo un número específico de tarjetas *synchro 2* idénticas para cada pieza que tiene autorizada su producción.

El sistema proporciona, además, a cada centro de trabajo de producción repetitiva un programa diario de las piezas que debe fabricar.

A los centros de trabajo de producción **intermitente** diariamente se les suministra una lista de piezas a fabricar con los instantes previstos y las prioridades actualizadas.

Para ambos tipos de centro los lotes de cada pieza son múltiplos de las cantidades contenidas en el contenedor normalizado correspondiente a esta pieza.

Los programas diarios asignados a un centro de **producción repetitiva** especifican el momento del día en que deben estar disponibles cantidades normalizadas de una pieza determinada. A causa de la uniformidad del programa maestro, el programa de las piezas previstas en cualquier centro de trabajo es prácticamente idéntico para cada día laborable dentro del período de diez días:

Las tarjetas *synchro 1* y *synchro 2* se producen en el sistema informático: cada tarjeta corresponde a una pieza específica y se utiliza en un centro de trabajo concreto. Las cantidades se refieren siempre a contenedores normalizados, los cuales se utilizan siempre en las piezas tanto dentro de los centros de trabajo de producción intermitente como en los de producción repetitiva. Comparados con los usados en las plantas occidentales, los contenedores son pequeños. Cada tarjeta *synchro* va asignada a un contenedor (y a uno solo) normalizado de una pieza específica. En consecuencia, la cantidad total del stock presente en el área productiva de la pieza es, como máximo, la cantidad correspondiente al número total de tarjetas *synchro 1* más las *synchro 2* emitidas para aquella pieza.

### Procedimientos de utilización de las tarjetas *synchro* 1 y *synchro* 2

- Cuando un operario de un centro de trabajo necesita una pieza determinada, retira del punto de almacenaje de entrada al centro un contenedor de la misma y separa del mismo la tarjeta *synchro* 1, que deberá estar unida al contenedor.
- Otro operario (el suministrador) toma estas tarjetas y las *lleva*, obligatoriamente, junto con un contenedor normalizado *vacío*, al punto de almacenaje de salida del centro de trabajo que proporciona dicha pieza.
- El suministrador escoge un contenedor normalizado lleno (de la pieza en cuestión) situado en el punto de almacenaje de salida, retira la tarjeta *synchro* 2 del mismo, y coloca la tarjeta *synchro* 1 que ha traído consigo antes de transportarlo al punto de almacenaje de entrada del centro de trabajo usuario para reemplazar el contenedor que se está utilizando en aquel momento.
- La tarjeta de producción *synchro* 2 se sitúa sobre un «cuadro de producción» que se encuentra cerca del centro de elaboración. Esto corresponde a la autorización para producir otro contenedor normalizado de la pieza.
- La autorización *efectiva* para producir otro contenedor normalizado de la pieza precisa que en el centro de la elaboración que debe producirla coincidan tres señales:
  1. Que se haya *previsto* un contenedor normalizado (o *varios*) en el programa o en una orden de trabajo generada por el sistema *MRP*, para aquel día o para aquel momento del día.
  2. Que esté disponible el material necesario, habiéndose recogido de los puntos de almacenaje de salida de los centros de trabajo que lo proporcionan, o bien lo haya entregado el *proveedor* exterior.
  3. Que hayan llegado una o más tarjetas de transferencia *synchro* 1 de los centros de elaboración siguientes y hayan originado la presencia de tarjetas *synchro* 2 *relativas* a aquella pieza en el «cuadro de producción» del centro.
- Para autorizar la producción en los centros de elaboración, tanto ***intermitentes como repetitivos***, se precisan las *tres señales*; la única diferencia entre los centros de los dos tipos es que en los centros intermitentes funcionan a base de órdenes de trabajo y de listas de prioridad y no de programas.

El procedimiento de las tarjetas funciona de una manera análoga al sistema de los *kanban*, pero además los centros de trabajo que producen las piezas deben también referirse al programa para tener autorización de producir. Todo esto permite sincronizar el consumo efectivo de los materiales con los programas establecidos por el sistema *MRP*. Este procedimiento da nombre al sistema: *Synchro-MRP*. Véase figura 7.26.

### Lanzamiento del programa con *Synchro-MRP*

Como hemos dicho, Yamaha sigue esencialmente el mismo programa de producción cada día del bloque de diez días consecutivos. A continuación, para el siguiente bloque po-

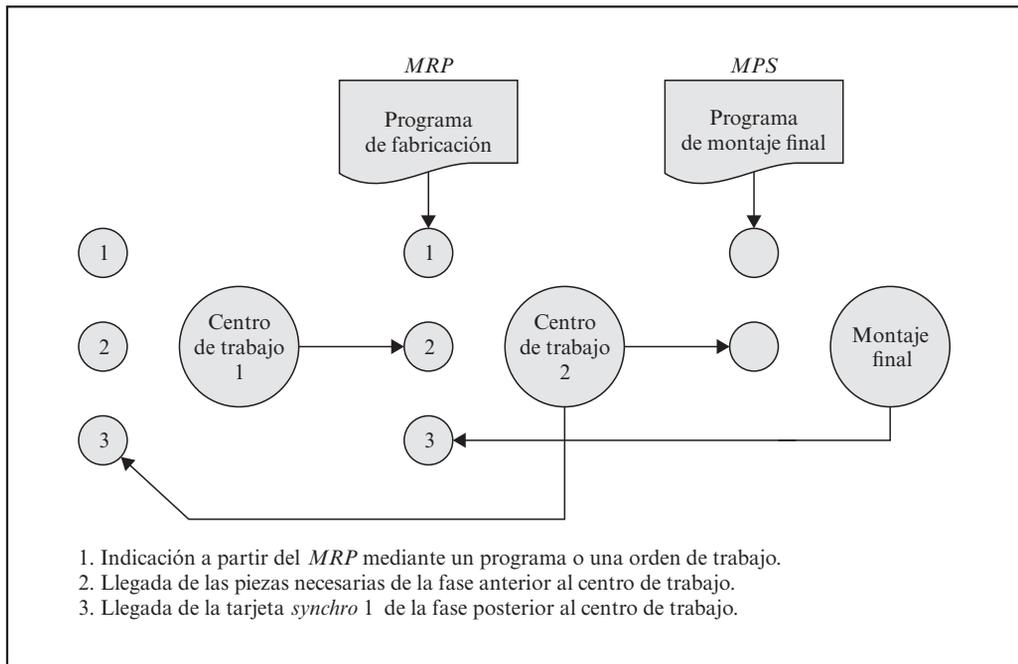


Figura 7.26. Funcionamiento del movimiento de materiales y control de la producción con Synchro-MRP.

drá seguirse un programa distinto del de la primera decena considerada, y así sucesivamente. En otras palabras, cada diez días termina la vigencia del programa antiguo y comienza el lanzamiento de uno nuevo. Naturalmente, en ocasiones los cambios de una decena a la siguiente son pequeños y en otras sustanciales.

La mayoría de los artículos continúa en producción durante muchas semanas consecutivas; sin embargo, la cantidad diaria en el programa cambia. Cuando el programa diario varía, también cambia el número de tarjetas *synchro*. El sistema genera para cada artículo tarjetas de transferencia y las envía a cada centro de trabajo que consume dicho artículo; el sistema produce además tarjetas de producción y las envía a los centros de trabajo que fabrican dicho artículo.

En el punto de *almacenaje de salida* de cada centro de trabajo las tarjetas *synchro* 2 viejas (relativas al programa decenal viejo) se retiran de cada uno de los contenedores normalizados llenos, y se sustituyen por una tarjeta *synchro* 2 generada por el ordenador correspondiente al nuevo programa decenal. Si hay más tarjetas que contenedores llenos, las que quedan se colocan en el «cuadro de producción» del centro de trabajo y actúan de autorización para la producción del artículo a que hacen referencia.

Si hay más contenedores llenos que tarjetas, lo que significa que la cantidad prevista a producir del artículo es inferior a la del programa decenal precedente, los contenedores llenos a los que no se les puede asignar nueva tarjeta *synchro* 2 se situarán en un lugar especial,

sin tarjeta, para que sean retirados prioritariamente a los demás por los suministradores de los centros de trabajo siguientes que utilizan dicho artículo. De esta manera se elimina del área productiva todo el exceso de stock. Por consiguiente, sólo se dará autorización para producir un contenedor a fin de reemplazar otro del mismo artículo cuando la primera tarjeta *synchro 2* se separe de un contenedor de piezas retirado por un centro de trabajo que consume dicho artículo.

En el punto de *almacenaje de entrada* de cada centro de trabajo las *tarjetas de transferencia viejas* se retiran de todos los contenedores y se sustituyen por las nuevas producidas por el ordenador. Cuando las tarjetas nuevas están colocadas en todos los contenedores y queda un sobrante de tarjetas, éstas constituyen una autorización para retirar el número correspondiente de contenedores del centro de trabajo que produce dicho artículo; puede suceder que los encargados decidan que el nivel de la obra en curso ya es el adecuado y, en consecuencia, retiren de la circulación las tarjetas *synchro 1* en exceso.

Si, por el contrario, en el punto de almacenaje a la entrada no hay suficientes tarjetas *synchro 1* para colocar en todos los contenedores preparados que se encuentran situados allí, deberán utilizarse con prioridad los contenedores sin tarjeta.

## RESUMEN

1. La idea básica del sistema Toyota de producción es mantener en las fábricas un flujo continuo de productos, para adaptarse flexiblemente a los cambios de la demanda. La realización del flujo de producción citado se denomina en Toyota JUST-IN-TIME, que significa producir sólo los artículos necesarios, en la cantidad y en el tiempo asimismo necesarios. Como resultado, disminuirán de modo natural los excedentes de personal y de existencias, consiguiendo de este modo el propósito de incrementar la productividad con la consiguiente reducción de los costes.
2. Los pilares básicos en los que se asienta el sistema Toyota de producción son:
  - «**Just-in-time**» (**jit**) significa ante todo producir las unidades necesarias en la cantidad asimismo necesaria y en el tiempo preciso.
  - **Autocontrol** («**jidoka**») debe interpretarse como autocontrol de los defectos y sirve de soporte al concepto de producción en el momento oportuno, al impedir la entrada en el flujo, como resultado de cada proceso, de unidades defectuosas que perturbarían el proceso siguiente.  
El sistema incluye otros dos conceptos clave:
    - **Flexibilidad** en el trabajo («**shojinka**»), que supone la variación del número de trabajadores en función de las variaciones de la demanda.
    - **Ideas innovadoras** («**soifuku**») mediante el aprovechamiento de las sugerencias del personal.
3. Toyota tiene tres características básicas que le distinguen del sistema originario de Ford:
  - Pequeños lotes de producción.
  - Producción de mezcla de modelos.
  - Operación en flujo continuo pieza a pieza durante la fabricación hasta el montaje final.
4. Los despilfarros que ocasionan costes innecesarios son: **exceso de producción**, **operaciones** innecesarias o de mayor duración de lo debido, **movimientos** innecesarios dentro del puesto de trabajo, **transportes** innecesarios entre puestos de trabajo, **esperas** del trabajador sin poder realizar trabajo productivo, **stocks**, **defectos de calidad** que originan pérdidas del material y del tiempo incorporado.
5. El sistema de arrastre «pull» es aquel en que cada **proceso recoge** los elementos o piezas necesarias del anterior en el momento en que lo necesita. Puesto que únicamente la línea de montaje final puede conocer con precisión el tiempo y la cantidad de elementos que se necesita, será ella la que requiera del proceso anterior esos elementos necesarios en las cantidades y en el tiempo precisos para el montaje del vehículo, de modo que cada proceso habrá de producir los elementos que le sean requeridos por el proceso siguiente.
6. Un kanban es una herramienta para conseguir la producción «just-in-time». Se trata, usualmente, de una tarjeta en una funda rectangular de plástico. Se utilizan principalmente dos tipos: el **kanban de transporte** y el **kanban de producción**. El primero especifica el tipo y la cantidad de producto a retirar por el proceso posterior, mientras el kanban de producción indica el tipo y la cantidad a fabricar por el proceso anterior. También se emplean otros tipos de kanban que son de señales, el **kanban triangular** y el **kanban rectangular**. El triangular ordena al proceso de estampación la producción de piezas cuando queda sólo una o dos cajas de piezas acabadas; el rectangular se utiliza para ordenar el transporte de chapa de acero al proceso de estampación cuando quedan tres o cuatro cajas de piezas acabadas.

7. El peón aprovisionador de la cadena de montaje, al observar que junto a la cadena de montaje hay un contenedor vacío con su correspondiente kanban de transporte (KT), con una carretilla lo transporta al almacén de acabados del proceso anterior indicado en el KT, que es donde se fabrica el componente o subconjunto a reponer, deja el contenedor vacío en el lugar designado, coge el kanban de transporte y se dirige a buscar un contenedor lleno del componente o subconjunto indicado en el kanban. Localizado el contenedor lleno, despega el kanban de producción adherido al contenedor una vez que previamente ha comparado cuidadosamente los datos con el kanban de transporte y que son coincidentes; deja el kanban de producción en el *buzón de recepción* correspondiente y adhiere el kanban de transporte que lleva, al contenedor. A continuación transporta el material al lugar destinado para el stock de ese tipo de material en la cadena de montaje. En el proceso anterior, se fabricarán las piezas siguiendo la secuencia de los kanban de producción en el buzón de órdenes de producción.
8. Toyota proporciona a sus proveedores dos tipos de información: en primer lugar, una planificación previa de la producción mensual, que se comunica a mediados del mes anterior, y un segundo tipo de información de carácter diario. Toyota utiliza dos métodos de pedidos diarios: un sistema de reposición y un sistema de secuencia de pedidos. El *sistema de reposición* es un método de utilización de kanban de proveedor. A lo largo de la línea de montaje, en Toyota, están dispuestas numerosas cajas que contienen piezas y kanban de proveedor. La utilización de las piezas en la línea irá dejando vacías las cajas, que se transportarán a intervalos regulares de tiempo, junto con sus kanban de proveedor, al proveedor respectivo. Desde el correspondiente almacén del proveedor se recogerán otras cajas con piezas acabadas para Toyota. El *sistema de secuencia de pedidos*: estos programas permiten a Toyota recoger las piezas respectivas siguiendo la secuencia programada para la combinación de modelos en la línea de montaje.
9. El kanban de proveedor se aplica de la siguiente manera: a las 8 de la mañana, el conductor de una furgoneta lleva al proveedor los kanban con las cajas vacías; cuando la furgoneta llega al almacén del proveedor, su conductor entrega al personal del almacén el kanban. Luego regresa a Toyota conduciendo otra furgoneta cargada con las piezas en cajas identificadas con kanban (fabricadas durante el turno de la noche anterior).
10. Mediante el nivelado de la producción, una línea de producción no fabricará un tipo único de producto en grandes series, sino que producirá muchas variedades diarias como respuesta a la demanda cambiante de los consumidores; como consecuencia se mantiene actualizada la producción y se reducen las existencias.
11. La **adaptación mensual** se conseguirá por medio de la planificación mensual de la producción: la elaboración de un programa maestro de producción indica el nivel medio diario de producción en cada proceso de la fábrica. Este programa maestro de producción se basa en la predicción de la demanda a tres meses y en una predicción de la demanda mensual.
12. Tras el cálculo del plan mensual de producción y la adaptación diaria, la siguiente fase del nivelado es la preparación del programa de secuencias de cada día, que especifica el orden de montaje de los diversos coches a través de las líneas finales de montaje.
13. El programa de secuencias de las variantes de un mismo modelo podría ser: AAAA, BBB, CC y D, o bien otra más complicada: A, B, A, C, B, A, D, A, B, C, etc.
14. En la línea de montaje, los operarios necesitan conocer sólo qué tipo de coche es

el próximo a montar. Esta información se transmite en tiempo real a la impresora o pantalla situadas en la cabecera de la línea de montaje, siguiendo el programa de secuencias determinado por el ordenador central. La terminal proporciona para cada coche una etiqueta que identifica las especificaciones del tipo concreto de vehículo a montar.

15. El programa de secuencias se aplica en muchos casos no sólo a la línea final de montaje (carrocería), sino también en otras líneas de montaje de piezas o a proveedores que fabriquen elementos de tamaño considerable, como transmisiones, motores, etc.
16. Relaciones entre programas decenales y pedidos diarios del vendedor y la secuencia de programas de producción. El pedido de un vendedor se coloca en el programa de secuencias en la línea final de montaje, de la siguiente forma: 1. Llegada de un programa decenal del vendedor a Toyota Motor Sales Co., Ltd. 2. Envío de un pedido diario (o de una modificación diaria) del vendedor a Toyota Motor Sales Co., Ltd. 3. Envío de una orden diaria de Toyota Motor Sales Co., Ltd. a Toyota Motor Co., Ltd. 4. Actualización del programa diario de secuencias a las fábricas de Toyota y a los proveedores.
17. Una producción está equilibrada y sincronizada cuando los diferentes procesos tienen una producción horaria lo más igual posible y el stock intermedio es mínimo.
18. Los pasos a seguir para conseguir una producción equilibrada y sincronizada son: 1.º Determinar el *tack-time* (ciclo máximo de fabricación). 2.º Establecer la ruta estándar de operaciones (asignar operaciones a cada operario sin sobrepasar el *tack-time*). 3.º Mínima cantidad de trabajo en curso.
19. El *tack-time* es la cantidad máxima de tiempo de trabajo que se le debe asignar a un trabajador por unidad de producto en una línea de fabricación para así conseguir en dicha línea (con el número de trabajadores adecuado) la cantidad de productos necesarios.
20. El *tack-time* = Tiempo efectivo diario/Cantidad de producción diaria requerida.
21. El logro de la flexibilidad en el número de trabajadores de una sección para adaptarse a las modificaciones de la demanda se denomina Shojinka. Un paso importante para conseguir la flexibilidad es que la distribución sea en líneas en forma de U combinadas.
22. Comparación del sistema kanban con el MRP. MRP exige la recolección de datos oportunos y precisos, tanto el coste como el esfuerzo se incrementan a medida que los sistemas se vuelven más integrados; sin embargo, una vez implementados de manera correcta, proporcionan la capacidad de planificar y ejecutar eficazmente la producción cuando se presentan una o más de las siguientes condiciones: cambios frecuentes en el diseño y de la demanda del mercado, muchos productos con demandas volátiles o pequeñas, producción bajo pedido con series muy cortas. En general, se dice que cuanto mayor es la incertidumbre y la volatilidad en el entorno, el sistema MRP será más efectivo y previsor, proporcionando una buena planificación y un apropiado control. El sistema KANBAN puro representa el extremo opuesto. En etapa madura con diseños estables, demanda más alta y predecible los sistemas *pull* puros, como el kanban, operan de manera muy efectiva y con bajo coste.
23. Lo cierto es que pocos entornos de producción reúnen las condiciones para ubicarse en uno u otro de los extremos. En consecuencia, numerosas organizaciones han desarrollado sistemas «híbridos» que les permiten aprovechar ciertos factores y fortalezas de ambos tipos de sistemas. Dependiendo de sus entornos a estos sistemas también se les denomina «manufactura de flujo» o bien «**Synchro-MRP**».

## CUESTIONES

1. Describir las ideas básicas del sistema Toyota de producción.
2. Qué se entiende por just-in-time.
3. ¿Qué se consigue con el sistema Toyota en cuanto a los costes?
4. ¿Qué otros fines se consiguen?
5. Describir los pilares básicos en los que se asienta el sistema Toyota de producción.
6. Representar el diagrama Toyota de interrelación de las diferentes técnicas para conseguir el objetivo de obtención del máximo beneficio.
7. Describir las diferencias entre los sistemas originarios de producción de Ford y Toyota.
8. ¿Qué se entiende por despilfarro?
9. Describir los despilfarros que originan costes innecesarios.
10. Describir el sistema de arrastre «pull» de la producción.
11. Describir qué es un kanban y los dos tipos principales.
12. Describir los otros dos tipos de kanban.
13. Dibujar el esquema y describir el funcionamiento de la cadena de montaje en Toyota mediante el kanban.
14. Describir el funcionamiento del kanban con los proveedores.
15. Representar el diagrama de planificación de la producción.
16. Dibujar el diagrama e indicar las dos fases del nivelado de la producción.
17. Describir cómo se consigue la adaptación mensual.
18. Describir gráficamente la relación entre programa decenal y pedidos diarios de vendedores, y la secuencia del programa diario de producción.
19. Describir qué es una producción equilibrada y sincronizada y los pasos a seguir para obtenerla.
20. Representar el diagrama de los pasos a seguir para conseguir la flexibilidad (Shojinka).
21. Representar una distribución en línea en U.
22. Describir la comparación entre el sistema kanban con el MRP.
23. Describir el sistema Synchro-MRP.

## RESPUESTAS A LAS CUESTIONES

1. Mantener en las fábricas un flujo continuo de productos, para adaptarse flexiblemente a los cambios de la demanda.
2. Significa producir sólo los artículos necesarios, en la cantidad y en el tiempo que asimismo sean necesarios.
3. Reduce los costes al eliminar totalmente los despilfarros (el personal y las existencias innecesarios).
4. Calidad asegurada y respeto por la dimensión humana.
5. Los pilares básicos principales en los que se asienta son: «just-in-time» y el autocontrol («jidoka»), otros dos conceptos clave son: flexibilidad en el trabajo («shojinka») e ideas innovadoras («soifuku») mediante el aprovechamiento de las sugerencias del personal.
6. Véase figura 7.1.
7. Toyota tiene tres características básicas que le distinguen de Ford: pequeños lotes de producción, producción de mezcla de modelos y operación en flujo continuo pieza a pieza durante la fabricación hasta el montaje final.
8. Son todas las actividades que no aumentan el valor, sino sólo el coste. Algunas de ellas se originan debido a los medios actualmente empleados pero que el cliente no percibe. Otras no son necesarias y consumen espacios, instalaciones, material, tiempo y energías.
9. Exceso de producción, operaciones, movimientos, transportes, esperas, stocks y defectos de calidad.
10. En los sistemas tradicionales, cada proceso *entrega* elementos al siguiente (sistema «push» o de empuje), lo que dificulta la flexibilidad de adaptación a las fluctuaciones de la demanda. El sistema Toyota supone, por contraste, una revolución, en el sentido de que, en él, cada proceso *recoge* los elementos o piezas del anterior (método conocido como sistema de arrastre, «pull»).
11. Se trata, usualmente, de una tarjeta en una funda rectangular de plástico. Se utilizan principalmente dos tipos: el kanban de transporte y el kanban de producción. El primero especifica el tipo y la cantidad de producto a retirar por el proceso posterior, mientras el kanban de producción indica el tipo y la cantidad a fabricar por el proceso anterior.
12. También se emplean otros tipos de kanban que son de señales, el kanban triangular y el kanban rectangular. El kanban triangular ordena al proceso de estampación una nueva orden de fabricación, y el kanban rectangular se utiliza para el transporte de materiales.
13. Véase figura 7.6.
14. A las 8 de la mañana, el conductor de una furgoneta lleva al proveedor los kanban con las cajas vacías, las descarga y entrega al personal del almacén los kanban. Luego regresa a To-

yota conduciendo otra furgoneta cargada con las piezas dentro de cajas identificadas con sus kanban (fabricadas durante el turno de la noche anterior).

15. Véase figura 7.10.
16. Véase figura 7.11.
17. La **adaptación mensual** se conseguirá por medio de la planificación mensual de la producción: la elaboración de un programa maestro de producción indica el nivel medio diario de producción en cada proceso de la fábrica. Este programa maestro de producción se basa en la predicción de la demanda a tres meses y en una predicción de la demanda mensual.
18. Véase figura 7.13.
19. Aquella en que los diferentes procesos tienen una producción horaria muy parecida y el stock intermedio es mínimo. Los pasos a seguir son: determinar el *tack-time* (ciclo máximo de fabricación), establecer la ruta estándar de operaciones (asignar operaciones a cada operario sin sobrepasar el *tack-time*), mínima cantidad de trabajo en curso.
20. Véase figura 7.17.
21. Véase figura 7.20.
22. Para la técnica MRP es muy importante el plazo de planificación asignado a la fabricación de cierta cantidad de unidades, así como el decalaje en el tiempo para el envío de piezas de un producto según sus tiempos de ejecución. El sistema kanban no necesita esencialmente el concepto de decalaje en el tiempo, puesto que se basa en una producción nivelada. En general, se dice que cuanto mayor es la incertidumbre y la volatilidad en el entorno, el sistema MRP será más efectivo y previsor, proporcionando una buena planificación y un apropiado control. El sistema KANBAN puro representa el extremo opuesto. En etapa madura con diseños estables, demanda más alta y predecible los sistemas *pull* puros, como el kanban, operan de manera muy efectiva y con bajo coste.
23. Para producir un contenedor de piezas en un centro de trabajo se precisa que haya una orden de trabajo generada por el sistema MRP para aquel momento del día y que hayan llegado una o más tarjetas synchro 2 relativas a aquella pieza en el «cuadro de producción» del centro.

# 8

## Implantación del *lean production*

### Después de leer este capítulo usted deberá:

- Conocer el significado de *lean production*.
- Describir los principios clave del *lean production*.
- Describir el proceso de implantación del *lean*.
- Enumerar las herramientas que permiten eliminar los despilfarros.
- Describir las herramientas que permiten conseguir la flexibilidad.
- Describir cómo conseguir un flujo lineal *pull*.
- Dibujar un *value stream map*.

### 8.1. INTRODUCCIÓN

J. Womack y D. Jones (Estados Unidos), en 1990, aconsejaron adaptar el sistema Toyota de producción (TPS), además de a la industria del automóvil, al resto de las industrias, y a este sistema lo denominaron *LEAN* que en inglés significa «magro» (sin grasa); es decir, todo aprovechable, sin despilfarros.

### 8.2. OBJETIVOS

La producción *lean* tiene como objetivo obtener un flujo continuo que vaya de la materia prima al cliente final, con el **mínimo muda, el menor lead time y la mejor calidad**.

La producción *lean* no es otra cosa que el resultado de una potente «caza del muda» obteniendo al *menor coste posible* y con gran *flexibilidad* lo que el cliente quiere en cantidad, calidad y plazo.

### 8.3. PRINCIPIOS CLAVE DEL *LEAN PRODUCTION*

- **Minimización del despilfarro:** eliminación de todas las actividades que no son de valor añadido, optimización del uso de los recursos (superficies, instalaciones, personal, materiales, energías).
- **Calidad perfecta a la primera:** búsqueda de cero defectos, detección y solución de los problemas en su origen.
- **Mejora continua:** reducción de costes, mejora de la calidad, aumento de la productividad y compartir la información.
- **Flexibilidad:** producir rápidamente diferentes mezclas de gran variedad de productos, sin sacrificar la eficiencia debido a volúmenes menores de producción.
- **Procesos pull:** los productos son tirados (en el sentido de solicitados) por el cliente final, produciéndolos al ritmo del *tack-time*.
- **Sincronización** de toda la producción con una sola fase del proceso (llamada *pace-maker*).
- Adopción de supermercados (con **kanban**) donde sea imposible obtener el flujo continuo.
- **Proveedores:** construcción y mantenimiento de una relación a largo plazo tomando acuerdos para compartir el riesgo, los costes y la información.

### 8.4. PROCESO DE IMPLANTACIÓN DEL *LEAN*

El proceso de implantación del sistema de producción ajustada *lean* no es fácil ni inmediato, ya que hemos de tener en cuenta que se requiere una adecuada cultura empresarial y una legislación laboral flexible.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. **Crear un sistema de indicadores:**
  - Eficiencia de las instalaciones (TRS).
  - Rechazos de calidad.
  - *Lead time*.
  - Cumplimiento de plazos de entrega.
  - Rotación de stock.
  - Reclamaciones de clientes.
  - Costes totales de operaciones.
  - Etcétera.
2. **Clasificar los productos por familias.**
3. **Elección de una familia** de productos para comenzar una experiencia piloto, haciendo una distribución en planta enfocada específicamente a esta familia.

4. **Documentar gráficamente el flujo real (*value stream map*)** de la familia de productos y el flujo de información (material en curso, stocks de materias primas y producto acabado). Calcular también los indicadores de proceso y producto de cada etapa y calcular el *lead time*.
5. **Dibujar en un papel el flujo ideal**, calcular los stocks deseables en cada etapa, fijar también los kanban, mejorar procesos cuando sea posible, determinar un nuevo flujo de información y decidir cuál será el proceso «marcapasos» (*pacemaker*). En este momento determinaremos si es posible el *postponement*<sup>1</sup> en nuestro proceso.
6. **Confeccionar un plan de acciones indispensables** (sobre las que se sustenta el sistema) para pasar desde la situación actual a la planificada. Este plan es la aplicación de las *herramientas lean*.
7. **Hacer participar a toda la plantilla implicada** en este proceso de mejora.
8. **Repetir el mismo proceso para las otras familias de productos** una vez que la primera experiencia haya tenido éxito.

## 8.5. HERRAMIENTAS LEAN

Son todas aquellas que nos permitirán conseguir ajustar la producción a la demanda con la máxima eficiencia, es decir, conseguir:

- Eliminación del despilfarro.
- Flexibilidad: ritmo de producción ajustado al de la demanda (*tack-time*).

### Eliminación del despilfarro

Las técnicas para la eliminación del despilfarro son:

1. 5 s.
2. Mejora de métodos de trabajo (5 porqués).
3. TPM.
4. SMED.
5. Sistema gestión de calidad: planificación, control SPC, andón, *poka-yoke*, mejora (kaizen).
6. TRS.

Estas técnicas pueden verse en otros libros del autor de esta misma editorial tales como:

- *Organización de la producción: distribuciones en planta y mejora de los métodos y los tiempos*. Teoría y práctica.
- *Gestión de la calidad: mejora continua y sistemas de gestión*. Teoría y práctica.

---

<sup>1</sup> Véase el apartado 4.11.

## 8.6. FLEXIBILIDAD

Las técnicas para conseguir la flexibilidad, que son las que están más directamente relacionadas con la programación de la producción, son las que a continuación se indican:

1. *One-piece-flow*.
2. Producción segmentada y mezclada.
3. Células en U.
4. Flujo lineal *pull* (equilibrado y sincronización de procesos).
5. Kanban (véase capítulo 7).
6. *Value stream map*.

### 8.6.1. El sistema *one-piece-flow*

El flujo pieza a pieza (no esperar a tener un lote para transferirlo a la fase siguiente) es la solución óptima para la reducción del *lead time*, consiguiendo un flujo continuo y la eliminación de stock entre procesos. Esto es lo que sucede en las cadenas de montaje y es lo que se pretende también conseguir durante la fabricación (véase la figura 8.1).

Cuando no es posible, se recurre a la producción de pequeños lotes (figura 8.2). En este caso el *lead time* es 30 minutos para el total del lote de 10 piezas, mientras que en el caso anterior (figura 8.1) es sólo de 12 minutos.

En una fábrica de embutición tradicional donde hay complejas y veloces máquinas no suele prestarse atención a los equipos y a la sincronización de las fases. Las máquinas producen por lotes, exigen grandes reservas de material «aguas arriba» y cuando terminan su lote, éste espera días y a veces semanas para la realización de la operación siguiente.

Lo ideal sería desarrollar todas las operaciones en *one-piece-flow*, pero a menudo la tecnología no lo permite: citamos un par de casos muy frecuentes.

Un **primer caso** se tiene cuando la fabricación «aguas arriba» del proceso (por ejemplo, operaciones de estampación) utiliza máquinas con ciclos de tiempo demasiado lentos para los niveles productivos del ensamblaje final, que habitualmente trabaja sobre uno o dos turnos.

En esta situación las máquinas deben producir incluso en el tercer turno y acumular un mínimo inventario (*buffer*) que se consume durante los turnos diurnos.

Un **segundo caso** es cuando existe una fabricación con una máquina que tiene tiempos de cambio (*set-up*) muy largos y lo producido se ensambla manualmente en la fase final.

En esta situación, todas las personas dedicadas al ensamblaje permanecerían inactivas durante los *set-up*. Preparar un inventario intermedio evitaría el paro.

Si el *one-piece-flow* no es posible en ciertas circunstancias, entonces debemos volver a la solución que es más similar: lotes mínimos y *set-up* frecuentes (para que esto no sea antieconómico, las preparaciones de las máquinas habrían de ser muy rápidas, lo que se conseguirá aplicando SMED), máquinas sincronizadas y físicamente próximas consiguiendo así suministro de materiales frecuente, que sería lo más parecido posible al *one-piece-flow* ideal.

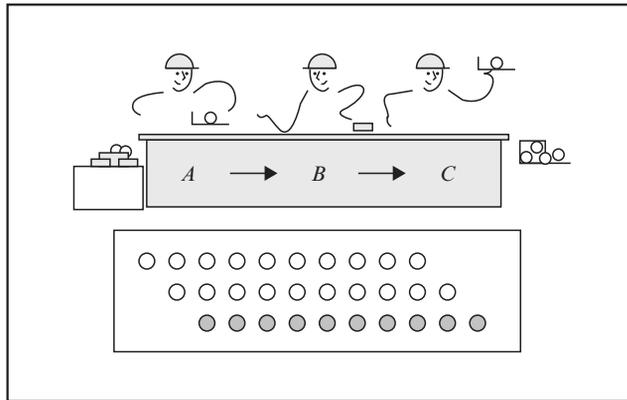


Figura 8.1. One-piece-flow.

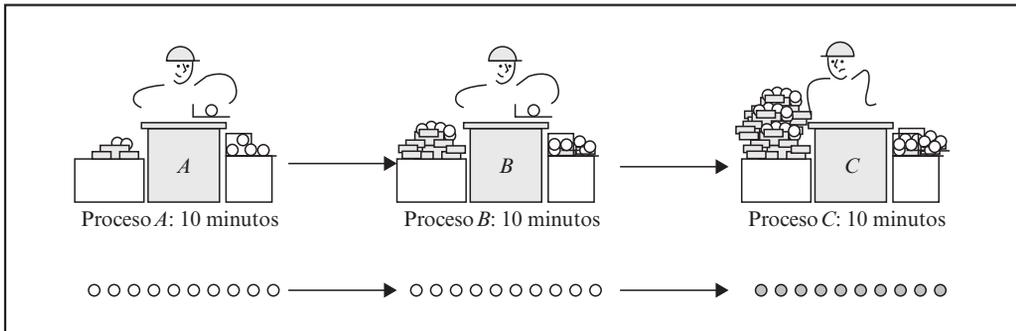


Figura 8.2. Producción en pequeños lotes.

## 8.6.2. Producción segmentada y mezclada

El empleo de pequeños lotes en sistemas de producción segmentada y mezclada permite la nivelación de los procesos «aguas arriba» y el suministro rápido y flexible a los clientes, así como reducir los stocks de productos acabados y una drástica reducción de los tiempos de preparación de máquinas; además tiene la ventaja de absorber las diferencias en los tiempos unitarios de producción.

### EJEMPLO. Producción de refrigeradores

T. Electric Company produce refrigeradores de diversos tamaños. Utilizando la producción mezclada, la compañía ha tenido éxito al reducir prácticamente a cero los stocks de

productos acabados. En el pasado, los refrigeradores de gran tamaño se fabricaban en la primera mitad del mes y los pequeños durante la segunda mitad; como los envíos a los detallistas incluían modelos de todas clases, se requería una gran cantidad de espacio para los modelos grandes.

Ahora, la compañía alterna un refrigerador grande y dos pequeños, y las unidades se expiden conforme se producen, los refrigeradores se envían directamente a los detallistas sin pasar por un almacén. Otro beneficio es que los stocks se han podido reducir considerablemente, puesto que ahora es posible responder a las fluctuaciones de la demanda cambiando las tasas de producción de los refrigeradores pequeños y grandes.

---

**EJEMPLO.** *Producción de lavadoras.*

Esa misma compañía ha tenido un completo éxito en la eliminación de los almacenes de artículos acabados de sus lavadoras, utilizando la producción segmentada y mezclada en la que los modelos para exportación con similares fechas de compromiso se montan juntos.

El tiempo de ciclo de la cadena de montaje, a actividad normal, para tres productos diferentes era como sigue: 30 segundos para el producto *X*; 40 segundos para el producto *Y*, y 50 segundos para el producto *Z*. Cuando había cambios de modelo ocurrían inevitablemente pérdidas por cambios de preparación de puestos de trabajo, así como también al pasar del modelo *Y* al *X*, y del *Z* al *X* o al *Y* (es decir, de un modelo de mayor tiempo de ciclo a uno de tiempo de ciclo inferior).

La producción segmentada y mezclada ha permitido que el flujo de los productos se adhiera al ritmo unitario medio, calculado como sigue:

Suma de los tiempos de ciclo:  $x + y + z = 30 + 40 + 50 = 120$  segundos.

Tiempo de ciclo medio a actividad normal:  $120/3 = 40$  segundos.

Utilizando para la medida de las actividades la escala centesimal (100-133) tendremos que el ritmo de trabajo (la actividad) cuando monta el *X* sería de  $(30 : 40) \times 100 = 75$ ; cuando monta el *Y* sería de  $(40 : 40) \times 100 = 100$  (actividad normal), y cuando monta el *Z* sería de  $(50 : 40) \times 100 = 125$ .

---

### 8.6.3. Células en U (personal polivalente, kanban)

La disposición de la línea en U es original de Toyota y permite una gran flexibilidad ante los cambios de la demanda, conocida esta propiedad como *producción ajustada*.

Con esta disposición, ante un cambio de demanda, no es necesario perder tiempo para la adaptación del puesto de trabajo, simplemente habrá que aumentar o disminuir el número de trabajadores en la línea, redistribuyendo la asignación de operaciones.

Con este tipo de distribución, hay líneas en las que como máximo puede haber 8 trabajadores, pero podrían trabajar sólo 6, 4, 2 e incluso un solo operario podría realizar la totalidad del trabajo.

Una característica de la línea en U es que la entrada y la salida de la línea están en una misma zona y, por tanto, un operario puede regular la entrada de nueva pieza a la línea, conforme él mismo acaba y da salida a una pieza terminada.

De haber problemas de retraso en alguna operación de la línea, los otros compañeros podrían ayudar a resolverlo. En la figura 8.3 puede verse una línea en U con tres trabajadores.

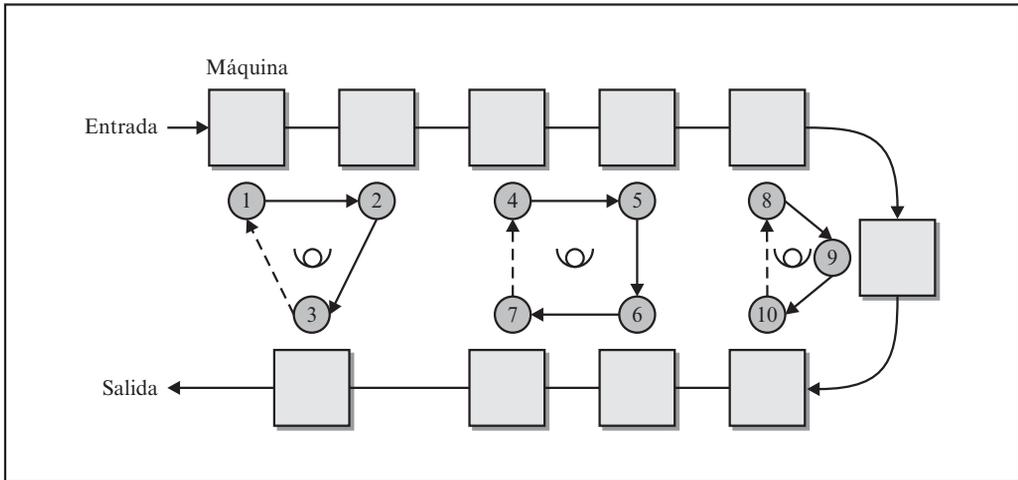


Figura 8.3. Distribución en línea en forma de U.

Para tener una mayor flexibilidad ante los cambios de la demanda sin perder eficiencia en el aprovechamiento de los trabajadores, Toyota ideó la posibilidad de combinar varias líneas en U que fabrican piezas distintas pero de un mismo modelo, pues así de haber cambios en la demanda, ésta es común a todas ellas.

En las figuras 8.4, 8.5 y 8.6 pueden verse varias líneas combinadas y cómo se han distribuido las operaciones entre los distintos trabajadores para el caso de una producción de 60 piezas/hora (ciclo 1') y 50 piezas/hora (ciclo 1,2').

Cuando al asignar operaciones a los trabajadores resulta que la carga de trabajo queda muy desequilibrada se recurre a utilizar el método Nagare.

**Nagare (rabbit run):** método aplicado cuando las asignaciones puesto a puesto son difíciles de equilibrar.

Este método consiste en que todos los trabajadores hacen todas las operaciones desplazándose a los distintos puestos de trabajo.

Puede verse en la figura 8.7 que los tres trabajadores hacen todas las operaciones con un decalaje entre ellos.

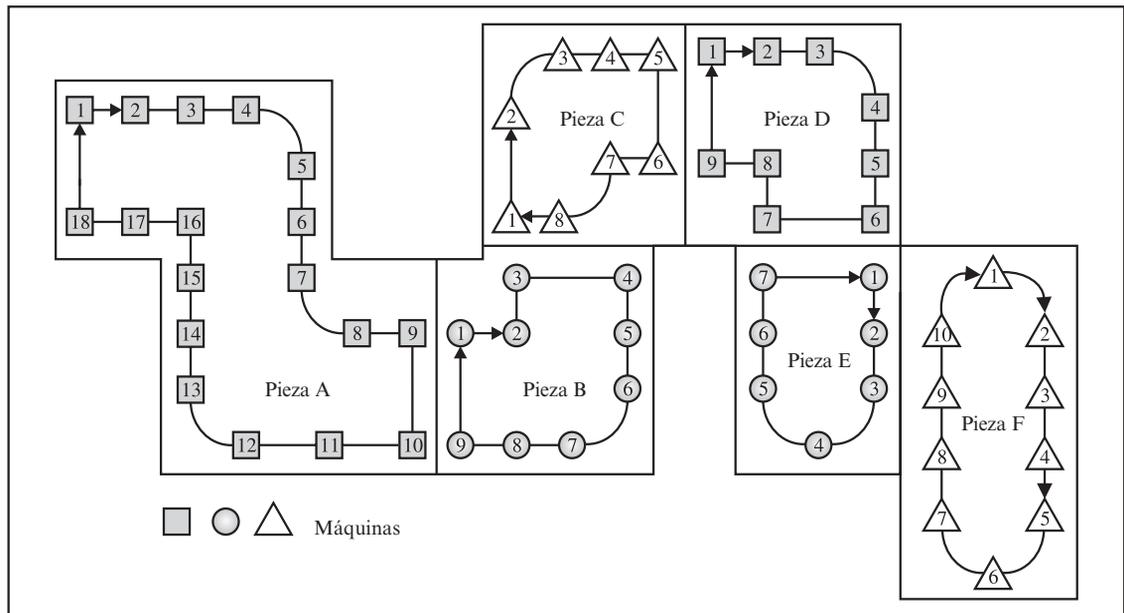


Figura 8.4. Línea combinada de fabricación de seis tipos de piezas.

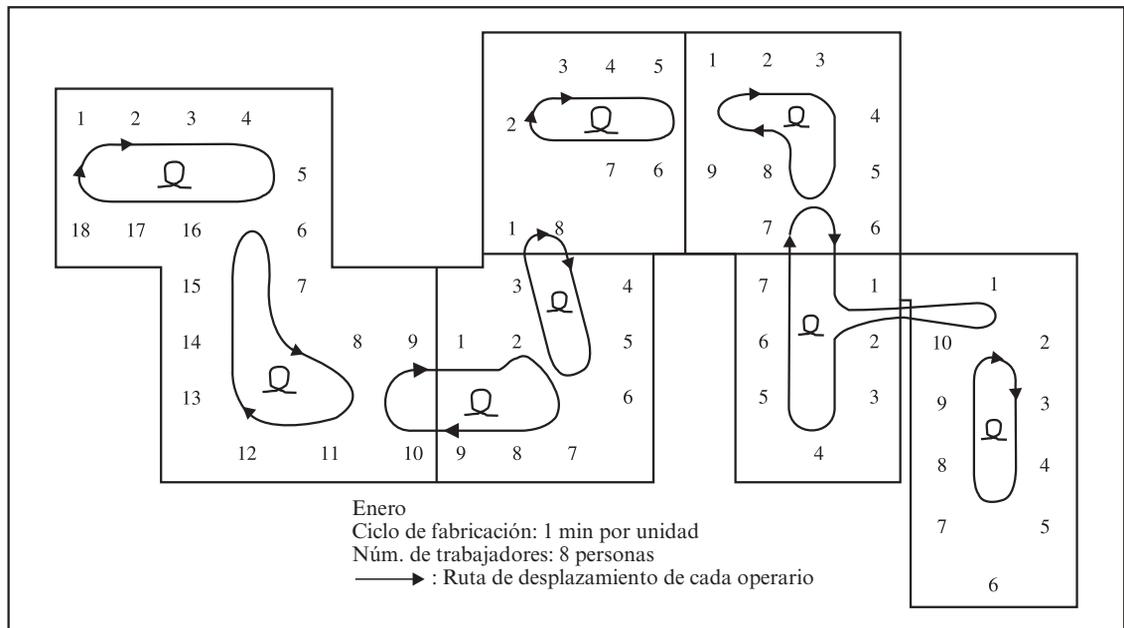


Figura 8.5. Asignación de operaciones entre 8 trabajadores.

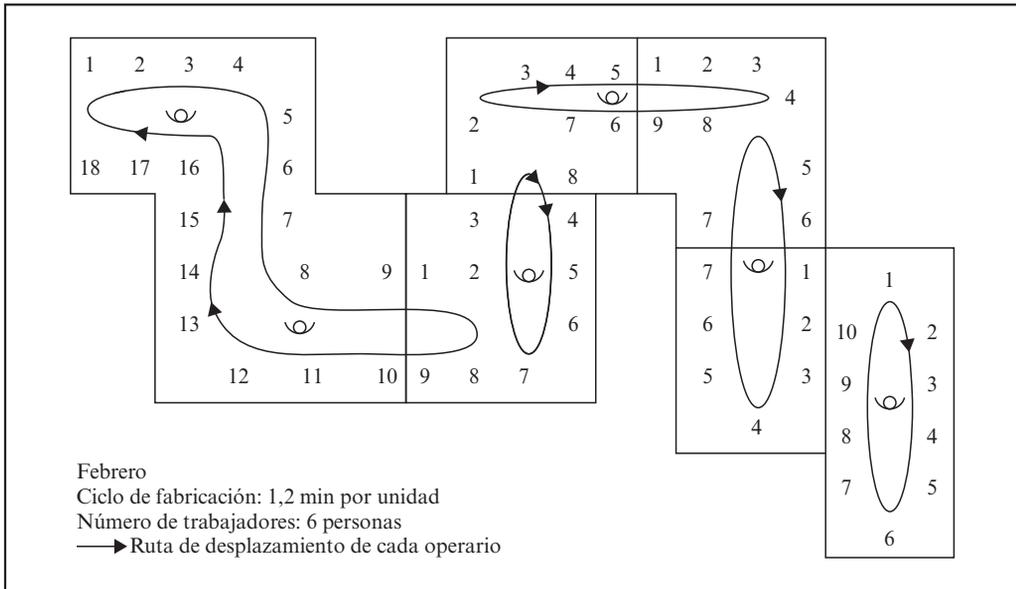


Figura 8.6. Asignación de operaciones entre 6 trabajadores.

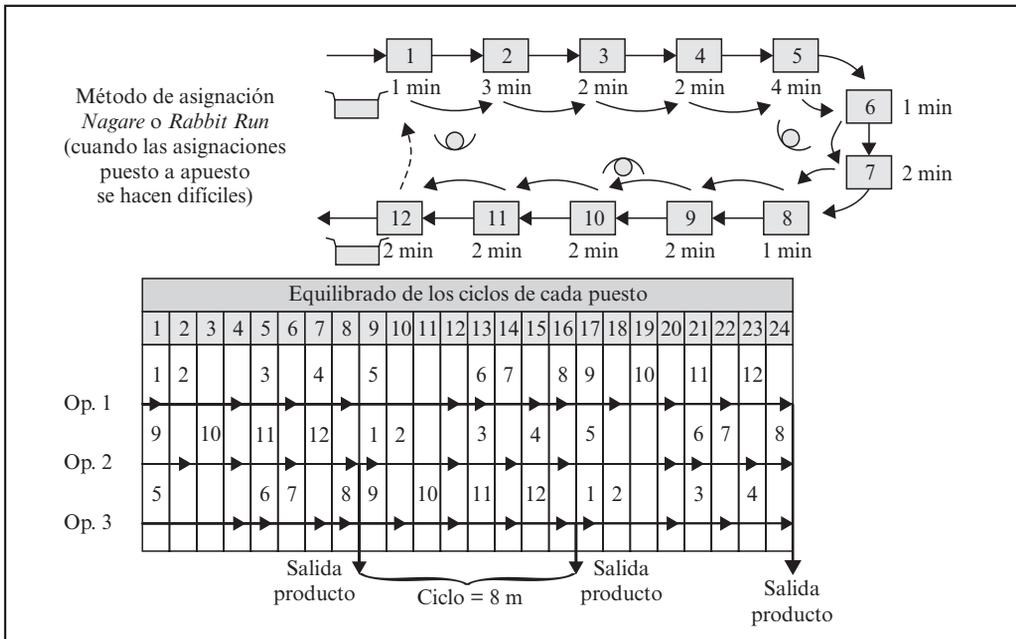


Figura 8.7. Sincronización de los operarios trabajando en Nagare.

El tiempo en total de las operaciones es:  $1 + 3 + 2 + 2 + 4 + 1 + 2 + 1 + 2 + 2 + 2 + 2 = 24'$ .  
Como son tres trabajadores el ciclo sería:  $24 : 3 = 8'$ .

Con este sistema la flexibilidad es máxima, ya que el número de trabajadores podría variarse dejando sólo 1 cuando la demanda es mínima pasando a ser el ciclo de 24', mientras que con demandas superiores podrían colocarse 4 o más trabajadores.

### 8.6.4. Flujo lineal *pull* (equilibrado y sincronizado de procesos)

Una vez establecido el *tack-time* (tiempo máximo de la cadencia de salida de productos), se debe intentar **equilibrar** las capacidades de los diferentes procesos que intervienen en la realización del producto y **sincronizarlos** para que se origine la menor cantidad posible de stocks intermedios.

Se explicará mediante un **ejemplo**.

#### 8.6.4.1. *Ejemplo de cómo conseguir un flujo pull: fabricación de ópticas de faros*

Se fabrican 10 tipos diferentes; la demanda total es de 960 unidades por hora. Uno de los tipos de producto puede verse en la figura 8.8.



Figura 8.8. Óptica de faro.

Los componentes principales son: parábola, plafón, portalámparas y bombilla.

A continuación puede verse el proceso general de fabricación de la parábola y la operación de montaje donde se ensamblan a la parábola el resto de los componentes.

**Proceso general**

Material: Rollo de fleje de acero (longitud: 1.000 m); n.º de piezas/m = 5

Operación	Descripción	Parámetros productivos	Ciclo (segundos)	Producción hora
Embutición	Rollo en devanadora y alimentación automática. Embutición en prensa progresiva de 5 pasos.	Setup: 1,5 horas (el tiempo invertido en cambios no deberá sobrepasar el 10% del tiempo productivo). Uptime:	3	1.080 (1.200 × 0,9)
Desengrasado y fosfatado	Parábolas colgadas manualmente en ganchos suspendidos de un transportador aéreo a velocidad constante.	Velocidad: 60 m/h Distancia entre ganchos: 0,3 m Unidades por gancho: 4 Longitud de cabina: 30 m Uptime:	4,5	800
Barnizado	Transferencia manual de las parábolas (de una en una) al transportador aéreo de la cabina aislada de barnizado. Pintado mediante pistolas automáticas.	Velocidad: 300 m/h Distancia entre ganchos: 0,3 m Unidades por gancho: 1 Longitud de cabina: 10 m Uptime:	3,6	1.000
Horneado	Transferencia automática al transportador aéreo del horno.	Velocidad: 300 m/h Distancia entre ganchos: 0,3 m Unidades por gancho: 1 Tiempo horneado: 60 min	3,6	1.000
Enfriado	Enfriado a temperatura ambiente (durante el tiempo de recorrido hasta metalizado).	Tiempo enfriado: 30 min	3,6	1.000
Metalizado	Descolgado de la parábola del transportador y colgado en soportes a introducir en campana.  Metalizado por vaporización de aluminio en campana de alto vacío.	Capacidad de campana: 120 unidades. Tiempo ciclo campana: 20 min Número de campanas: 3 Uptime:	3,33	1.080
Montaje	Célula en U manual con una fase robotizada (total: 5 fases).	Tiempo de ciclo por línea en U: 30 s Número de líneas: 8 Uptime:	3,75	960

**Metodología:**

- 1.º EQUILIBRADO. *a)* Análisis. *b)* Acciones a tomar para conseguir el equilibrado.
- 2.º SINCRONIZACIÓN. *a)* Calcular, una vez realizadas las acciones pertinentes, el stock en cada fase del proceso, el total y su equivalente en tiempo. *b)* Calcular el stock en los enlaces. *c)* Calcular el stock total (proceso + enlaces) y su equivalente en tiempo de proceso. *d)* Acciones a tomar para sincronizar (tensar el flujo) y técnicas a emplear.
- 3.º LEAD TIME.

**1.º Equilibrado**

*a) Análisis*

Todos los procesos son capaces de suministrar 960 unidades/hora excepto el de desengrasado-fosfatado (800/hora), que es un cuello de botella.

El sobredimensionado de algunos procesos es mínimo, pero, ¡jojo!, no tenemos información del *uptime* (% de tiempo de funcionamiento sin averías).

*b) Acciones a tomar para eliminar el cuello de botella*

Para conseguir el equilibrado debe eliminarse el cuello de botella, y las posibles soluciones para conseguirlo son:

- Aumentar la velocidad de la cadena (supondría aumentar la longitud del túnel).
- Aumentar el número de ganchos (habrían de estar más juntos entre sí y posiblemente afectaría a la calidad).
- Modificar los ganchos para poder colgar 5 parábolas en lugar de 4. Esta última parece ser la más conveniente.

Se pasaría de una producción de 800 a 1.000/hora.

**2.º Sincronización de los procesos**

*a) Stock en cada fase del proceso y el total*

Operación	Causa del stock	Cálculos	Stock medio (unidades)
Embutición	La matriz es progresiva de 5 pasos.		5
Desengrasado y fosfatado	Longitud de cabina: 30 m Distancia entre ganchos: 0,3 m N.º unid./gancho: 5	$(30/0,3) \times 5$	500

Operación	Causa del stock	Cálculos	Stock medio (unidades)
Barnizado	Longitud de cabina: 10 m Distancia entre ganchos: 0,3 m N.º unid./gancho: 1	10/0,3	33
Horneado	Velocidad: 300 m/h Distancia entre ganchos: 0,3 m N.º unid./gancho: 1	300/0,3	1.000
Enfriado	Tiempo enfriado: 30 min	1.000/2	500
Metalizado	Capacidad de campana: 120 unidades. Número de campanas: 3	120 × 3	360
Montaje (células)	N.º estaciones/célula: 5 N.º de células: 8	5 × 8	40
Total			2.438
Stock en <i>tiempo de proceso</i>			2 h, 33 min

**b) Cálculo del stock en los enlaces**

*Materia prima para la prensa de embutir*

Rollo de fleje de acero (longitud: 1000 m).  
Número de piezas/m = 5.  
Total piezas/rollo =  $1.000 \times 5 = 5.000$ .

*Prensa – (desengrase, fosfatado)*

Como el tiempo de cambio de matriz es de 1,5 horas y se quiere que esto suponga el 10% del tiempo productivo, se harán lotes de 15 horas.

El ciclo es de 3 segundos, es decir, la producción hora = 1.200.

Luego la cantidad del lote será de  $1.200 \times 15 = 18.000$  piezas.

Como tiene que haber stock de cada uno de los diez tipos diferentes de parábola, podría estimarse que el stock medio será de  $18.000 \times 10 = 180.000$ .

*Fosfatado – (barnizado – horneado – enfriado)*

Todos tienen la misma capacidad y las transferencias se realizan sin retrasos, por lo que se considera que no generan ningún stock intermedio.

*Enfriado – metalizado*

Siempre deberá haber cantidad suficiente de cada tipo para al menos una campana, por lo que el stock será de  $120 \times 10 = 1.200$ .

*Metalizado – ensamblaje*

Convendría que hubiera de todos los tipos del orden de 120 unidades equivalente a una hora de trabajo de una célula:  $120 \times 10 = 1.200$ .

*Producto acabado*

La unidad de manutención del producto acabado es un contenedor con 200 ópticas del mismo tipo, luego el stock será:  $200 \text{ unid.} \times 10 \text{ tipos} = 2.000$ .

**c) Cálculo del stock total (proceso + enlaces) y su equivalente en tiempo de proceso**

	Stock medio (unidades)
Stock materia prima	5.000
Embutición	5
Stock de parábolas embutidas	180.000
Desengrasado y fosfatado	500
Barnizado	33
Horneado	1.000
Enfriado	500
Stock de parábolas a metalizar	1.200
Metalizado	360
Stock de parábolas metalizadas	600
Montaje (células en «u»)	40
Stock de ópticas	2.000
Total	191.238
Tiempo de flujo (en horas de proceso)	199 h 12 min

**d) Acciones a tomar para tensar el flujo**

La producción en flujo requiere que los procesos estén *equilibrados* y *sincronizados*.

Con el aumento de capacidad de 800 a 1.000 del proceso de desengrasado-fosfatado prácticamente se ha conseguido *equilibrar*.

Para conseguir la *sincronización* habríamos de tensar el flujo hasta el óptimo que sería eliminar los stocks intermedios.

El mayor stock intermedio se produce después de la prensa y podría reducirse mediante técnicas de *smed*.

Si en lugar de los 90 minutos actuales de preparación consiguiéramos reducirlos a 9 el stock podría pasar de 180.000 a 18.000, con lo que el *tiempo de flujo* (en horas de consumo) pasaría a 30 h, 28 min.

Cálculos: stock total pasaría a ser de  $191.238 - (180.000 + 18.000) = 29.238$ .

$$29.238/960 = 30 \text{ h, } 28 \text{ min}$$

La cantidad del lote de un modelo en lugar de 18.000 pasaría a ser de 1.800 (1,5 horas de trabajo de la prensa).

El ahorro del tiempo de flujo (en horas de proceso) sería de 199 horas, 12 minutos, menos 30 horas 28 minutos, igual a 168 horas 44 minutos.

### 3.º Cálculo del *lead time*

A continuación pueden verse los cálculos considerando que la transferencia de embutición a desengrasado y fosfatado se realiza cuando está acabado el lote de proceso, que es de 1.800.

Operación	Lote	P.H.	Cálculos	Lead time (horas)	Lote transf.	Lead time (horas)
Embutición	1.800	1.200	$1.800 : 1.200 = 1,5 \text{ h}$	1,5	200	0,166
Desengrasado y fosfatado	5	1.000	T. cargas 5 parábolas + T. desengrasado y fosfatado = $5/1.000 + (\text{Long.: } 30 \text{ m}) / (\text{veloc. } 60 \text{ m/h}) = 0,505 \text{ h}$	0,505		0,505
Barnizado	1	1.000	T. carga de 1 parábola + T. barnizado = $= 1/1.000 + (\text{Long.: } 10 \text{ m}) / (\text{veloc. } 300 \text{ m/h}) = 0,034 \text{ h}$	0,034		0,034
Horneado	1	1.000	T. carga de 1 parábola + T. horneado: $(1/1.000) + 1 = 1,001 \text{ h}$	1,001		1,001
Enfriado	1	1.000	Tiempo de enfriado: 0,5 h	0,5		0,5
Metalizado	120	1.080	T. carga de 120 parábolas en soporte + T. metalizado $(120 \times 3,6")/3.600" + 0,33 = 0,45 \text{ h}$	0,45		0,45
Montaje	1	960	5 puestos de trabajo $\times$ T ciclo/línea = $= 5 \times 30" = 150"$ $150"/3.600" = 0,042 \text{ h}$	0,042		0,042
				4,032		2,698

Como puede verse el *lead time* podría reducirse de 4,032 horas a 2,698 horas mediante lote de transferencia de 200 u.

## 8.6.5. Value stream map (mapa de los flujos del valor del producto)

### 8.6.5.1. Definición

El *value stream map* (VSM) es la representación del conjunto de todas las acciones (ya sean con valor añadido o sin él) que se llevan a cabo para obtener un producto y ponerlo a disposición del cliente a través de los dos flujos principales:

- El **flujo del material**: desde la materia prima hasta el producto acabado en casa del cliente.
- El **flujo de la información**: que indica en cada proceso qué, cuánto y cuándo producir.

Tipos de actividades en los procesos:

- Actividades con valor añadido.  
Son aquellas que se adaptan a las necesidades del usuario, **éste las percibe y está dispuesto a pagar por ellas.**
- Despilfarros (*muda*).  
Son todas las actividades que no aumentan el valor, sino sólo el coste.  
Algunas de ellas se originan debido a los medios actualmente empleados pero que el cliente no percibe.  
Otras no son necesarias y consumen espacios, instalaciones, material, tiempo y energías y pueden **ser eliminadas inmediatamente.**

### 8.6.5.2. Objetivos

El *value stream map* tiene los siguientes objetivos:

- Ayudar a ver el flujo, más que a centrarse en cada proceso.
- Ver dónde está el *muda* y cuáles son sus causas.
- Establecer un lenguaje común para hablar de producción, a todos los niveles de la organización.
- Visualizar los efectos de las mejoras para implementar el flujo.
- Mostrar la unión entre el flujo de material y el flujo de la información.

El mapa de los flujos del valor de los productos se realiza para cada **familia de productos**<sup>2</sup> y *debe especificar el valor de los flujos y los muda.*

---

<sup>2</sup> Una familia es un grupo de productos que pasa a través de fases productivas, máquinas e instalaciones análogas. En una fábrica frecuentemente existen varias familias de productos.

Habitualmente la diferenciación entre las diferentes familias se produce en los procesos «aguas abajo» en la medida en que *las fases «aguas arriba» del value stream son grandes máquinas por las que pasan las diferentes familias de productos.*

Dibujando los flujos se analizan cada una de las acciones para determinar cómo están organizadas las actividades creadoras de valor y al mismo tiempo se evidencian los *muda*.

Partimos del supuesto de que para mejorar debemos partir del conocimiento claro de la situación actual debidamente medidos todos los parámetros, al igual que en la metodología clásica de la mejora de métodos de trabajo, en la que la primera etapa es la de evidencia (registro).

### 8.6.5.3. Metodología y ejemplo

- 1.º Dibujar el *value stream map* del estado actual.
- 2.º Realizar el análisis.
- 3.º Dibujar el *value stream map* deseable.

#### 8.6.5.3.1. El *value stream map* del estado actual

El *value stream map* del estado actual se dibuja (etapa de registro) recorriendo personalmente en la planta de producción todo el flujo del valor de realización de la familia de productos, basándose en lo que se ve y no en las informaciones de que pueda disponerse.

Los datos útiles que se deben recoger dependen del tipo de proceso que se esté estudiando y de qué estado futuro se prevea.

En la figura 8.9 se muestran los iconos más usados para representar el *value stream map*.

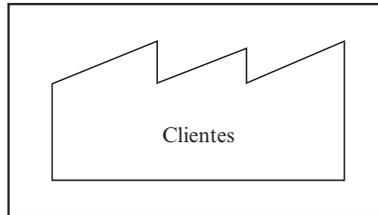
	Operario		Almacén
	Kanban de transporte		Supermercado
	Kanban de producción		Información manual
	Push		Información electrónica
	Mejora necesaria		Flujo kanban

Figura 8.9. Iconos usados en el *value stream map*.

Las fases previstas para la realización del mapa de la situación actual son las siguientes.

**a) Los clientes y sus necesidades**

Definir cuál es el volumen medio de ventas, anotar esta información, representar gráficamente a los clientes.



**450 unidades diarias entre los cinco modelos diferentes de la familia**

**b) Los procesos y los stocks entre fases**

Diseñar un bloque (icono) por fase y unirle un cuadro de datos fundamentales. En el ejemplo de la figura que sigue se han registrado el tiempo de ciclo, el tiempo de cambio de modelo (*set-up*) y el porcentaje de tiempo de funcionamiento sin averías (*uptime*).

Contar el stock de las piezas «aguas arriba» y «aguas abajo» de la fase, anotarlas y representarlas con un triángulo.

Repetir estos pasos para todo el *value stream* de la fábrica.

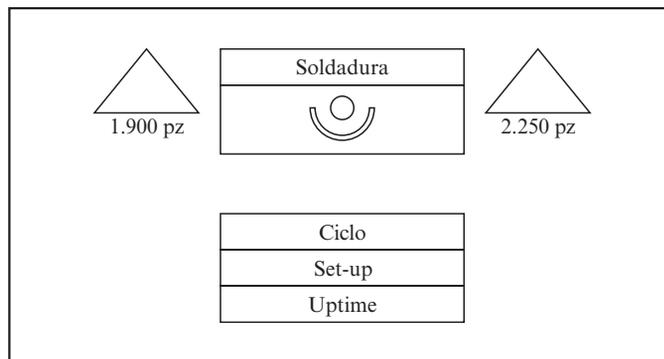


Figura 8.10. Icono por fase.

**c) El flujo de los materiales**

Una vez representados todos los procesos, situarlos en un plano y reflejar los flujos de los materiales externos a la fábrica (recepción de materiales y envíos, en cantidad y frecuencia).

Véase la figura 8.11.

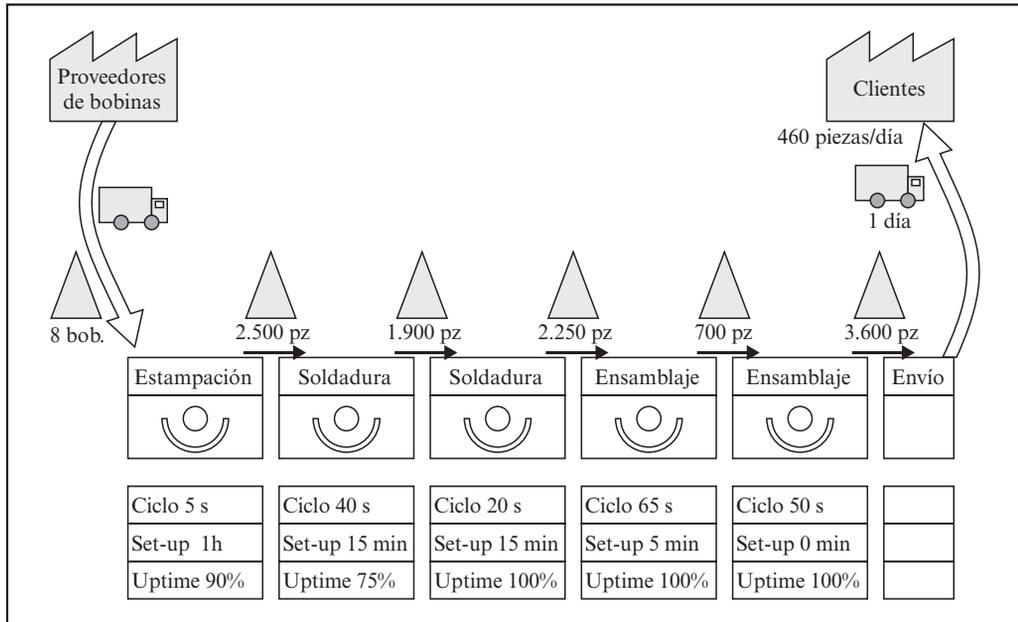


Figura 8.11. Flujo de los materiales.

**d) El flujo de la información y el *push* de los semielaborados**

Indagar sobre cómo los clientes informan de sus necesidades (previsiones, pedidos) y cómo se planifica cada fase y cuál es el sistema de previsión de los consumos y de gestión de los pedidos.

Dibujar un esquema del movimiento de los materiales que se «empujan» (*push*) desde el sistema de planificación hacia los procesos «aguas abajo».

**e) Dibujar las líneas de tiempo (tiempo de proceso y *lead time*)**

Diseñar un *time line* en la base del mapa. Convertir los stocks en tiempo de cobertura.

Distinguir el tiempo de proceso (tiempo de auténtico proceso), del *lead time* (plazo de entrega debido a los *stocks*).

**Cálculo de los tiempos de cobertura de los stocks**

**Soldadura**

1.ª fase: stock previo:

2.500 piezas; P.H. bruta =  $3.600/40 \text{ s} = 90 \text{ pz/hora}$ ; P.H. neta =  $90 \times 0,75 = 67,5$ ;  $2.500/67,5 = 37 \text{ horas}$ ;  $37 \text{ horas}/7,5 = 4,9 \text{ días}$ .

2.<sup>a</sup> fase: stock previo:

1.900 piezas; P.H. bruta =  $3.600/20 \text{ s} = 180 \text{ pz/hora}$ ; P.H. neta =  $180 \text{ pz/hora}$ ;  $1.900/180 = 10,55 \text{ horas}$ ;  $10,55 \text{ horas}/7,5 = 1,4 \text{ días}$ .

**Ensamblaje**

1.<sup>a</sup> fase: stock previo:

2.250 piezas; P.H. bruta =  $3.600/65 \text{ s} = 55,4 \text{ pz/hora}$ ; P.H. neta =  $55,4 \text{ pz/hora}$ ;  $2.250/55,4 = 40,5 \text{ horas}$ ;  $40,5 \text{ horas}/7,5 = 5,4 \text{ días}$ .

2.<sup>a</sup> fase: stock previo:

700 piezas; P.H. bruta =  $3.600/50 \text{ s} = 72 \text{ pz/hora}$ ; P.H. neta =  $72 \text{ pz/hora}$ ;  $700/72 = 9,72 \text{ horas}$ ;  $9,72 \text{ horas}/7,5 = 1,3 \text{ días}$ .

**Almacén acabados**

$3.600/460 = 7,8 \text{ días}$

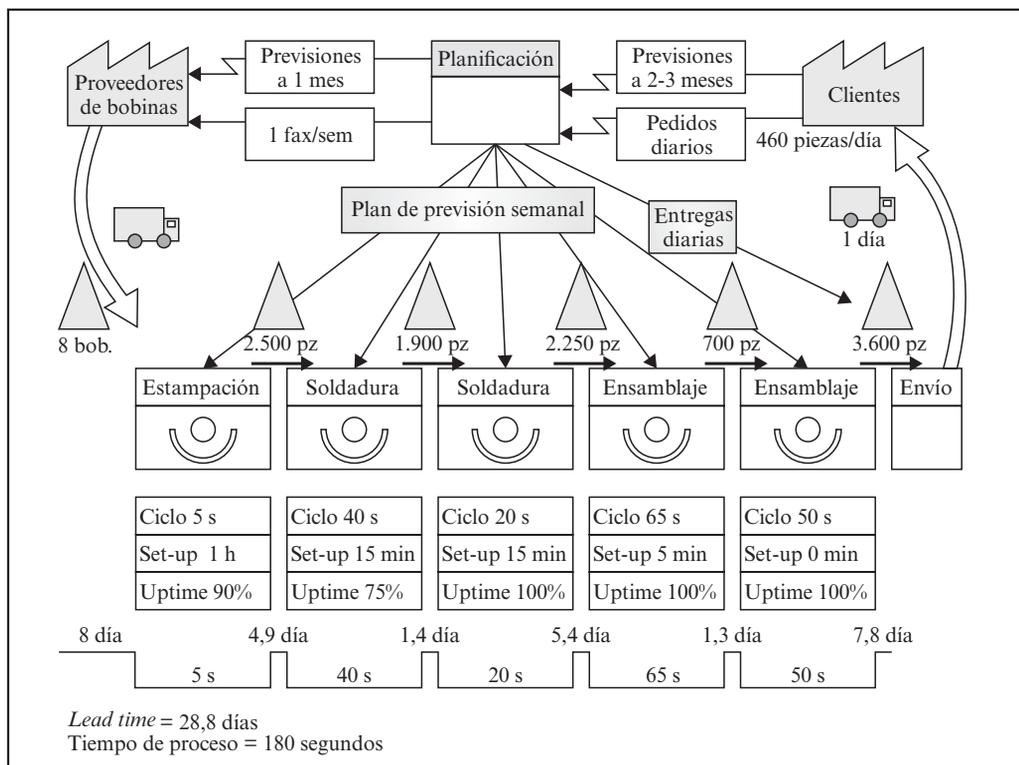


Figura 8.12. Value stream map (actual).

*Nota:* a) La familia de productos está formada por 5 modelos diferentes. b) La 1.<sup>a</sup> fase de soldadura es una operación hombre-máquina; el tiempo de máquina parada  $MP = 30$  segundos, el tiempo máquina automático  $TM = 10$  segundos. El resto de las operaciones son manuales.

### 8.6.5.3.2. Análisis del estado actual

Es conveniente recordar cómo debería ser el VSM según los principios del *lean manufacturing*:

- **Producir a ritmo de *tack-time*** en el proceso final y que los procesos anteriores estén interrelacionados de tal forma que exista un **flujo continuo** de material que se traduzca en menos tiempo de suministro, más calidad y menos costes, en definitiva, evitar pérdidas (mudas).

Los ocho tipos de pérdidas que pueden presentarse en una cadena de suministro son:

1. Exceso de producción.
2. Operaciones.
3. Movimientos.
4. Transportes.
5. Esperas.
6. Stocks.
7. Defectos de calidad.
8. Infrutilización de las habilidades del personal.

Los derroches que se pueden evidenciar son:

- La carga de trabajo de las personas está desequilibrada.
- Existen demasiados *stocks* (y, por tanto, hay también *muda* de espacio).
- Algunos *set-up* son demasiado altos.
- Algunas máquinas son poco fiables (bajo *uptime*).
- El tiempo total de la producción (*lead time*) es excesivo respecto del tiempo de proceso (*processing time*).

a) Cálculo del *tack-time*:

$$Tack-time = \frac{\text{Tiempo de trabajo disponible al día}}{\text{Demanda diaria del cliente}}$$

En nuestro caso:  $(7,5 \text{ horas} \times 3.600 \text{ segundos})/460 \text{ unidades} = 59 \text{ segundos}$ .  
Se debería producir a este ritmo para evitar el exceso de producción.

b) Posibilidad de trabajar en un flujo continuo.

El flujo continuo se puede obtener cuando:

- Hay regularidad en los pedidos.
- El tiempo ciclo es igual o ligeramente inferior al *tack-time*.
- Los *set-up* son bajos.
- La calidad y la fiabilidad del proceso (*uptime*) son óptimas.

En nuestro caso los pedidos son regulares, los tiempos de ciclo todos son inferiores al *tack-time* excepto el primer puesto de ensamblaje, lo cual deberíamos solucionar; los *set-up* de soldadura y ensamblaje deberíamos ver de reducirlos a cero o a preparaciones instantáneas (menos de 1 minuto), y conseguir un *uptime* 100% en el primer proceso de soldadura.

Las fases de *soldadura* y *ensamblaje* podrían convertirse en una **célula única a flujo**.

La representación en *value stream map* del flujo continuo se realiza en una caja única.

Considerando que los ciclos actuales ya no pudieran reducirse (**cosa que habría de analizarse**) tenemos que la suma de tiempos manuales es:

$$30 + 20 + 65 + 50 = 165 \text{ segundos}$$

Si el *tack-time* es 59 segundos tendremos que el número de operarios necesario sería:

$$165 \text{ s}/59 = 2,80, \text{ es decir, } 3. \text{ Luego el ciclo quedaría en: } 165/3 = 55 \text{ segundos}$$

**Los operarios pasarían de cuatro a tres, y en principio habrían de trabajar en la célula en Nagare.**

Con todo ello resuelto podríamos trabajar contra pedido, disponiendo sólo de un stock de acabados de un par de días entre los cinco modelos, es decir, un promedio de:  $(460 \times 2 \text{ días})/5 = 184$  unidades de cada modelo.

El *pace-maker* (primera fase «aguas arriba» del flujo), en nuestro caso la célula de soldadura más ensamblaje, se regula mediante los *kanban*.

La producción de la célula sería con mezcla de modelos.

c) Necesidad de crear un supermercado para el flujo.

Donde no se pueda crear flujo continuo, que es el caso de estampación, hay que crear un stock aunque si bien el menor posible. El supermercado se dispone inmediatamente «aguas arriba» del flujo para que éste siempre disponga de material. Para que el stock sea mínimo (admitamos que sea el equivalente a 1 día de trabajo de la célula) deberíamos reducir el tiempo de preparación (*setup*) de 1 hora a menos de 10 minutos (*smed*).

### 8.6.5.3.3. Dibujar el *value stream map* deseable

Si las mejoras al proceso se llegan a realizar, el estado futuro ofrecerá una organización donde muchos *muda* habrán sido eliminados, y en particular se tendrán:

- *Lead time* y *stocks* sensiblemente menores respecto al estado actual.
- Posibilidad de trabajar con una persona menos.

- Menor espacio ocupado.
- Menos desechos.

Teniendo presentes estos puntos se puede diseñar el *value stream map* previsto, el cual se puede ver en la figura 8.13.

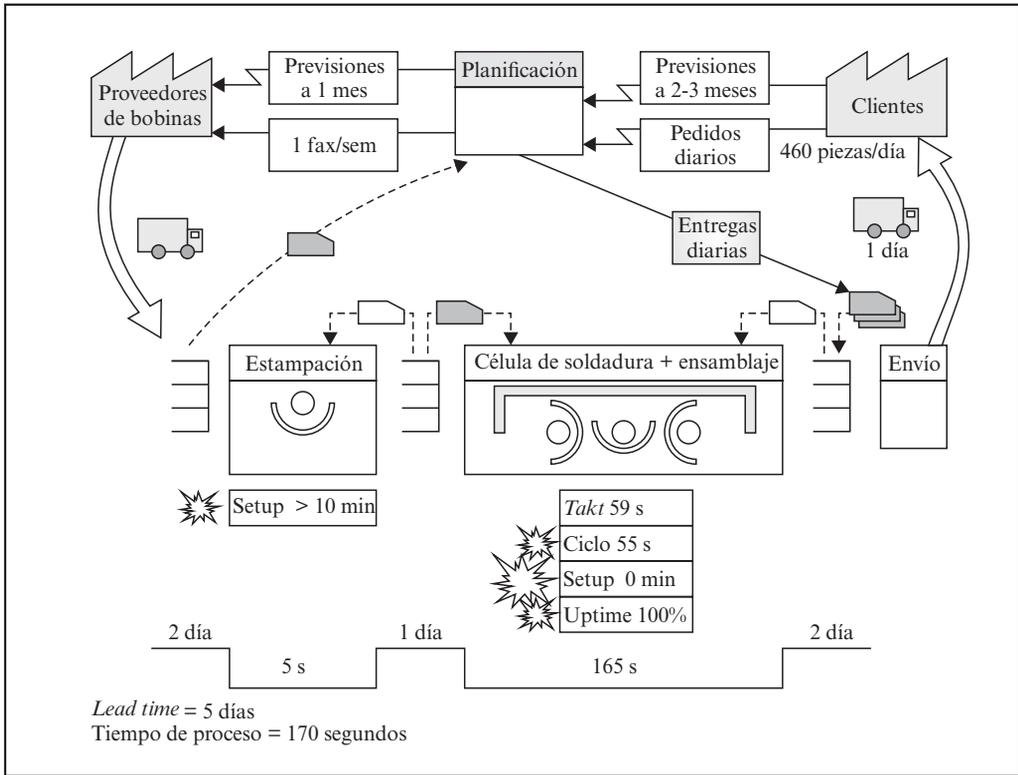


Figura 8.13. Value stream map (previsto).

## RESUMEN

«LEAN» en inglés significa «magro» (sin grasa), es decir, todo aprovechable, sin despilfarros.

La producción **lean** tiene como objetivo obtener un flujo continuo que vaya de la materia prima al cliente final, con el **mínimo muda, el menor lead time y la mejor calidad**.

Los principios clave del *lean manufacturing* son: minimización del despilfarro, calidad perfecta a la primera, mejora continua, flexibilidad, procesos «pull» produciéndolos al ritmo del *tack-time*, sincronización de toda la producción con una sola fase del proceso (llamada *pace-maker*), adopción de supermercados (con **kanban**), donde sea imposible obtener el flujo continuo, proveedores involucrados.

Los pasos a seguir para el proceso de implantación del sistema de producción ajustada *lean* son los siguientes: 1.º crear un sistema de indicadores; 2.º clasificar los productos por familia; 3.º elección de una familia de productos para comenzar una experiencia piloto; 4.º documentar gráficamente el flujo real (*value stream map*) de la familia de productos; 5.º dibujar en un papel el flujo ideal, y decidir cuál será el proceso «marcapasos» (*pace-maker*); en este momento determinaremos si es posible el *postponement* en nuestro proceso; 6.º confeccionar un plan de acciones indispensables para pasar desde la situación actual a la planificada; este plan es la aplicación de las herramientas *lean*; 7.º hacer participar a toda la plantilla implicada en este proceso de mejora; 8.º repetir el mismo proceso para las otras familias de productos una vez que la primera experiencia haya tenido éxito.

Herramientas **LEAN** son todas aquellas que nos permitirán conseguir ajustar la producción a la demanda con la máxima eficiencia, es decir, conseguir: eliminación del despilfarro y flexibilidad (ritmo de producción ajustado al de la demanda (*tack-time*)).

Las técnicas para conseguir la flexibilidad que son las que están más directamente relaciona-

das con la programación de la producción son las que a continuación se indican: *one-piece-flow*, producción segmentada y mezclada, células en U, flujo lineal *pull* (equilibrado y sincronización de procesos), *kanban*, *value stream map*.

El sistema *one-piece-flow* significa el flujo pieza a pieza (no esperar a tener un lote para transferirlo a la fase siguiente). Es la solución óptima para la reducción del *lead time*, consiguiendo un flujo continuo y la eliminación de stock entre procesos; esto es lo que sucede en las cadenas de montaje. Esto es lo que se pretende también conseguir durante la fabricación. Cuando no es posible, se recurre a la producción de pequeños lotes y con las máquinas sincronizadas y físicamente próximas.

Producción segmentada y mezclada en pequeños lotes permite la nivelación de los procesos «aguas arriba» y el suministro rápido y flexible a los clientes, así como reducir los stocks de productos acabados.

La disposición de la línea en U es original de Toyota y permite una gran flexibilidad ante los cambios de la demanda. Conocida esta propiedad como producción ajustada, ante un cambio de demanda, no es necesario perder tiempo para la adaptación del puesto de trabajo, simplemente habrá que aumentar o disminuir el número de trabajadores en la línea, redistribuyendo la asignación de operaciones.

Flujo lineal *pull* (equilibrado y sincronizado de procesos): una vez establecido el *tack-time* (tiempo máximo de la cadencia de salida de productos), se debe intentar **equilibrar** las capacidades de los diferentes procesos que intervienen en la realización del producto y **sincronizarlos** para que se origine la menor cantidad posible de stocks intermedios.

El *value stream map* es la representación del conjunto de todas las acciones (ya sean con valor añadido o sin él) que se llevan a cabo para obtener un producto y ponerlo a disposición del

cliente a través de los dos flujos principales: el **flujo del material** desde la materia prima hasta el producto acabado en casa del cliente, y el **flujo de la información**, que indica en cada proceso qué, cuánto y cuándo producir.

El *value stream map* tiene los siguientes objetivos: ayudar a ver el flujo, más que a centrarse en cada proceso, ver dónde está el *muda* y cuáles son sus causas; establecer un lenguaje común para hablar de producción, a todos los niveles de la organización; visualizar los efectos

de las mejoras para implementar el flujo; mostrar la unión entre el flujo de material y el flujo de la información.

El mapa de los flujos del valor de los productos se realiza para cada **familia de productos** y debe especificar el **valor de los flujos y los muda**. Habitualmente la diferenciación se produce en los procesos «aguas abajo» en la medida en que las fases «aguas arriba» del *value stream* son grandes máquinas por las que pasan diferentes familias de productos.

## CUESTIONES

1. ¿Qué significa «lean production»?
2. ¿Cuál es el objetivo del *lean production*?
3. ¿Cuáles son los principios clave del *lean production*?
4. Describir los pasos a seguir para el proceso de implantación del sistema de producción ajustada *lean*.
5. ¿Cuáles son las dos grandes áreas de actuación de las herramientas *lean*.
6. Enumerar las técnicas *lean* para conseguir la flexibilidad.
7. ¿Qué significa *one-piece-flow*?
8. ¿Qué se puede hacer cuando no es posible llevar a cabo el sistema *one-piece-flow*?
9. ¿Qué se entiende por producción segmentada y mezclada?
10. ¿Qué se consigue con la producción segmentada y mezclada?
11. ¿Qué se consigue con la disposición de la línea en U?
12. ¿Cuándo diremos que hemos conseguido un flujo lineal *pull*?
13. Pasos a seguir para conseguir un flujo lineal *pull*.
14. ¿Qué es el *value stream map*?
15. ¿Cuáles son los objetivos del *value stream map*?
16. ¿El *value stream map* representa todos los productos que se fabrican en la empresa?
17. Diseñar una línea en U para la fabricación de una pieza cuyo proceso es el siguiente:

Número de operación	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo (minutos)	1,1	1,3	1,8	2	1,7	2	2,6	1,6	1,3

Se desea obtener una producción diaria de 80 unidades. Considerar disponibles 450 min/día.  
Calcular:

- a) 1.º *tack-time*; 2.º número de operarios necesarios en la línea; 3.º dibujar la distribución y asignar a cada operario las operaciones a realizar; 4.º calcular el ciclo y la producción diaria que podrá obtenerse; 5.º eficiencia obtenida.

- b) De disminuir sensiblemente la demanda y entonces quitar un operario de la línea: 6.º dibujar la distribución y asignar a cada operario las operaciones a realizar; 7.º calcular el ciclo y la producción diaria que podrá obtenerse; 8.º eficiencia obtenida.
- c) 9.º dibujar la distribución en el caso de que cada uno de los tres operarios realiza cada una de las operaciones necesarias para la fabricación de la pieza (Nagore); 10.º calcular el ciclo y la producción horaria que podría obtenerse; 11.º eficiencia obtenida en cada caso; 12.º representar en un diagrama de actividades simultáneas la asignación de operaciones a cada operario.

## RESPUESTAS A LAS CUESTIONES

1. *Lean production* significa una manufactura en la que todo lo que se hace es aprovechable (es magra, sin grasa), es decir, sin despilfarros.
2. La producción *lean* tiene como objetivo obtener un flujo continuo que vaya de la materia prima al cliente final, con el mínimo muda, el menor *lead time* y la mejor calidad.
3. Los principios clave del *lean production* son: minimización del despilfarro, calidad perfecta a la primera, mejora continua, flexibilidad, procesos «pull» produciéndolos al ritmo del *tack-time*, sincronización de toda la producción con una sola fase del proceso (llamada *pace-maker*), adopción de supermercados (con **kanban**) donde sea imposible obtener el flujo continuo, proveedores involucrados.
4. Los pasos a seguir para el proceso de implantación del sistema de producción ajustada *lean* son los siguientes: 1.º crear un sistema de indicadores; 2.º clasificar los productos por familias; 3.º elección de una familia de productos para comenzar una experiencia piloto; 4.º documentar gráficamente el flujo real (*value stream map*) de la familia de productos; 5.º dibujar en un papel el flujo ideal, y decidir cuál será el proceso «marcapasos» (*pace-maker*); en este momento determinaremos si es posible el *postponement* en nuestro proceso; 6.º confeccionar un plan de acciones indispensables para pasar desde la situación actual a la planificada; este plan es la aplicación de las herramientas *lean*; 7.º hacer participar a toda la plantilla implicada en este proceso de mejora; 8.º repetir el mismo proceso para las otras familias de productos una vez que la primera experiencia haya tenido éxito.
5. Las dos grandes áreas de las herramientas *lean* son las que nos permiten conseguir: eliminación del despilfarro y la flexibilidad (ritmo de producción ajustado al de la demanda, *tack-time*).
6. Las técnicas para conseguir la flexibilidad son: *one-piece-flow*, producción segmentada y mezclada, células en U, flujo lineal *pull* (equilibrado y sincronización de procesos), *kanban*, *value stream map*.
7. El sistema *one-piece-flow* significa el flujo pieza a pieza (no esperar a tener un lote para transferirlo a la fase siguiente). Esto es lo que sucede en las cadenas de montaje y lo que se pretende en la fabricación.
8. Cuando no es posible, se recurre a la producción de pequeños lotes y con las máquinas sincronizadas y físicamente próximas.

9. Producción segmentada y mezclada es producir pequeños lotes alternados de varios productos diferentes.
10. La producción segmentada y mezclada permite la nivelación de los procesos «aguas arriba» y el suministro rápido y flexible a los clientes, así como reducir los stocks de productos acabados.
11. La disposición de la línea en U permite una gran flexibilidad ante los cambios de la demanda, simplemente habrá que aumentar o disminuir el número de trabajadores en la línea, redistribuyendo la asignación de operaciones.
12. Un flujo lineal *pull* es aquel en que los diferentes procesos han sido equilibrados y sincronizados.
13. Los pasos a seguir son: una vez establecido el *tack-time* (tiempo máximo de la cadencia de salida de productos), intentar **equilibrar** las capacidades de los diferentes procesos que intervienen en la realización del producto y **sincronizarlos** para que se origine la menor cantidad posible de stocks intermedios.
14. El *value stream map* es la representación del conjunto de todas las acciones (ya sean con valor añadido o sin él) que se llevan a cabo para obtener un producto y ponerlo a disposición del cliente a través de los dos flujos principales: el **flujo del material** desde la materia prima hasta el producto acabado en casa del cliente, y el **flujo de la información**, que indica en cada proceso qué, cuánto y cuándo producir.
15. El *value stream map* tiene los siguientes objetivos: ayudar a ver el flujo, más que a centrarse en cada proceso, ver dónde está el *muda* y cuáles son sus causas; establecer un lenguaje común para hablar de producción, a todos los niveles de la organización; visualizar los efectos de las mejoras para implementar el flujo; mostrar la unión entre el flujo de material y el flujo de la información.
16. El mapa de los flujos del valor de los productos se realiza para cada **familia de productos** y debe especificar el **valor de los flujos y los muda**.
- 17.

a)

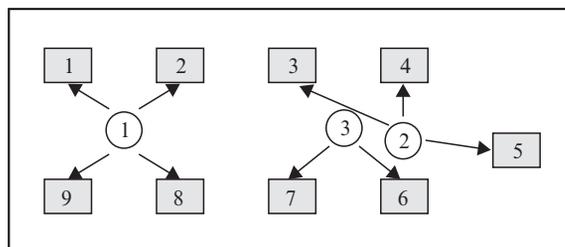
1.º *Tack-time*

$$Tack-time = 450/80 = 5,6 \text{ minutos}$$

2.º *Número de operarios en la línea*

$$N.º \text{ operarios} = \sum ti/tack-time = 15,4/5,6 = 2,73 \rightarrow 3 \text{ operarios}$$

3.º *Distribución y asignación a cada operario de las operaciones a realizar*



Operario 1:  $1,1 + 1,3 + 1,6 + 1,3 = 5,3$  min

Operario 2:  $1,8 + 2 + 1,7 = 5,5$  min

Operario 3:  $2 + 2,6 = 4,6$  min

4.º *Calcular el ciclo y la producción diaria que podrá obtenerse.*

Tiempo de ciclo = 5,5 min

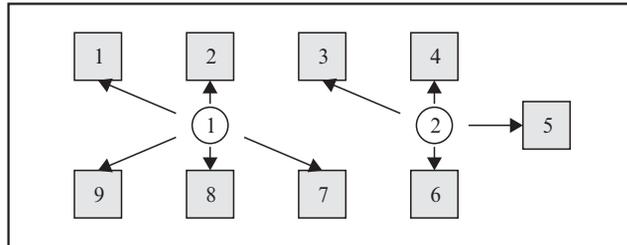
Producción diaria =  $450/5,5 = 81,81 \rightarrow 81$  unidades

5.º *Eficiencia obtenida.*

$$E = 15,4/(3 \times 5,5) = 0,933$$

b) **Al disminuir sensiblemente la demanda y entonces quitar un operario de la línea.**

6.º *Asígnese a cada operario las operaciones a realizar.*



Operario 1:  $1,1 + 1,3 + 2,6 + 1,6 + 1,3 = 7,9$  min

Operario 2:  $1,8 + 2 + 1,7 + 2 = 7,5$  min

7.º *Calcular el ciclo y la producción diaria que podrá obtenerse.*

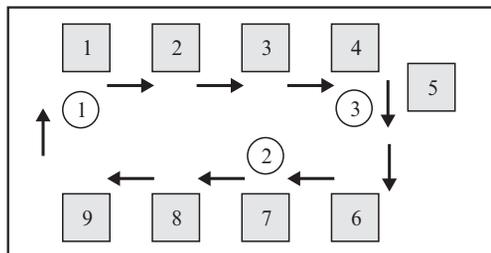
Tiempo de ciclo = 7,9 min

Producción diaria =  $450/7,9 = 56,96 \rightarrow 56$  unidades

8.º *Eficiencia obtenida.*

$$E = 15,4/(2 \times 7,9) = 0,974$$

c) 9.º **Distribución en el caso de que cada uno de los tres operarios realiza cada una de las operaciones necesarias para la fabricación de la pieza (Nagare).**



10.º **Calcular el ciclo y la producción diaria que podrá obtenerse.**

Tiempo de ciclo (1 operario) = 15,4 minutos

Producción diaria (1 operario) =  $450/15,4 = 29,22 \rightarrow$  **29 unidades**

Tiempo de ciclo (2 operarios) = 7,7 minutos

Producción diaria (2 operarios) =  $450/7,7 = 58,44 \rightarrow$  **58 unidades**

Tiempo de ciclo (3 operarios) = 5,13 minutos

Producción diaria (3 operarios) =  $450/5,13 = 87,66 \rightarrow$  **87 unidades**

11.º Eficiencias obtenida en cada caso:

1 operario:  $15,4/15,4 = 1$

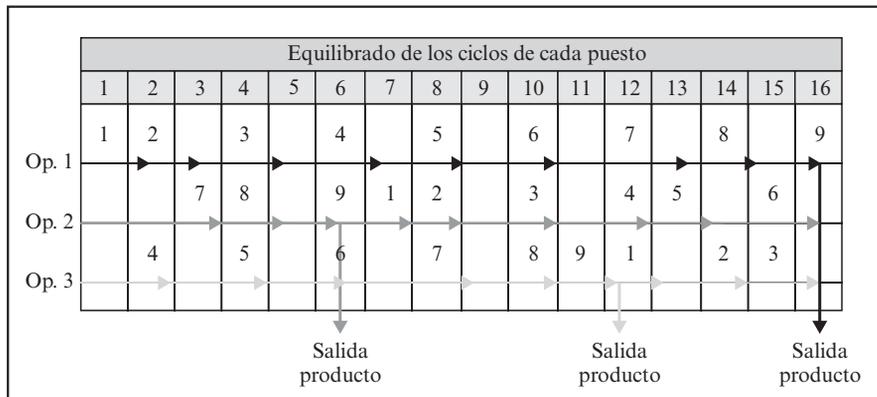
2 operarios:  $15,4/(2 \times 7,7) = 1$

3 operarios:  $15,4/(3 \times 5,13) = 1$

Con Nagare la eficiencia obtenida es la máxima en los tres casos.

12.º Representar en un diagrama de actividades simultáneas la asignación de operaciones a cada operario.

11.



# 9

## Método OPT (*Optimized production technology*)

### Después de leer este capítulo usted deberá:

- Describir en qué consiste el OPT.
- Enumerar los obstáculos que impiden el incremento de la productividad.
- Describir mediante un diagrama de flujo el sistema OPT.
- Aplicar los lotes de transferencia.

### 9.1. INTRODUCCIÓN

Este sistema de programación de producción fue inventado en Israel cuando los hermanos E. Goldratt y L. Pazgal, físico e informático, respectivamente, intentaban aplicar el ordenador para la programación de producción, pero fue desarrollado extensamente en Estados Unidos, a partir de 1980, partiendo de un concepto matemático y un enfoque nuevo de la realidad de la fabricación.

OPT representa una nueva tecnología que no solamente produce programaciones óptimas, sino también provee de importantes nuevos conocimientos de la complejidad de las operaciones de fabricación.

Al igual que el kanban está enfocado a reducir inventarios e identificar cuellos de botella, OPT es un sistema computarizado; así pues los cuellos de botella y los impactos de diversas alternativas pueden ser analizados con antelación sin crear problemas en la planta de producción.

Los ficheros convencionales (listas de materiales, hojas de ruta, centros de trabajo, etc.) típicamente encontrados en el MRP son convertidos en una red producto-proceso. Esta red llega a ser el modelo de fabricación, el cual describe cómo se hace un producto, la competición por los recursos y las interrelaciones entre los componentes que van al ensamblaje de un producto.

OPT utiliza los requerimientos de producción y los recursos de fabricación disponibles para producir programaciones óptimas. Adicionalmente genera las necesidades de material.

OPT identifica los recursos críticos o cuellos de botella mediante un sistema llamado SERVE y usa un algoritmo propio para programar estos recursos. Este algoritmo es el «cerebro» del OPT llamado BRAIN.

Una vez que la programación óptima ha sido determinada de acuerdo con los recursos críticos, ésta es usada como *input* para los recursos no críticos. Estos recursos son programados usando el sistema llamado SERVE que es una réplica del MRP.

Hay parámetros de gestión que permiten ajustar la programación para cumplir objetivos específicos. Por ejemplo, puede que el objetivo sea mejorar el servicio a clientes y ello sea a costa de incrementar los costes de cambios de preparación de máquinas, cuyo valor así se conocerá de antemano.

OPT identifica y descubre cuellos de botella y los programas para conseguir la maximización del flujo.

Los recursos que no son cuellos de botella son programados ejecutando pequeños lotes y requerirán más cambios de preparación, pero se consigue un mejor «mix» de los componentes que circulan entre los centros de trabajo.

Como técnica analítica que es, el OPT es usado para conseguir un modelo en un entorno de fabricación que determina el mejor «mix» de recursos, personal, equipos, espacios, etcétera, para conseguir unos objetivos determinados.

Hay dos posibilidades importantes por parte de la gerencia para incrementar la productividad:

- **Cambiar las cargas de trabajo** y ver el impacto sobre el flujo, stocks, cambios de preparación y entregas de producto.
- **Variar o añadir recursos, o cambiar el proceso** y ver para cada alteración el coste, stocks, entregas y cómo estas modificaciones afectan a los resultados.

La gerencia asimismo puede ver cómo afectan a los resultados las modificaciones en cuanto a cambios de preparación o plazos de entrega.

## 9.2. OBSTÁCULOS PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD

Los mayores obstáculos para incrementar la productividad no están en una falta de tecnología o recursos financieros, sino en lo siguiente:

- Cuellos de botella.
- Cambios de preparación de máquina.
- Tamaño de los lotes.
- Prioridades.
- Incertidumbres.

- La contabilidad de costes.
- El balance de la planta.

### 9.2.1. Cuellos de botella

Son un factor importante que impide el incremento de productividad.

Con objeto de desarrollar programaciones que den los mejores resultados se debería distinguir antes de nada lo que es un cuello de botella; para ello veamos los cuatro casos de la figura 9.1, en los que el porcentaje de utilización de las máquinas *X* e *Y* es diferente.

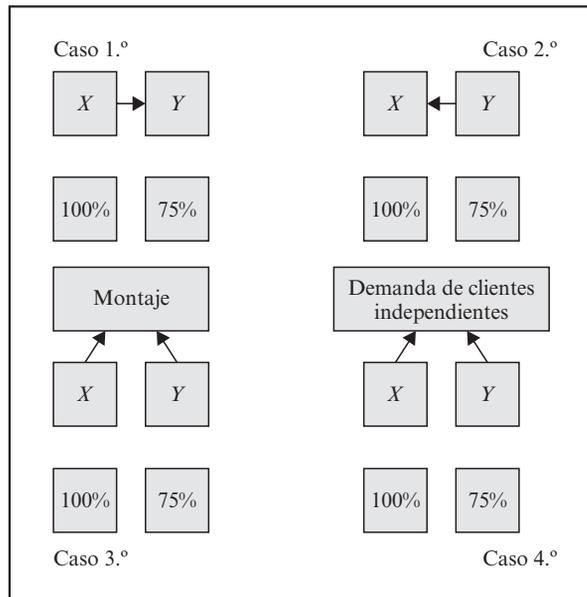


Figura 9.1

En el caso 1.º el cuello de botella es *X* el cual produciendo a tope no llega a saturar al *Y*.

En el caso 2.º no ganaríamos nada activando *Y*, aún peor, nos originaría stocks y con ello gastos y no se aumentaría el flujo.

El caso 3.º es similar al caso 1.º.

En el caso 4.º el cuello de botella es el *X* en cuanto a que no puede suministrar más demanda, pero también lo es el marketing en cuanto al *Y*, al no suministrarle más pedidos con los que poder saturarlo.

Las dos primeras reglas del OPT que tienen que ver con esto son:

- **Regla 1.ª:** El incrementar la utilización de un recurso que no es cuello de botella no está determinado por su capacidad, sino por otras contracciones del sistema.

- **Regla 2.<sup>a</sup>:** El mejor resultado se obtendrá programando todos los recursos que no son cuellos de botella, basándose en los que lo son.

## 9.2.2. Cambios de preparación de máquinas

Un punto de vista que debe ser eliminado es el de que un ahorro de tiempo en un cambio de preparación de máquina reporta beneficios sin que tenga que ver el tipo de máquina en que esto ocurra.

En un recurso cuello de botella, una hora ahorrada de cambios de preparación es una hora ganada para fabricar, equivalente a un incremento del flujo en una hora. En un recurso no cuello de botella significaría, sin embargo, una hora más de desocupación del recurso.

Así pues, las dos siguientes reglas del OPT son:

- **Regla 3.<sup>a</sup>:** Una hora perdida en un cuello de botella es una hora perdida para el total del sistema.
- **Regla 4.<sup>a</sup>:** Una hora ahorrada en un recurso que no es cuello de botella es un espejismo.

## 9.2.3. Tamaño de los lotes

La determinación del lote económico es otro de los conceptos que debería ser revisado.

La determinación del lote económico viene dada sobre la base de que los costes de posesión de stocks más los costes de preparación de máquinas sea mínimo (como ya se vio en el capítulo 5).

Se obtenía la fórmula de determinación del lote económico:

$$Q_e = \sqrt{\frac{2GS}{uT}}$$

Donde, en la fabricación de un componente:  $G$  representa el coste de preparación (coste del tiempo empleado tanto de la máquina como del preparador),  $S$  el consumo anual,  $u$  el coste directo (material, mano de obra directa, gastos generales variables y amortización) y  $T$  la tasa de posesión de stocks en tanto por uno.

Nuestro sistema tradicional de programación asumía solamente un tipo de tamaño de lote que debería ser el mismo para todas las operaciones del proceso del producto, y ello es precisamente la causa de innumerables problemas de programación.

En el ejemplo siguiente podríamos preguntarnos cuál es el tamaño de lote correcto puesto que el que resultaría de aplicar la fórmula a cada una de las cuatro operaciones daría resultados diferentes.

	Tiempo de cambio (minutos)	Tiempo de proceso/pieza (minutos)
Operación 1. <sup>a</sup>	50	4
↓		
Operación 2. <sup>a</sup>	—	1
↓		
Operación 3. <sup>a</sup>	100	1
↓		
Operación 4. <sup>a</sup>	200	6

Así pues, lo anteriormente comentado nos lleva a las siguientes reglas:

- **Regla 5.<sup>a</sup>:** El lote de transferencia («transfer batch») en muchas ocasiones puede no ser igual al lote procesado («process batch»).
- **Regla 6.<sup>a</sup>:** El tamaño del «process batch» no tiene por qué ser constante en todas las operaciones.

De hecho, es lo que ya se hacía en Faessa Internacional<sup>1</sup>, empresa del grupo Valeo (multinacional del sector auxiliar del automóvil) en la que este autor trabajó como jefe de programación, lanzamiento y control de producción, donde, cuando el tamaño del lote era grande, se subdividía en pequeños lotes y se transfería a las siguientes operaciones para así evitar ocupar grandes espacios en la planta, a la vez que se conseguía que se pudiera iniciar antes el montaje del producto en el que esta pieza se incorporaba.

## 9.2.4. Prioridades

Otra costumbre que debe ser cambiada es el método tradicional de determinar prioridades.

Nuestra lógica de programación nos dice que el componente que requiere más tiempo para ser fabricado debe ser realizado el primero.

El MRP genera programaciones en este sentido. Una vez que las programaciones están establecidas, comprobamos si hay capacidad suficiente en cada momento para poder llevarlas a cabo, pero no se comprueba la interacción de prioridad y capacidad a lo largo del proceso.

El problema generado al proceder así puede ser ilustrado con el ejemplo de la figura 9.2.

Según la lógica MRP el componente *A* requiere más tiempo para ser fabricado y debe ser realizado el primero, con ello el montaje no podría realizarse antes de la hora 41, mien-

<sup>1</sup> Faessa Internacional fabricaba faros, calefactores, aire acondicionado, filtros, escobillas limpia-parabrisas, motores eléctricos...

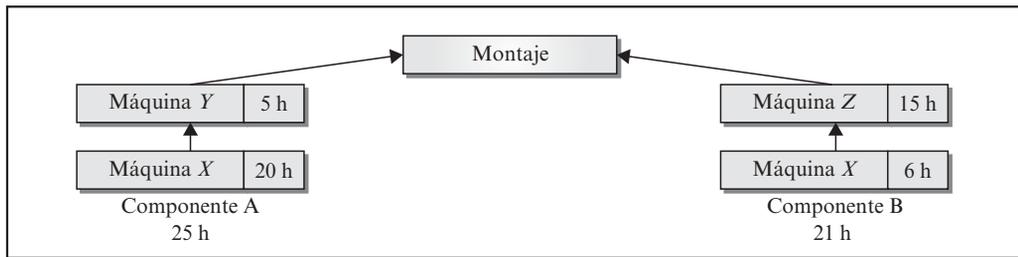


Figura 9.2. Prioridad en la fabricación de A y B.

tras que, si se programa al revés, el montaje podría iniciarse en la hora 31 como puede verse en el diagrama de Gannt de la figura 9.3.

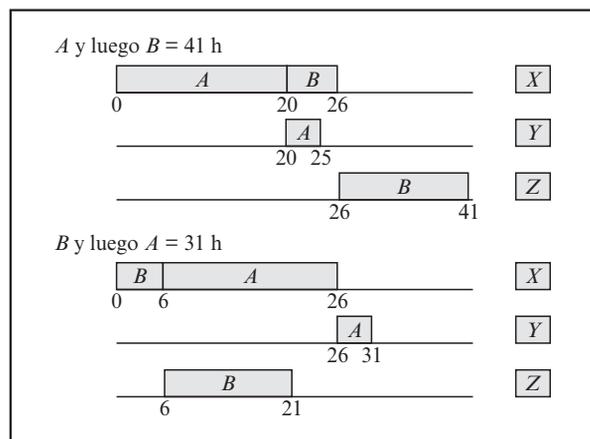


Figura 9.3. Diagrama de Gannt.

Esto nos lleva a la siguiente regla:

- **Regla 7.<sup>a</sup>:** La capacidad y la prioridad deben ser consideradas simultáneamente y no secuencialmente.

## 9.2.5. Incertidumbre

Ocasionada por la variabilidad en la ejecución de los trabajos. Podemos verlo con un ejemplo:

- Programación semanal: 4 unidades.
- Tiempo medio por unidad: 10 horas.

Si los dos operarios que trabajan respectivamente en las máquinas *A* y *B* fueran perfectos en el sentido de que no hubiera variabilidad en lo que tardan en realizar cada una de las piezas, en la hora 50 las 4 piezas estarían acabadas (1.º diagrama de la figura 9.4).

Pero si el operario de la máquina *A* fuera variable en su actividad, como puede verse en el 2.º diagrama, las piezas quedarían acabadas en la hora 54.

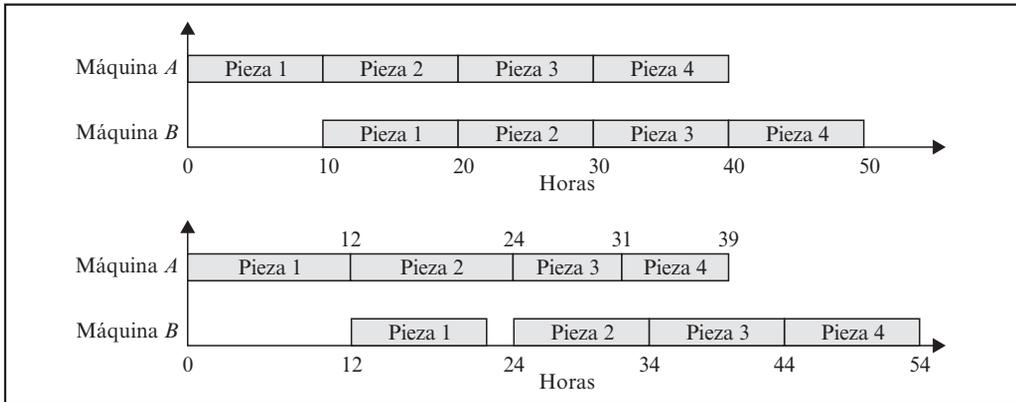


Figura 9.4. Diagrama de incertidumbre.

— **Regla 8.<sup>a</sup>**: No debe equilibrarse la capacidad, sino el flujo de producción.

No equilibrar los procesos, de tal forma que los imprevistos puedan ser absorbidos haciendo uso de las holguras existentes.

## 9.2.6. La contabilidad de costes y el balance de la planta de fabricación

El mayor enemigo de una correcta programación es la contabilidad de costes o, más específicamente, el uso equivocado de la información de la contabilidad de costes como herramienta de medida de los resultados.

El uso de la eficiencia en la contabilidad de costes nos lleva a intentar nivelar la capacidad de la planta, esto no es fácil en cuanto a las máquinas que no pueden ser alquiladas cuando se desea o hacerlas desaparecer así como así, y por ello la atención se centra en los trabajadores que constantemente son contratados temporalmente, o bien rescindidos sus contratos, en función de la demanda del mercado.

La filosofía del OPT dice que nunca se debe intentar nivelar la planta.

Lo indeseable de la nivelación de una planta pudo ser probado matemáticamente por Goldratt, quien demostró que, aunque los gastos de la mano de obra decrecen, no por ello se consigue el mejor resultado, pues para ello se requiere simultáneamente incrementar la velocidad del flujo y disminuir los stocks.

Esto nos lleva a las reglas siguientes:

- **Regla 9.ª:** La capacidad de la planta no debe ser nivelada.
- **Regla 10.ª:** La suma de óptimos independientes no es igual al óptimo del conjunto.

### 9.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL OPT

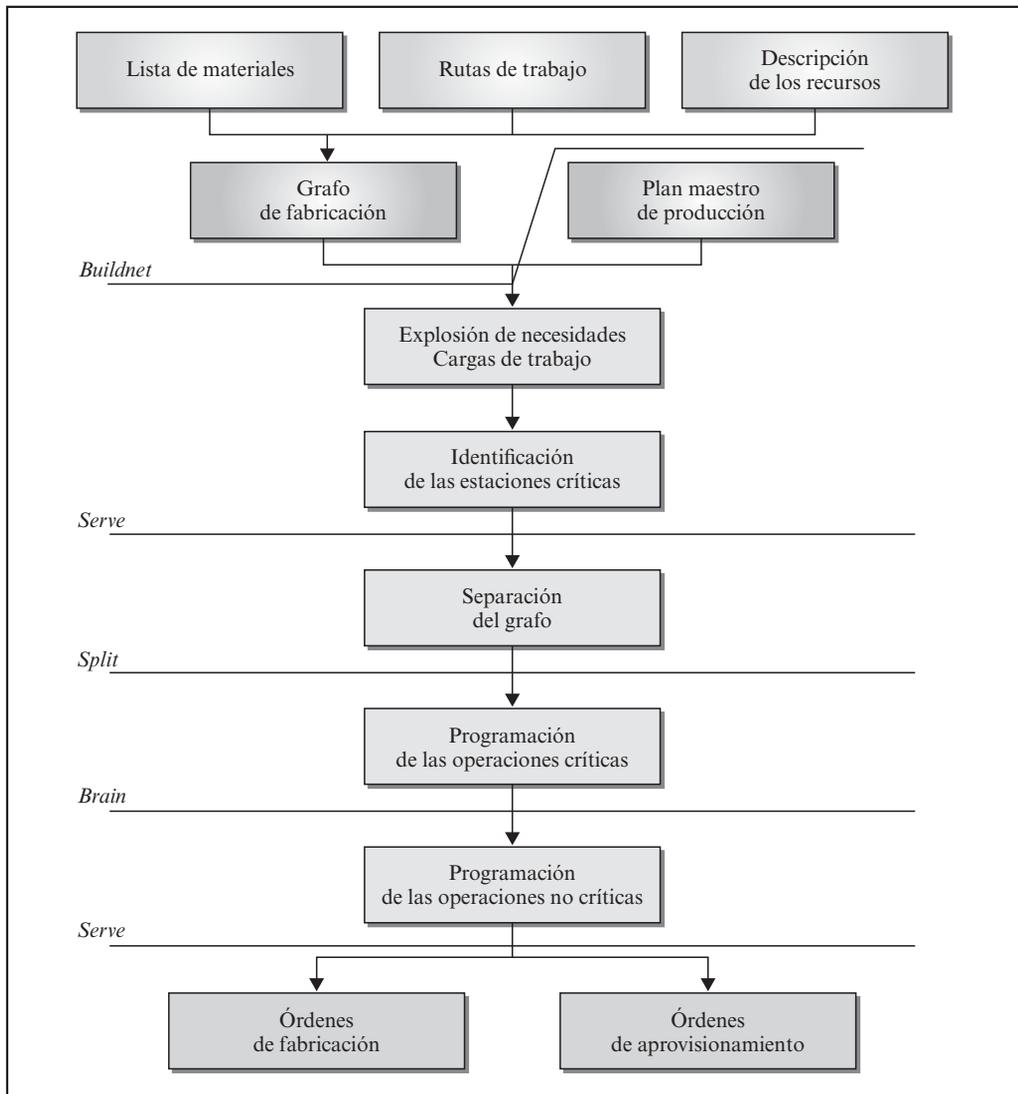


Figura 9.5. Diagrama de flujo del OPT.

## 9.4. MODELO DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El modelo es esencialmente una red en la que se muestra la interrelación entre los recursos (hombres, máquinas, herramientas, etc.), pedidos de clientes, productos y materias primas.

La figura 9.6 representa el modelo de una planta de fabricación.

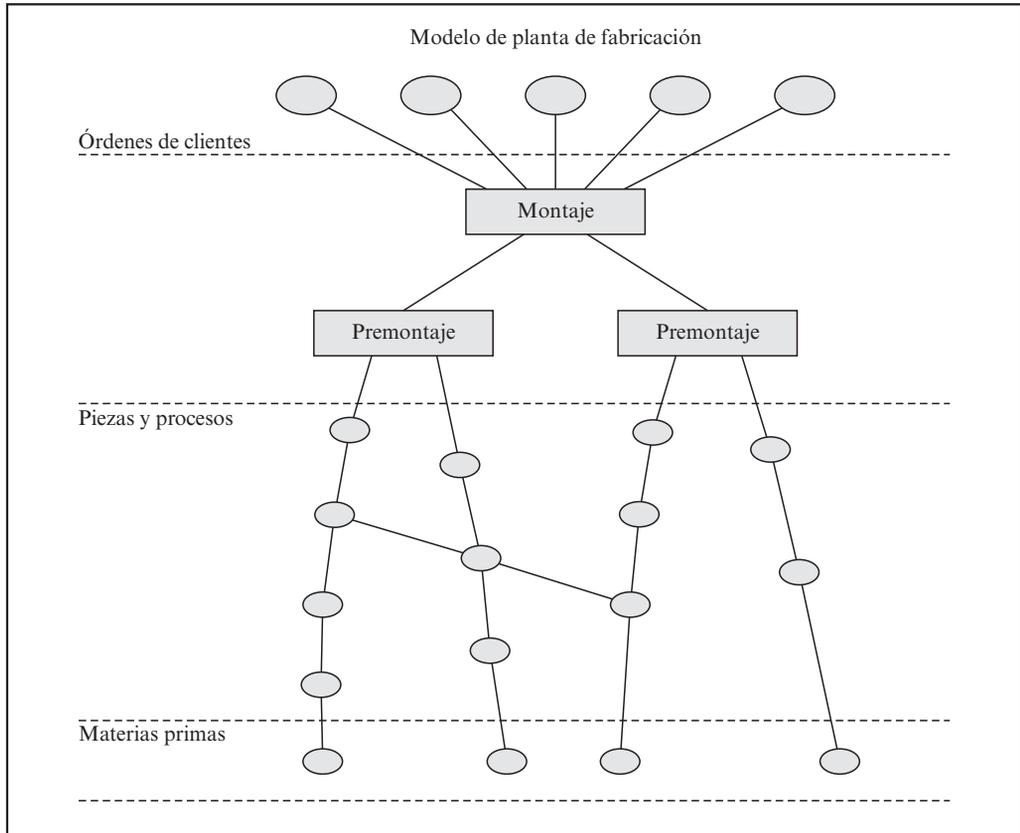


Figura 9.6. Modelo de una planta de fabricación.

### 9.4.1. Modelo inicial

La creación del modelo inicial de recursos de fabricación se realiza partiendo de los datos normalmente disponibles en los ficheros de un sistema informatizado tales como listas de materiales, procesos de fabricación, pedidos, stocks, tiempos de cambios de prepara-

ción, tiempos de proceso, etc. Todo ello es introducido en un módulo del sistema OPT llamado «**BUILDNET**» que es el que crea el modelo inicial.

El *buildnet* también descubre y destaca los errores en los datos para su corrección, tales como piezas que no indican su referencia, o pedidos de productos que no existen.

## 9.4.2. Búsqueda de los cuellos de botella

Es el paso siguiente: un proceso interactivo que comienza haciendo funcionar la red inicial a través de un módulo de OPT llamado «**SERVE**», que es una réplica del MRP. Uno de los *outputs* del SERVE es un perfil de carga para cada uno de los recursos.

Estos perfiles son los típicos que resultan del sistema MRP.

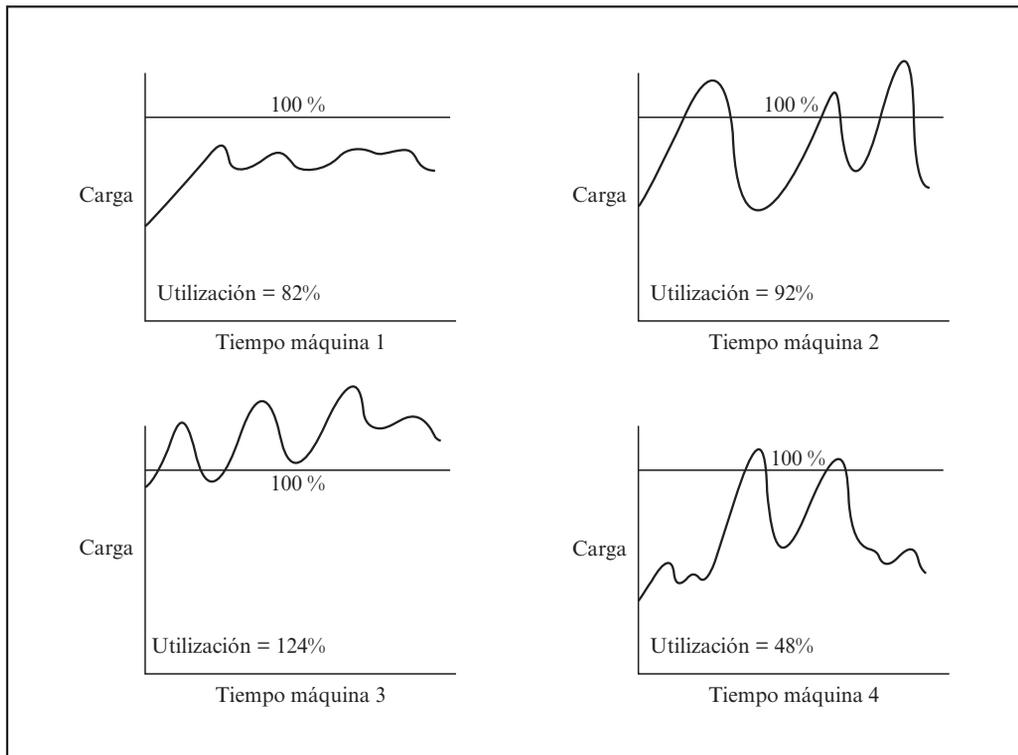


Figura 9.7. Perfiles de carga.

Además del perfil, se calcula la utilización media de cada recurso. Estos recursos son entonces secuenciados en orden de su utilización. Si nuestros datos son correctos, el recurso que esté arriba de la lista debería claramente ser un cuello de botella.

Desafortunadamente, es usual que los datos no sean correctos, y por ello en los que dan lugar a cuellos de botella son en los que hemos de tener la seguridad de que lo son, inclusive por comprobación in situ. Debería verse a continuación la posibilidad de pasar ciertos trabajos a otras máquinas aunque fueran algo más lentas.

De nuevo se hace funcionar el sistema haciendo una nueva evaluación de la utilización de cada recurso y ordenando del más cargado al que menos.

### 9.4.3. Programación de la planta

Una vez que un cuello de botella es identificado, la red se divide en dos partes: la de recursos críticos y la de recursos no críticos, tal como se muestra en la figura 9.8. Esta división de la red es hecha por otro módulo del OPT llamado «SPLIT».

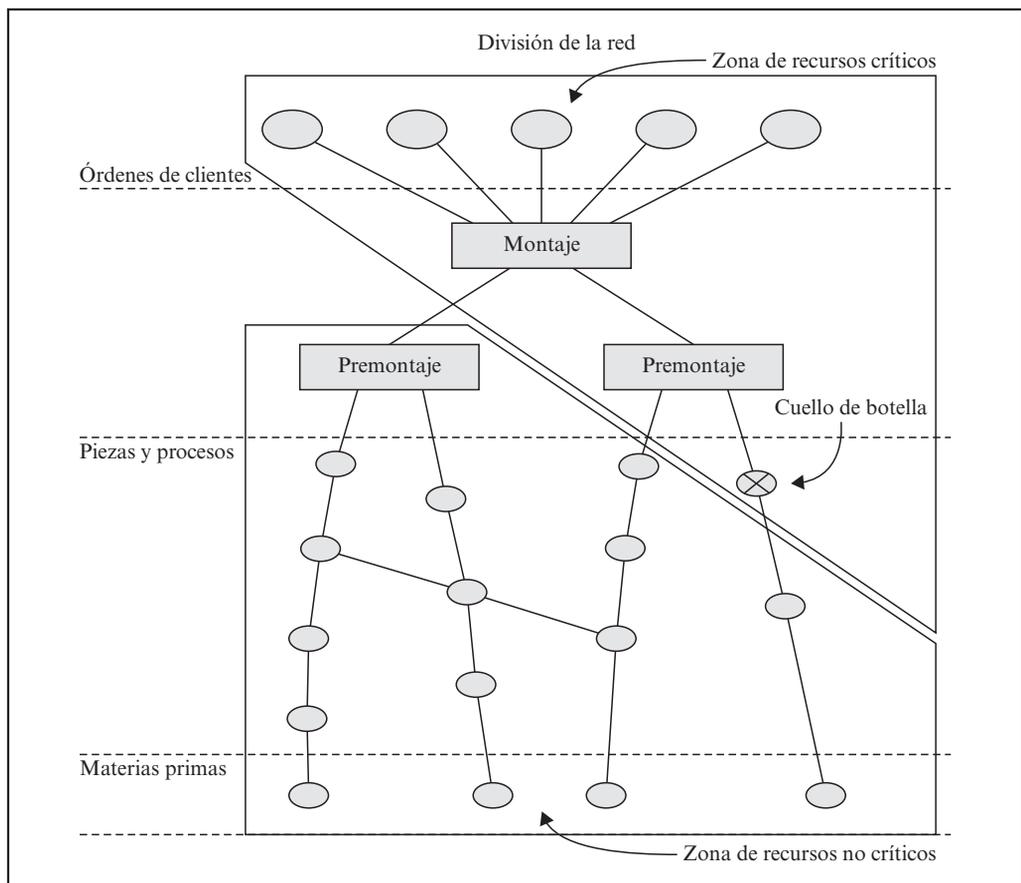


Figura 9.8. División de la red en recursos críticos y no críticos.

- La zona de recursos críticos es programada usando el módulo llamado «**BRAIN**», y la otra con el módulo «**SERVE**».
- El módulo **BRAIN** (cerebro del OPT) contiene el algoritmo del doctor Goldratt que genera programaciones óptimas para esta porción de la red.
- Este módulo, además, determina el tamaño del lote a procesar y el tamaño del lote de transferencia, con lo que se maximiza el flujo en la operación cuello de botella y al mismo tiempo mantiene un flujo sincronizado de las diferentes piezas para asegurar el correcto «mix» de partes que debe ser producido.
- El output del módulo **BRAIN** es el *input* del módulo **SERVE** para los recursos no críticos, el cual opera como el MRP, pero con la diferencia de que este último se aplica a todos los recursos en conjunto tanto críticos como no, considerando que la capacidad es ilimitada, lo cual no es cierto y de ahí sus fallos.

En la figura 9.9 puede verse un ejemplo para comparar OPT con el MRP tradicional.

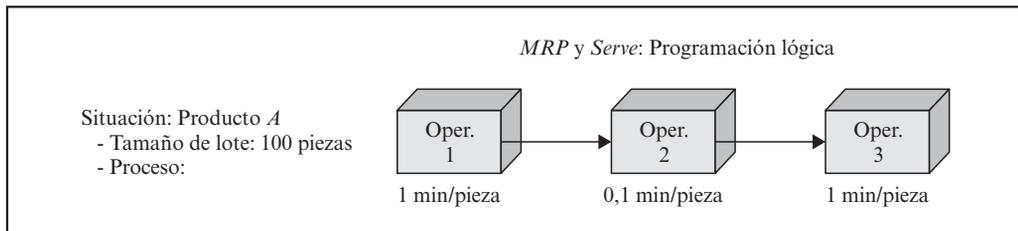


Figura 9.9. Ejemplo para comparar OPT con MRP.

En la figura 9.10 puede verse, mediante el ejemplo anterior, cómo funcionan los lotes de transferencia que permiten aumentar notablemente la velocidad de flujo en el OPT, en comparación con el MRP tradicional.

En el ejemplo se considera que cuando se han fabricado las primeras 300 piezas de la operación 1 éstas se transfieren a la operación 2 y que cuando aquí se han fabricado las 100 primeras se transfieren a la operación 3, con lo cual la operación 3 empieza a realizarse a los 310 minutos del inicio de la operación 1 y, puesto que la operación 3 realizará el trabajo con continuidad, finalizará totalmente en el minuto 1.310, que, como puede verse, es mucho antes que si no se hubiese utilizado el lote de transferencia.

#### 9.4.4 Protección de la programación mediante la creación de stocks de seguridad

Otra faceta importante del OPT es que localiza la situación adecuada de los stocks de seguridad a lo largo del sistema para evitar fallos en la programación realizada.

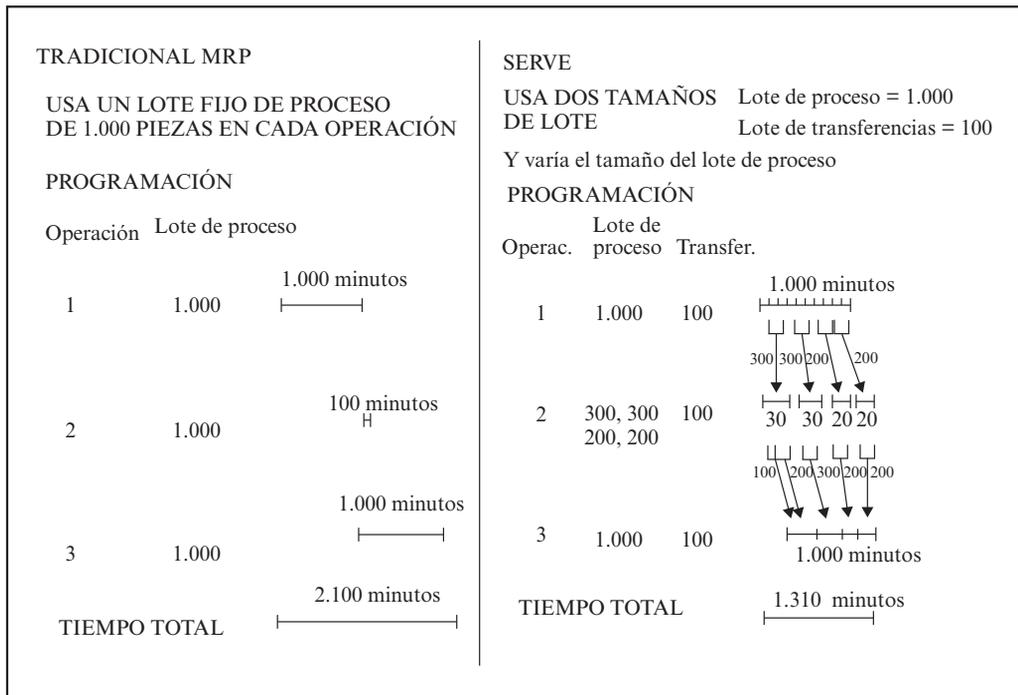


Figura 9.10. Ventajas del OPT respecto al MRP tradicional debido al empleo de los lotes de transferencia.

En la figura 9.11 puede verse que los stocks de seguridad están delante de los cuellos de botella y en la intersección de las dos zonas de la red.

## 9.5. EL OPT INCREMENTA LA PRODUCTIVIDAD

Con el OPT se pueden generar programaciones que cumplen con los tres criterios de una buena programación:

- Genera el máximo flujo con el menor stock para unos gastos de fabricación determinados.
- Realismo de la programación generada que pueda ser analizada por el supervisor de la línea y ver que ésta es factible.
- A salvo de imprevistos mediante stocks de seguridad y capacidad de seguridad en puntos estratégicos.

Las tres limitaciones de OPT (véase figura 9.12) son: materiales, capacidad y política de gestión.

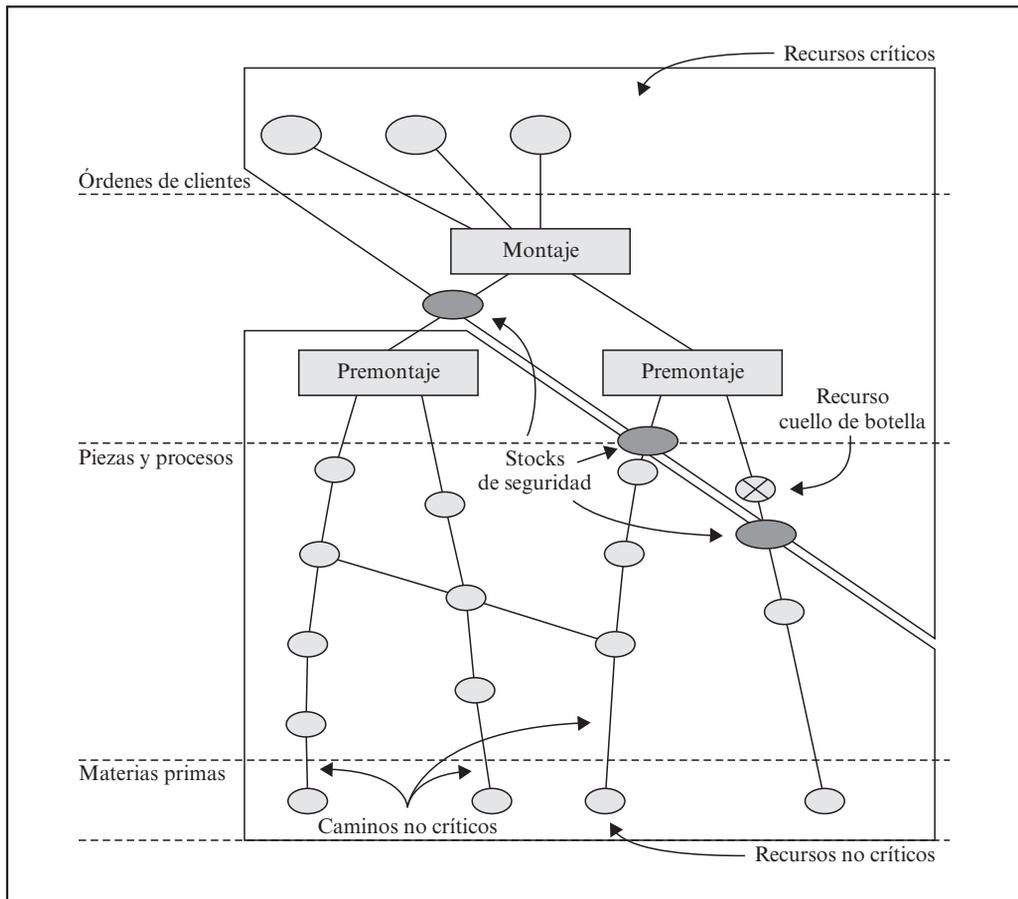


Figura 9.11. Situación de los stocks de seguridad.

- Materiales: ¿Hay alguna limitación en las entregas? Si es así, ¿cuáles son los plazos de entrega con los que debemos contar?
- Capacidad: Aunque ésta pueda ser cambiada en ocasiones en algún momento, será una limitación con la que se ha de contar.
- Política de gestión: Si se desea tener un bajo coste de producción, un parámetro puede ser cambiado para minimizar los cambios de preparación a costa de los plazos de entrega, o bien al contrario si el servicio al cliente es crucial.

Una vez determinadas estas limitaciones, OPT generará la mejor programación, es decir, generará con ella el máximo flujo, con los mínimos stocks partiendo de los recursos disponibles.

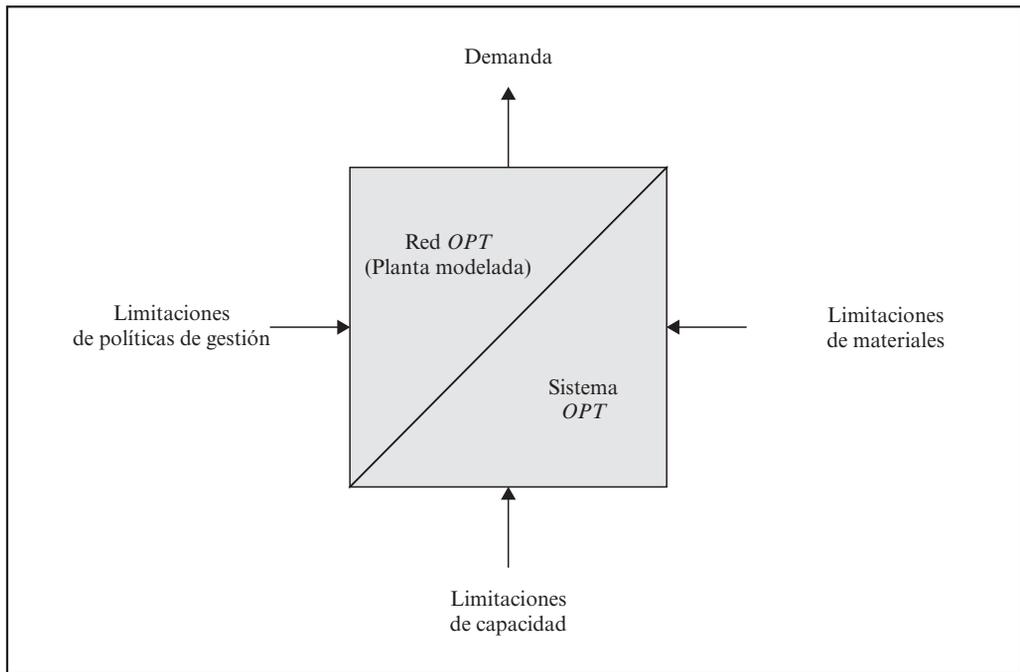


Figura 9.12. Las tres limitaciones del OPT.

Si el flujo no es aceptable, entonces con objeto de incrementarlo se habrá de alterar alguna de las limitaciones.

Si una máquina es un cuello de botella, se puede decidir hacerla trabajar más turnos o hacer otro tipo de cambio con el cual incrementar su capacidad en una operación determinada; esta información es facilitada al modelo, el cual nos dará a conocer el flujo, stocks y la programación detallada, con lo que se podrá ver si con ello se ha conseguido una mejora.

Consideraciones finales:

- Las realidades de la fabricación pueden ser modeladas, representando las condiciones e interacciones que son críticas para la programación de la producción.
- El algoritmo del doctor Goldratt (que es el cerebro del OPT) es realmente mejor que otros.
- El sistema de costes tradicional es un enemigo de la productividad y necesita ser sustituido por los conceptos del OPT, el cual enfoca la optimización del sistema en su conjunto, más que la optimización de las partes.

## RESUMEN

1. EL sistema OPT de programación de producción fue inventado en Israel cuando los hermanos E. Goldratt y I. Pazgal, físico e informático, respectivamente, intentaban aplicar el ordenador para la programación de producción, pero fue desarrollado extensivamente en Estados Unidos, a partir de 1980, partiendo de un concepto matemático y un enfoque nuevo de la realidad de la fabricación.
2. OPT, al igual que el kanban, está enfocado a reducir inventarios e identificar cuellos de botella, y los impactos de diversas alternativas pueden ser analizados con antelación sin crear problemas en la planta de producción.
3. Los ficheros convencionales (listas de materiales, hojas de ruta, centros de trabajo, etc.) típicamente utilizados en el MRP son convertidos en una red producto-proceso. Esta red llega a ser el modelo de fabricación, el cual describe cómo se hace un producto, la competición por los recursos y las interrelaciones entre los componentes que van al ensamblaje de un producto.
4. OPT identifica los recursos críticos o cuellos de botella mediante un sistema llamado SERVE y usa un algoritmo propio para programar estos recursos. Este algoritmo es el «cerebro» del OPT llamado BRAIN. Una vez que la programación óptima ha sido determinada de acuerdo con los recursos críticos, ésta es usada como input para los recursos no críticos. Estos recursos son programados usando el sistema llamado SERVE que es una réplica del MRP.
5. OPT identifica y descubre cuellos de botella y los programa para conseguir la maximización del flujo. Los recursos que no son cuellos de botella son programados ejecutando pequeños lotes y requerirán más cambios de preparación, pero se consigue un mejor «mix» de los componentes que circulan entre los centros de trabajo.
6. Los mayores obstáculos para incrementar la productividad son: cuellos de botella, cambios de preparación de máquina, tamaño de los lotes, prioridades, incertidumbres, la contabilidad de costes, el balance de la planta.
7. El incrementar la utilización de un recurso que no es cuello de botella no está determinado por su capacidad, sino por otras contracciones del sistema.
8. El mejor resultado se obtendrá programando todos los recursos que no son cuellos de botella, basándose en los que lo son.
9. Una hora perdida en un cuello de botella es una hora perdida para el total del sistema. Una hora ahorrada en un recurso que no es cuello de botella es un espejismo.
10. El lote de transferencia («transfer batch») en muchas ocasiones puede no ser igual al lote procesado («process batch»). El tamaño del «process batch» no tiene por qué ser constante en todas las operaciones.
11. Para programar operaciones la capacidad y la prioridad deben ser consideradas simultáneamente y no secuencialmente.
12. No debe equilibrarse la capacidad, sino el flujo de producción; los procesos no deben estar equilibrados, de tal forma que los imprevistos puedan ser absorbidos haciendo uso de las holguras existentes.
13. La creación del modelo inicial de recursos de fabricación se realiza partiendo de los datos normalmente disponibles en los ficheros de un sistema informatizado tales como listas de materiales, procesos de fabricación, pedidos, stocks, tiempos de cambios de preparación, tiempos de proceso, etc.; todo ello es introducido en un módulo del sistema OPT llamado «BUILD-NET» que es el que crea el modelo inicial.
14. La búsqueda de los cuellos de botella se realiza haciendo funcionar la red inicial a través de un módulo de OPT llamado «SERVE» que es una réplica del MRP.

- Uno de los outputs del SERVE es un perfil de carga para cada uno de los recursos.
15. Una vez que un cuello de botella es identificado, la red se divide en dos partes: la de recursos críticos y la de recursos no críticos. Esta división de la red es hecha por otro módulo del OPT llamado «SPLIT».
  16. La zona de recursos críticos es programada usando el módulo llamado «BRAIN», y la otra con el módulo «SERVE». El módulo BRAIN (cerebro del OPT) contiene el algoritmo del doctor Goldratt que genera programaciones óptimas para esta porción de la red. Este módulo además determina el tamaño del lote a procesar y el tamaño del lote de transferencia, con lo que se maximiza el flujo en la operación cuello de botella y al mismo tiempo mantiene un flujo sincronizado de las diferentes piezas para asegurar el correcto «mix» de partes que debe ser producido.
  17. El output del módulo BRAIN es el input del módulo SERVE para los recursos no críticos, el cual opera como el MRP, pero con la diferencia de que este último se aplica a todos los recursos en conjunto tanto críticos como no, considerando que la capacidad es ilimitada, lo cual no es cierto y de ahí sus fallos.
  18. Otra faceta importante del OPT es que localiza la situación adecuada de los stocks de seguridad a lo largo del sistema para evitar fallos en la programación realizada, situándolos delante de los cuellos de botella y en la intersección de las dos zonas de la red.

## CUESTIONES

1. Describir en qué consiste el OPT y a qué está enfocado.
2. ¿De qué información se parte para crear el modelo de fabricación (red producto-proceso)?
3. ¿Qué módulo del OPT identifica los cuellos de botella?
4. ¿Qué módulo del OPT programa los cuellos de botella y con qué objetivo?
5. ¿Cuándo se programan los recursos que no son críticos y mediante qué módulo?
6. Enumerar los obstáculos que impiden el incremento de la productividad.
7. Diferencia entre ahorrar una hora en un recurso que es un cuello de botella de hacerlo en uno que no lo es.
8. ¿Qué ventajas tiene utilizar diferentes tamaños de proceso y de transferencia?
9. ¿Es prioritario equilibrar los procesos?
10. Dibujar y describir el diagrama de flujo del OPT.
11. Calcular, mediante la utilización de un diagrama de Gannt, el plazo de entrega cuando se utilizan lotes de transferencia respecto a cuando no se utilizan, aplicado al siguiente caso: Fabricación de un lote de 1.000 piezas cuyo proceso consta de tres operaciones de duraciones unitarias respectivas: 1 min, 0,1 min, 1 min. Lote de transferencia: 100.

## RESPUESTAS A LAS CUESTIONES

1. El OPT representa una nueva tecnología, la cual no solamente produce programaciones óptimas, sino también provee de importantes nuevos conocimientos de la complejidad de las operaciones de fabricación. Está enfocado a reducir inventarios e identificar cuellos de botella y, al ser un sistema computarizado, los cuellos de botella y los impactos de diversas alternativas pueden ser analizados con antelación sin crear problemas en la planta de producción.
2. De los ficheros convencionales (listas de materiales, hojas de ruta, centros de trabajo, etc.) típicamente utilizados en el MRP, el modelo describe cómo se hace un producto, la competición por los recursos y las interrelaciones entre los componentes que van al ensamblaje de un producto.
3. OPT identifica los recursos críticos o cuellos de botella mediante el sistema SERVE.
4. Con un algoritmo propio que es el «cerebro» del OPT llamado BRAIN y con el objetivo de conseguir la maximización del flujo.
5. Una vez que la programación óptima ha sido determinada de acuerdo con los recursos críticos, ésta es usada como *input* para los recursos no críticos. Estos recursos son programados usando un sistema llamado SERVE que es una réplica del MRP.

6. Cuellos de botella, cambios de preparación de máquina, tamaño de los lotes, prioridades, incertidumbres, la contabilidad de costes y el balance de la planta.
7. En un recurso cuello de botella, una hora ahorrada de cambios de preparación es una hora ganada para fabricar, equivalente a un incremento del flujo en una hora. En un recurso no cuello de botella significaría, sin embargo, una hora más de desocupación del recurso.
8. Se consigue, además de disminuir stocks en curso una mayor velocidad de flujo y por tanto unos plazos de finalización menores.
9. No conviene equilibrar los procesos, sino el flujo, de tal forma que los imprevistos puedan ser absorbidos haciendo uso de las holguras existentes.
10. Véase apartado 9.3.
11. Véase figura 9.10.



# Bibliografía

- Aguer, M. y Pérez, E. (2010): *Manual de administración y dirección de empresas*. Madrid: Ramón Areces.
- Chapman, S. (2006): *Planificación y control de la producción*. México: Pearson.
- Chase, Richard B. (2002): *Manual de operaciones de manufactura y servicios*. Madrid: McGraw-Hill.
- Chase, Richard B. (2009): *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministro*. Madrid: McGraw-Hill.
- Chase, Richard B. y Aquilano, N. J. (2009): *Gestión de la producción y dirección de operaciones*. Madrid: McGraw-Hill.
- Cidem (2003): *Producció i logística*. Barcelona: Cidem.
- Companys R. y Corominas, A. (1998): *Organización de la producción I; Diseño de sistemas productivos 2*. Barcelona: UPC.
- Companys, R. (1999): *Planificación y programación de la producción*. Barcelona: Marcombo.
- Cuatrecasas, Ll. (2006): *Claves del Lean management: un enfoque para la alta competitividad en un mundo globalizado*. Barcelona: Gestión 2000.
- Cuatrecasas, Ll. (2008): *Organización de la producción y dirección de operaciones*. Madrid: Ramón Areces.
- Cuatrecasas, Ll. (2008): *Modelos de gestión de los procesos de producción*. Barcelona: Instituto de producción ajustada.
- Dominguez Machuca, J. A. y García, G. S. (1995): *Dirección de operaciones: Aspectos tácticos y operativos*. Madrid: McGraw-Hill.
- Factory management journal (1992): *Producción con mezcla de modelos*. Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción.
- Fraxanet de Simón, M. (1993): *Organización y gestión de la producción: Hispano Europea*.
- Galgano, A. (2004): *Las tres revoluciones: caza del desperdicio: doblar la productividad con la «Lean Production»*. Madrid: Díaz de Santos.
- Larrañeta J., Onieva L. y Lozano, S. (1998): *Métodos modernos de gestión de la producción*. Madrid: Alianza Editorial.
- Meredith, J. (1999): *Administración de operaciones: un énfasis conceptual*, México: LimusaWiley.
- Meredith, J. (2002): *Administración de operaciones*. México: Limusa Wiley.

## Bibliografía

- Miranda, F. J., Rubio, S., Chamorro, A. y Bañeguil, T. (2005): *Manual de dirección de operaciones*. Madrid: Thomson.
- Mize, J., White, Ch. y Brooks, G. (1992): *Planificación y control de operaciones*. Madrid: Prentice-Hall International.
- Monden, Y. (1988): *El Sistema de producción de Toyota*. Barcelona: Price Waterhouse, IESE.
- Monden, Y. (2007): *El just in time hoy en Toyota*. Bilbao: Deusto.
- Rambaux, A. (1988): *Gestión de economía de los stocks*. París: Dunod.
- SAP (2012): *Módulos de aplicación: Wikipedia*.
- Serrano Cinca (2011): *El comercio electrónico en los departamentos de una empresa*, 5campus.org. SIC.
- Sixto Rios Insua (1996): *Investigación operativa, programación lineal y aplicaciones*. Madrid: Ramón Areces.
- Stephen N. Chapman (2006): *Planificación y control de la producción*. México: Pearson Educación.
- Suñé, A., Gil, F. y Arcusa, I. (2010): *Manual práctico de diseño de sistemas productivos*. Madrid: Díaz de Santos.
- Velasco, J. (1987): *Tesis doctoral*. Barcelona: UPC.
- Velasco, J. (2010): *Organización de la producción, distribuciones en planta y mejora de los métodos y los tiempos*. Madrid: Pirámide.
- Velasco, J. (2011): *Gestión de la calidad, mejora continua y sistemas de gestión*. Madrid: Pirámide.
- Velasco, J. (2013): *Gestión de la logística en la empresa. Planificación de la cadena de suministro*. Madrid: Pirámide.











## TÍTULOS RELACIONADOS

- ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, *M.<sup>a</sup> J. Hernández Ortiz (coord.)*.
- ADMINISTRACIÓN DE ORGANIZACIONES EN EL ENTORNO ACTUAL, *A. A. Aguirre Sádaba, A. M.<sup>a</sup> Castillo Clavero y D. Tous Zamora*.
- CASOS PRÁCTICOS DE ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS, *A. M.<sup>a</sup> Castillo Clavero, I. M.<sup>a</sup> Abad Guerrero y M.<sup>a</sup> Á. Rastrullo Horrillo*.
- CASOS PRÁCTICOS DE ADMINISTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE EMPRESAS, *M.<sup>a</sup> J. Hernández Ortiz (coord.)*.
- CREACIÓN DE EMPRESAS (2 VOLS.), *J. A. Jiménez Quintero (coord.)*.
- DECISIONES EMPRESARIALES CON HOJA DE CÁLCULO, *D. Villalba Vilá y Y. Bueno Hernández*.
- DIRECCIÓN ESTRATÉGICA (2 VOLS.), *J. A. Jiménez Quintero*.
- DIRECCIÓN DE EMPRESAS, *A. M.<sup>a</sup> Castillo Clavero e I. M.<sup>a</sup> Abad Guerrero*.
- DIRECCIÓN ESTRATÉGICA. Desarrollo de la estrategia y análisis de casos, *E. Bueno Campos, M.<sup>a</sup> P. Salmador Sánchez, C. Merino Moreno y J. I. Martín Castilla*.
- DIRECCIÓN ESTRATÉGICA. Nuevas perspectivas teóricas, *E. Bueno Campos, P. Morcillo Ortega y M.<sup>a</sup> P. Salmador Sánchez*.
- DIRECCIÓN ESTRATÉGICA DE LOS RECURSOS HUMANOS. Teoría y práctica, *E. Albizu y J. Landeta (coords.)*.
- DIRECCIÓN Y ORGANIZACIÓN DE EMPRESAS TURÍSTICAS, *M.<sup>a</sup> Á. Gallego Águeda y C. Casanueva Rocha*.
- ECONOMÍA DE LA EMPRESA, *C. Barroso Castro (coord.)*.
- EMPRESAS Y ORGANIZACIONES TURÍSTICAS, *C. Casanueva Rocha y M.<sup>a</sup> A. Gallego Águeda*.
- ESTRATEGIA Y POLÍTICA DE EMPRESA. Lecturas, *S. Garrido Buj y J. M. Rodríguez Carrasco*.
- FUNDAMENTOS DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, *Ó. Gutiérrez Aragón*.
- FUNDAMENTOS DE DIRECCIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, *M.<sup>a</sup> del M. Fuentes Fuentes y E. Cordon Pozo*.
- GESTIÓN DE PROYECTOS EN LA EMPRESA. Planificación, programación y control, *J. Velasco Sánchez y J. A. Campins Masriera*.
- GESTIÓN DE LA CALIDAD. Mejora continua y sistemas de gestión, *J. Velasco Sánchez*.
- GESTIÓN DE LA CALIDAD EMPRESARIAL. Fundamentos e implantación, *F. J. Lloréns Montes y M.<sup>a</sup> del M. Fuentes Fuentes*.
- GESTIÓN DE LA CALIDAD Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL. Fundamentos, herramientas, normas ISO y relaciones, *E. Claver Cortés, J. F. Molina Azorín y J. J. Tari Guilló*.
- GESTIÓN DE LA FORMACIÓN EN LA EMPRESA, *M.<sup>a</sup> P. Andrés Reina*.
- GESTIÓN DE LA LOGÍSTICA EN LA EMPRESA. Planificación de la cadena de suministros, *J. Velasco Sánchez*.
- LA GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN Y LA TECNOLOGÍA EN LAS ORGANIZACIONES, *A. Hidalgo Nuchera, G. León Serrano y J. Pavón Morote*.
- LA GESTIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN LA EMPRESA. Teoría y práctica, *S. J. Arjonilla Domínguez y J. A. Medina Garrido*.
- MEJORANDO LA PRODUCCIÓN CON LEAN THINKING, *J. Santos, R. A. Wysk y J. M. Torres*.
- ORGANIZACIÓN DE EMPRESAS. Estructura, procesos y modelos, *E. Bueno Campos*.
- ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN. Distribuciones en planta y mejora de los métodos y los tiempos, *J. Velasco Sánchez*.
- PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE GESTIÓN DE EMPRESAS, *F. J. González Domínguez y J. Ganaza Vargas (coords.)*.

Si lo desea, en nuestra página web puede consultar el catálogo completo o descargarlo: