

4.1.3.7 Gestión de las modificaciones

Una de las dificultades de la gestión de la lista de materiales es la de garantizar convenientemente la incorporación de las modificaciones. Las modificaciones de definición pueden tener diversas causas, pero la decisión de introducirlas sólo debería tomarse después de analizar las consecuencias en los diferentes departamentos afectados mediante un proceso formalizado. Una de las consecuencias de las modificaciones es la de que los componentes de un mismo producto varían a lo largo del tiempo (conservando a veces el mismo nombre) y es conveniente seguir unas reglas bien estructuradas para saber cuándo un artículo debe cambiar su clave y cuándo no. La base de las reglas suele consistir en que si el artículo *Y* y el artículo *Z* no pueden utilizarse en todas las circunstancias, el uno en lugar del otro, deben tener claves distintas. Cualquier intento de no seguir este principio difiere el problema pero no lo resuelve (el principio contrario también es conocido, sólo se pueden distinguir administrativamente dos artículos cuya clave es diferente).

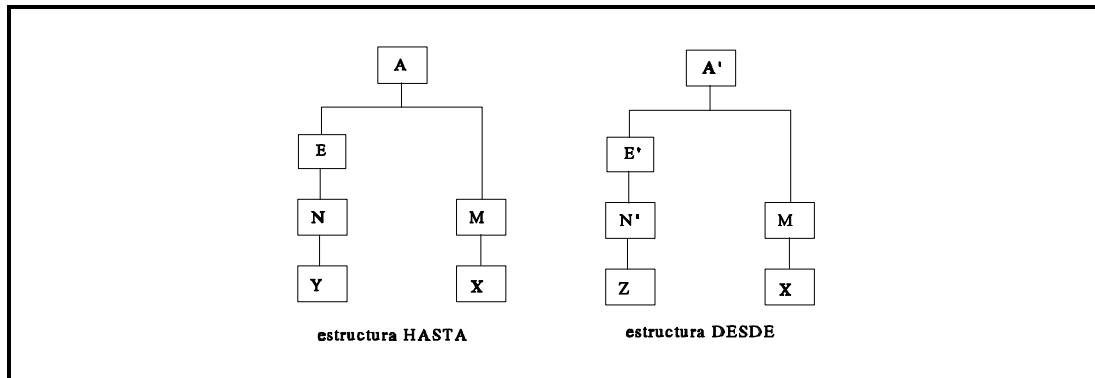


Fig. 4.1.3.53 Estructura del artículo antes y después de la modificación

A nivel de componente elemental la cuestión es muy sencilla y fácil de dirimir examinando dos aspectos: ¿puede montarse el artículo *Z* donde se halla habitualmente el artículo *Y*?; ¿para el uso esperado las funciones que realiza *Z* son idénticas a las realizadas por *Y*? Si la respuesta a ambas cuestiones es afirmativa, sólo la forma de obtener *Y* y *Z* puede ser diferente; si es preciso indicar el cambio, un índice, llamado de modificación menor añadido a la clave ser suficiente para distinguir el artículo en las operaciones de fabricación o de aprovisionamiento. Conviene examinar también qué sucede con los conjuntos que contenían *Y*, y veamos los casos:

- *Y* y *Z* son sustituibles: llevan el mismo código salvo el índice de modificación menor. También *N* y *N'* serán sustituibles, y *E* y *E'*, etc. Puede ser útil introducir una variación en el índice de modificación menor de *N*, *E* y *A*, si se desea guardar traza de la modificación por motivos de servicio post-venta (industria aeronáutica, de armamento, etc.) pero en muchas ocasiones se conservará la clave sin alteración.

clave Y =	A	B	4	5	1	8	0	3
	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3
clave Z =	A	B	4	5	1	8	0	4
	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3
	clave principal						IM menor	

Fig. 4.1.3.54 Alteración en el índice de modificación menor

- Y y Z no son sustituibles, tienen claves distintas. Si N y N' ya no son sustituibles, será indispensable en la práctica diferenciarlos, incluyendo en la clave una variación en un índice de modificación mayor. Así N y N' son diferentes en todas las fases de gestión de la producción (stocks, lanzamientos de órdenes, etc.) en la medida en que dicho índice acompañe siempre a la clave.

clave Y =	A	B	4	5	1	8	0	3
	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3
clave Z =	A	B	4	5	2	3	0	0
	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3
	clave principal						IM menor	

Fig. 4.1.3.55 Alteración en la clave principal

clave N =	A	B	1	2	6	1	0	0	0	1
	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3
clave N' =	A	B	1	2	6	1	0	1	0	0
	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3	3)3
	clave principal						IM mayor	IM menor		

Fig. 4.1.3.56 Alteración en el índice de modificación mayor

Si E y E' son sustituibles, lo que a partir de ahí seguirá ocurriendo en los niveles superiores de la estructura, nos encontramos de nuevo frente al problema del apartado anterior, hacer o no evolucionar el índice de modificación menor de E para facilitar el aprovisionamiento o el lanzamiento y la supervisión de la fabricación. En cuanto a la evolución del índice de A dependerá de los condicionantes de la post-venta (puede suceder que dos piezas o subconjuntos sean sustituibles en producción pero no en la asistencia post-venta). En las industrias con gran número de modificaciones en el producto, tales como la del automóvil, tanto por razones comerciales como organizativas es conveniente agrupar gran número de ellas en un momento determinado, por ejemplo, el del lanzamiento del *model-year*. Puesto que la lista de materiales se utiliza a fines gestionales, interesa que en ella estén descritos no sólo los productos que se están fabricando en un momento determinado, sino todos los que presumiblemente se fabricarán dentro del horizonte considerado. Por ello, además de las especificaciones hasta ahora indicadas de la lista de materiales, se añade la dimensión temporal para indicar los instantes desde y hasta de una cierta estructura y composición de los productos. Estos instantes pueden estar definidos por unas fechas concretas o por el número de la serie a partir de y hasta la que cierta composición es válida. Esta información figurará de preferencia en un fichero asociado al de enlaces en el que se referirán las modificaciones (de esta forma el retraso o adelanto en la introducción de una modificación se podrá poner en relación fácilmente con todos los enlaces afectados).

4.1.3.8 Variedad del producto terminado y estructura modular

Consideremos un fabricante de coches de turismo que en el catálogo de uno de sus modelos ofrece, para que los clientes elijan:

- 3 niveles de motorización (1.000 cc., 1.300 cc. y diesel)
- cambio de 4 y de 5 velocidades
- 3 tipos de acabado (normal, confort y lujo)
- 8 colores exteriores
- 4 colores interiores
- sin y con aire acondicionado
- sin y con radio
- sin y con alzacristales eléctrico
- sin y con cierre magnético

Por tanto existen potencialmente: $3 \times 2 \times 3 \times 8 \times 4 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 9.216$ versiones de este modelo, salvo incompatibilidades entre opciones (p.ej. entre colores exteriores e interiores, el aire acondicionado no se monta con el motor 1.000 cc., las 5 velocidades no existen

para el diesel, el alzacristales eléctrico sólo se monta en las versiones confort y lujo, etc.). El número de versiones potenciales puede ser, en algunos casos, muy superior a nuestro ejemplo; en la prensa con fines publicitarios, un fabricante aseguraba que su producto tenía 4 millones de variantes, y que era posible fabricar durante varios años todos los coches distintos. Es probable que algunas de las versiones potenciales nunca se llegaran a fabricar durante la vida del producto.

Cada una de las versiones debería ser cabecera (o vértice de nivel cero) en la lista de materiales, lo que comporta los correspondientes registros en la base de datos, tanto para las claves en sí como para los enlaces correspondientes. La construcción, y sobre todo el mantenimiento de este tipo de estructura, presentan dificultades muy importantes y además no habremos utilizado las propiedades intrínsecas de la combinatoria subyacente en el esquema anterior.

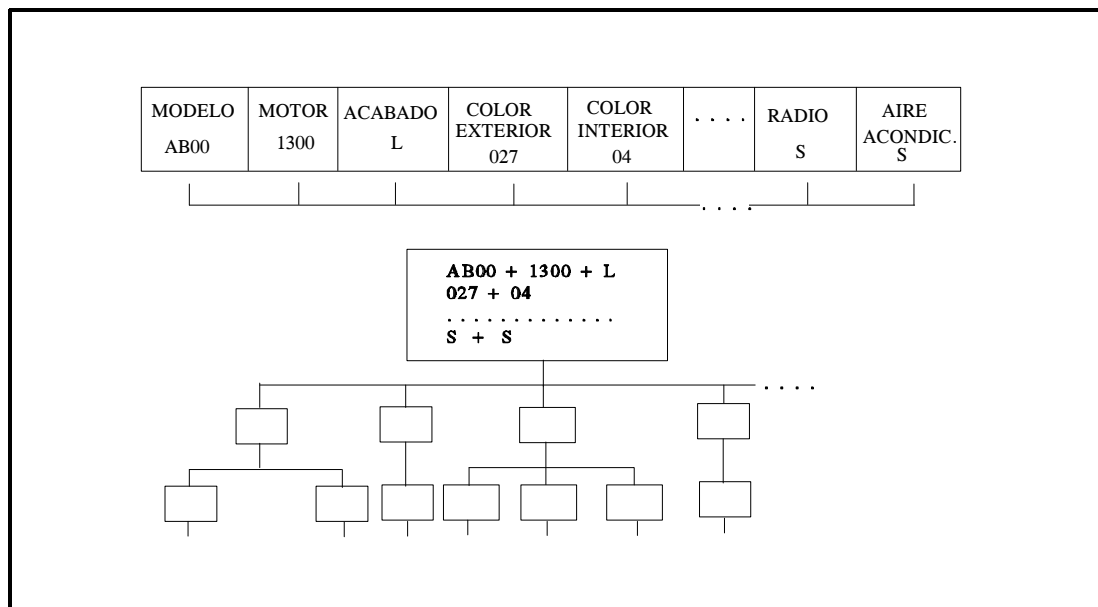


Fig. 4.1.3.57(a) Lista de materiales "clásica"

Idealmente sería conveniente utilizar en lugar de la estructura reflejada esquemáticamente en la figura 4.1.3.57(a), que cambiará para cada producto terminado, la indicada en la figura 4.1.3.57(b) en donde el objeto descrito mediante el árbol es un esquema o familia de coches, también denominado "esqueleto", en el que el nivel 1 está constituido por módulos. Cada módulo, salvo el denominado "módulo de base", que está compuesto por las piezas comunes a todas las variantes de la familia (aunque no formen un subconjunto montable), puede recibir varios valores o "ejemplares", según las opciones retenidas, en

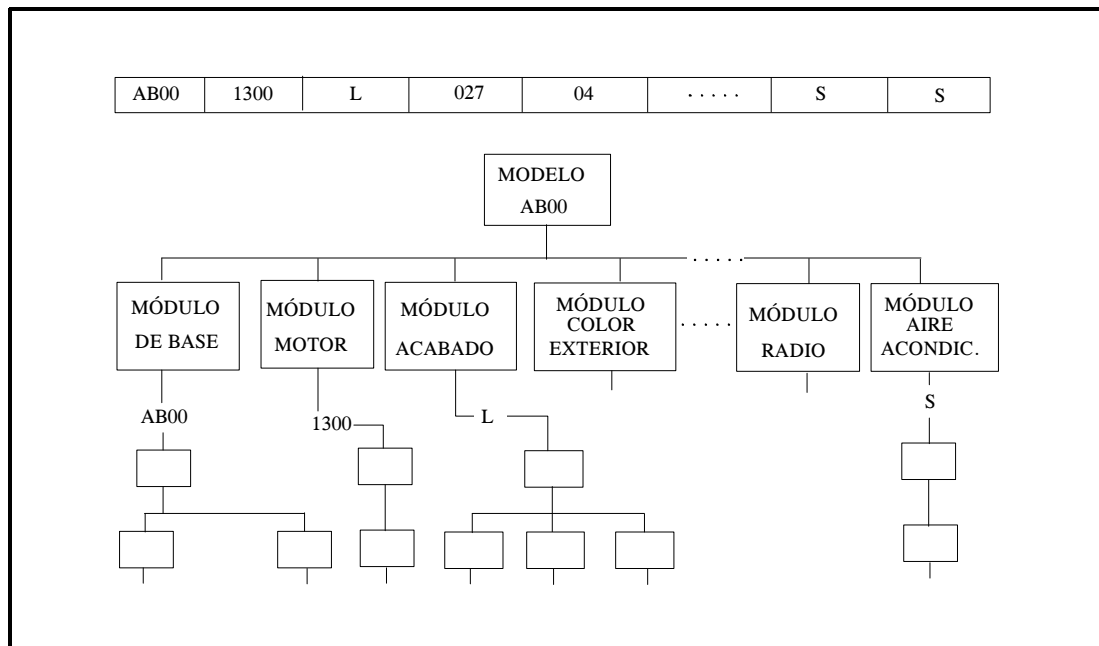


Fig. 4.1.3.57(b) Lista de materiales modular

las que en ciertos casos estará incluido el ejemplar "vacío" (sin radio, sin aire acondicionado) el cual, sin embargo, puede contener piezas (p. ej. el tapón del agujero de la antena). En su acepción más simple el ejemplar de cada módulo quedará fijado unívocamente por una de las elecciones entre posibilidades, por lo que en total tendremos descompuesta la lista de materiales de la familia en:

- El esqueleto
- El módulo de base (o módulo 0), que actuará como cabecera de una lista de materiales clásica.
- $3 + 2 + 3 + 8 + 4 + 2 + 2 + 2 + 2 = 28$ ejemplares de 9 módulos que actuarán como cabeceras de una lista de materiales clásica (situada en la misma base de datos e interconectada con la anterior).
- Unos procedimientos de manipulación de lo anterior.

En definitiva, y aparte del problema de tratar el esqueleto, nos encontramos con 29 cabeceras en lugar de 9.216, lo cual es una reducción muy importante en el tamaño de la red. En los casos en que el número de variantes potenciales sea muy superior, la reducción es también, proporcionalmente, más considerable.

La técnica de la modularidad puede utilizarse únicamente como un procedimiento administrativo para el manejo de una lista de materiales, dotada desde el punto de vista del producto acabado de una alta variedad combinatoria. En este caso los módulos serán agrupaciones de subconjuntos y piezas, no necesariamente montables entre sí (seudo-artículos). Es incluso posible, como ocurre en la industria del automóvil, que pueda definirse la modularidad a varios niveles pues numerosas piezas, incluso subconjuntos completos, pueden no estar ligadas y definidas por una opción, sino por una combinación de opciones (p.ej. el carburador, que forma parte del grupo moto-propulsor, definido por la motorización, puede ser función de la presencia o no de aire acondicionado). Idealmente la modularidad debería poder trasladarse a la fabricación y en consecuencia a la gestión de la misma, siendo los módulos fabricables y almacenables, lo que permitiría, si los plazos de aprovisionamiento y fabricación lo soportasen, establecer los planes y programas en dos niveles, uno para la fabricación de módulos, que se realizaría en base a previsiones, y otro para montaje final en base a pedidos de productos concretos. Ahora bien, la modularidad total en fabricación depende a su vez de la utilización de dicho concepto en el diseño del producto, que también debe ser modular.

En nuestra concepción la lista de materiales es el conjunto de la base de datos y de los procedimientos que permiten su manejo, incluyendo la actualización y la consulta de la misma. En particular debe ser posible contestar, directamente o con la mera incorporación del procedimiento de "explosión", a preguntas del tipo:

- ¿qué claves forman parte de un módulo?
- ¿qué módulos incorporan una determinada clave?
- ¿qué claves forman parte de un producto terminado?
- ¿en qué productos terminados se monta una clave?
- dado un programa de producción, definido a través de los productos terminados que lo componen, ¿qué claves y en qué cantidades son necesarias para fabricar los productos?
- dado un plan de producción, definido a través de cantidades de familias de productos y proporciones de variantes dentro de la familia, ¿qué claves y en qué cantidad son necesarias para fabricar los productos?

como se ha representado en la *figura 4.1.3.58*.

En ella los ficheros básicos de la lista de materiales son cinco, los clásicos de claves y enlaces, el de módulos, el de esqueletos y el de modificaciones. Dichos ficheros están relacionados entre sí y con otros ficheros externos tales como el de ciclos, del que trataremos más adelante, el de existencias, principalmente en almacenes, el de proveedores (para los artículos de procedencia exterior), el de planos, etc. Dentro del mismo sistema se indican varios procedimientos: el de actualización, el de consulta, el capaz de realizar explosiones (determinar todas las claves que entran directa o indirectamente en la composición de un artículo y la cantidad correspondiente) y la operación inversa, implosiones (determinar en la composición de qué artículos entra directa o indirectamente

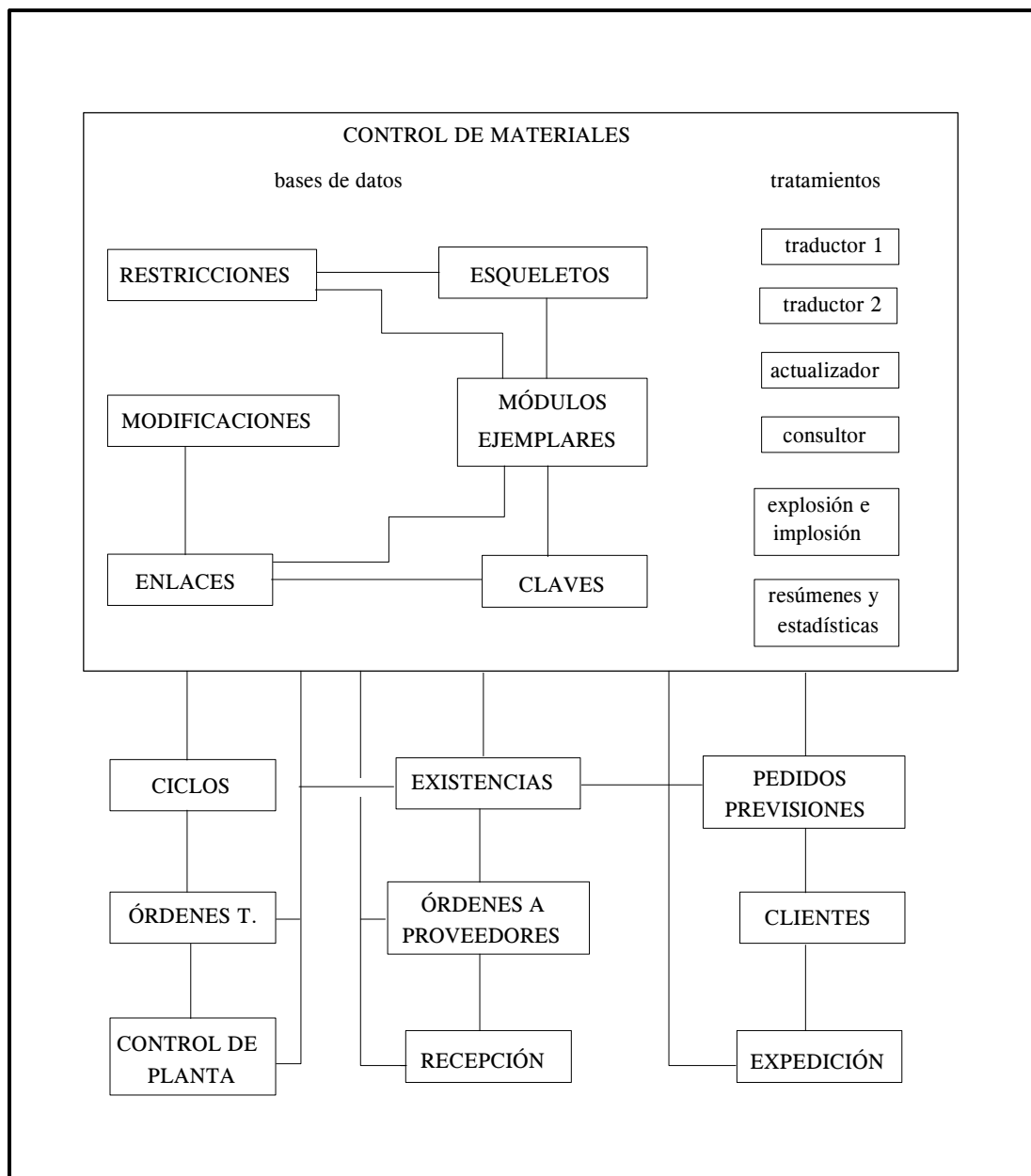


Fig. 4.1.3.58 Concepción de la lista de materiales modular

y en qué cantidades una determinada clave), el de resúmenes y estadísticas, capaz de pequeñas selecciones, tabulaciones, cálculos de totales, edición, etc. y los traductores, de los que hemos señalado dos, uno muy simple, capaz de pasar del lenguaje de productos terminados a módulos y por tanto de los programas o previsiones dados en productos

terminados a programas en módulos, y otro más complejo, capaz de hacer lo mismo pero a partir de un lenguaje más ambiguo, el de familias de productos, completado eventualmente por indicaciones porcentuales de distribución de opciones. Recuérdese que el plan maestro de producción estará habitualmente escrito en familias de productos; el plan maestro detallado concretará más, pero raramente podrá llegar al nivel de producto acabado, sino que establecerá las proporciones entre opciones. Volviendo al ejemplo automovilístico, el plan maestro indicará que hay que producir 8.000 unidades de AB00; el plan maestro detallado concretará que:

- * el 40% será de motor 1.100 cc., 35% de motor 1.300 cc. y 25% de motor diesel
- * el 60% de 4 velocidades y el 40% de 5 velocidades
- * el 20% normal, el 70% confort y el 10% lujo
- * etc.

y a partir de esta información, analizada su compatibilidad, es necesario determinar las necesidades de materiales, con el mínimo de ambigüedad posible, para poder lanzar las órdenes de fabricación y aprovisionamiento.

4.1.3.9 Un modelo de modularidad a dos niveles

Vamos a desarrollar un modelo de modularidad a dos niveles desarrollado dentro de un proyecto de investigación subvencionado por la DGICYT (PB 89-0504).

Un modelo de modularidad es un conjunto de conceptos y procedimientos que permiten manipular la variedad de los productos de una forma eficiente; por ello deben interesar todas las actividades de diseño, fabricación y comercialización de los productos. Inicialmente consideramos las propiedades específicas que permiten distinguir unos productos de otros dentro de la misma gama de productos. Las definiciones básicas son:

- *Característica*: es la formalización de una propiedad específica de los productos considerados; una característica puede adoptar diferentes instancias o valores.
- *Modelo o línea de producto*: es el conjunto de productos que pueden describirse mediante el mismo conjunto de características.
- *Valor*: es una instancia concreta que puede adoptar una característica.
- *Especificaciones del modelo*: son el conjunto de características asociadas al modelo.
- *Rango de valores de una característica*: es el conjunto de valores que puede tomar una característica.

Supongamos el modelo "armario ropero" con seis características: anchura, altura, color, interior, espejo y pomo, cada una de las cuales puede tomar entre dos y tres valores (fig. 4.1.3.59)

CARACTERÍSTICA	VALOR 1	VALOR 2	VALOR 3
ANCHURA (A)	80 cm	120 cm	
ALTURA (H)	180 cm	200 cm	220 cm
COLOR (C)	blanco (B)	negro (N)	pino (P)
INTERIOR (I)	cajones (C)	estante (E)	barra (B)
ESPEJO (E)	SÍ	NO	
POMO (P)	tipo 1 (T1)	tipo 2 (T2)	tipo especial (TE)

Fig. 4.1.3.59 Especificaciones del modelo armario ropero

Existen potencialmente, salvo la existencia de las restricciones que veremos a continuación, $2 \times 3 \times 3 \times 3 \times 2 \times 3 = 324$ armarios roperos diferentes. Para concretar a cuál de ellos nos referimos bastará indicar los valores concretos de las seis características.

Pasemos ahora a la parte constructiva del producto utilizando las siguientes definiciones:

- *Módulo*: es una de las partes funcionales en las que se descompone el modelo.
- *Ejemplar*: es una de las realizaciones concretas que cumple las funciones de un módulo.
- *Esqueleto del modelo*: es el conjunto de módulos que componen el modelo.
- *Familia*: es el conjunto de ejemplares asociados a un módulo.

En el armario ropero los módulos son cuatro (prescindiendo del módulo 0): estructura, mod_esp, mod_int y mod_pom (hemos evitado la repetición de los nombres en las características y los módulos); cada uno de ellos posee diversos representantes o ejemplares, como se muestra en la figura 4.1.3.60. Cada módulo está asociado a una o varias características, en nuestro caso la asociación es la de la figura 4.1.3.61. El módulo 0 está constituido por los elementos funcionales comunes a todas las variantes del modelo, tiene un sólo ejemplar y no está asociado a ninguna característica. Dados los valores de las características asociadas a un módulo queda definido el ejemplar. Potencialmente existen:

$$2 \times 3 \times 3 = 18 \text{ ejemplares de módulo estructura}$$

$$2 \times 3 \times 2 = 12 \text{ ejemplares de mod_esp}$$

$$2 \times 3 \times 2 \times 3 = 54 \text{ ejemplares de mod_int}$$

$$2 \times 3 = 6 \text{ ejemplares de mod_pom}$$

MÓDULO	EJEMPLAR 1	EJEMPLAR 2	.....	EJEMPLAR m	.....	EJEMPLAR n	.....	EJEMPLAR p
ESTRUCTURA	est.1	est.2	.....	est.m	.....	.....	.....	.....
MOD_ESP	esp.1	esp.2	.....	esp.m	.....	esp.n	.....	.....
MOD_INT	int.1	int.2	.....	int.m	.....	.....	.....	int.p
MOD_POM	pomo_1	pomo_2	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Fig. 4.1.3.60 Ejemplares de los módulos

CARACTERÍSTICA						
MÓDULO	anchura	altura	color	espejo	interior	pomo
módulo 0						
estructura	X	X	X			
mod_esp	X	X		X		
mod_int	X	X	X		X	
mod_pom	X					X

Fig. 4.1.3.61 Características asociadas a cada módulo

La combinatoria de los ejemplares conduciría aparentemente a un número de variantes superior a las 324 indicadas anteriormente, pero existen diversas circunstancias que limitan dicho número:

- si dos módulos están asociados a la misma característica (por ejemplo estructura y mod_int, ambos asociados a anchura, altura y color) las combinaciones válidas de ejemplares quedan reducidas a aquéllas que tengan el mismo valor de la característica común,
- varias combinaciones de valores de las características pueden estar asociadas al mismo ejemplar; en nuestro modelo de modularidad hemos limitado esta circunstancia al caso en que una característica es irrelevante en la definición de un ejemplar dados los valores de las demás (creando el valor "comodín" para aquella). Por ejemplo, color es irrelevante para mod_int si interior es barra (B),
- a ciertas combinaciones de valores de las características puede no estar asociado ningún ejemplar.

Todas las consideraciones anteriores conducen a *restricciones implícitas*. Pueden existir además *restricciones explícitas*. Una *restricción explícita* es una combinación de valores de las características que no conduce a ningún producto válido (por razones técnicas, comerciales o de otro tipo). Por ejemplo:

restricción	anchura	altura	color	interior	espejo	pomo
R1	80 cm	200 cm	B	B	SI	T1

La formulación de las restricciones queda muy facilitada mediante la utilización del álgebra de proposiciones, por ejemplo:

$$\text{pomo} = \text{TE si y sólo si espejo} = \text{SI}$$

que conduce a varias restricciones en forma normalizada, entre ellas la R1.

Un regla es una sentencia compuesta de un antecedente y un consecuente; el antecedente está formado por una o varias características a las que se asigna uno de sus valores; el consecuente es una afirmación referida a un objeto o a una acción. Puede interpretarse, por tanto, una regla como una proposición lógica del tipo:

$$\text{si "antecedente" entonces "consecuente"}$$

Una familia de reglas es un conjunto de reglas determinadas por el mismo conjunto de características y el mismo tipo de consecuente. Podemos enumerar las siguientes categorías de reglas:

- *Reglas de composición*: son las que asocian los ejemplares a los valores de las características,

$$\text{si anchura} = 80 \text{ cm y altura} = 180 \text{ cm y color} = \text{B entonces} \\ \text{estructura} = \text{ejemplar}_1$$

- *Reglas de montaje*: parecidas a las anteriores, pero asociando operaciones (o grupos de operaciones) a los valores de las características.

- *Reglas de precio*: asocian a los valores de las características la manera de construir el precio de venta.

Las restricciones explícitas pueden interpretarse como reglas de prohibición.

Dado un producto definido a través de los valores de sus características podemos, a través de las reglas:

- deducir si es válido o si viola alguna restricción,
- establecer los ejemplares que lo componen y, a partir de ahí, sus necesidades de materiales,
- establecer las operaciones que se precisan para fabricarlo,
- fijar su precio.

Si el producto está definido a través de los ejemplares que lo forman, y es un producto real, podremos determinar los valores de sus características (las indeterminaciones creadas por los comodines se resolverán progresivamente).

Un problema más difícil de resolver se presenta cuando la transformación (o determinación de validez) de características a ejemplares, o viceversa, debe realizarse entre grupos de productos. Este tipo de transformación es necesario al nivel de la planificación y del cálculo de necesidades; las previsiones y planes maestros agregados se establecerán normalmente en características, los planes maestros detallados a nivel ejemplares, si deben servir de entrada al cálculo de necesidades. En el proyecto de investigación antes citado se ha establecido una metodología de trabajo para abordar dichas transformaciones.

4.1.4 Gestión de los ciclos y de los medios de producción

Los ciclos tienen un papel importante en la gestión de la producción puesto que interesan:

- en las operaciones de desplazamiento hacia atrás en el cálculo de necesidades (fase de programación),
- en el establecimiento del programa de carga,
- en la secuenciación y seguimiento de las operaciones de taller,
- en el cálculo de los costes.

Finalmente su conocimiento es necesario en el taller, pues indican el orden del proceso de fabricación. La gestión de los ciclos o gamas es conceptualmente, sin embargo, una función más sencilla que la gestión de la lista de materiales; consiste en asociar a cada artículo fabricado las informaciones necesarias para su fabricación, es decir, la disposición sucesiva de las operaciones a realizar para pasar de un nivel al siguiente de la estructura. Gestionar los ciclos es documentar en un fichero estas informaciones, así como los enlaces "clave-ciclo", a lo cual es necesario asociar también la gestión de los medios de producción. Consiste, por tanto, en formalizar uno o varios ficheros con las informaciones codificadas que describen las características de las máquinas y útiles usados para la realización de cada operación del ciclo y por otra parte en crear los enlaces y encadenamientos entre estos ficheros y el fichero ciclos.

Las dificultades de la función son de naturaleza práctica; en razón a los volúmenes de información a documentar es difícil obtener la precisión y fiabilidad que también aquí es necesaria. Una familia de datos muy importante que debe contener el fichero de ciclos es precisamente la que hace referencia a aspectos temporales (tiempos de preparación, tiempos unitarios de elaboración, tiempos de transporte, tiempos de espera, etc.) en especial el plazo de ejecución global de las operaciones, plazo que transcurre desde el momento en que se dispone de los componentes hasta aquél en que está disponible el compuesto o conjunto que, considerado a la inversa, permite saber cuándo conviene tener los componentes para poder disponer del compuesto o conjunto en una fecha determinada.

Típicamente los dos archivos básicos son:

- archivo rutas
- archivo centros de trabajo

En el archivo rutas existe un registro para cada artículo fabricado que incluye:

1. El plazo total de fabricación basado en un tamaño de lote estándar.
2. Una lista de las operaciones necesarias identificadas mediante una numeración creciente. Para cada operación se indica el centro de trabajo encargado de realizarla, el tiempo estándar de preparación de cada lote y el tiempo estándar de operación por unidad.
3. Información, si procede, sobre centros de trabajo o rutas alternativas.

En la *figura 4.1.4.1* se presenta un ejemplo de registro correspondiente a un artículo.

PIEZA X2341 eje principal PLAZO (LT) = 40 días (lote estándar 100 un.)				
NÚMERO OPERACIÓN	CENTRO DE TRABAJO	DESCRIPCIÓN	TIEMPO PREPARACIÓN	TIEMPO OPERACIÓN
10	1	torneado	0,5	0,13
20	3	fresado	0,7	0,08
30	5	tallado engranaje	1,2	0,24
40	8	taladro	0,5	0,22
50	9	tratam.térmico		4
60	7	rectificado eje	0,8	0,27
70	6	rectificado engr.	0,9	0,42

Fig. 4.1.4.1 Datos del archivo de rutas. Tiempos en horas estándar; la operación 50 es un proceso subcontratado y se indica el tiempo total en días

El archivo centros de trabajo contiene un registro para cada uno de ellos, cada uno con los siguientes datos:

1. *Número de turnos trabajados.*
2. *Número de máquinas disponibles por turno.*
3. *Horas de trabajo disponibles por turno* (la disponibilidad de la plantilla puede determinar el número máximo de máquinas que pueden utilizarse).
4. *Eficiencia:* relación entre la prestación real y la estándar en términos de horas de trabajo por unidad producida.
5. *Utilización:* relación entre las horas de utilización efectiva de la capacidad disponible y las horas totales (en la utilización efectiva se han restado los tiempos muertos debidos a averías de máquina, falta de material o absentismo).
6. *Capacidad diaria efectiva (CDE):* número de horas estándar efectivas que pueden esperarse diariamente en el CT. CDE es igual al producto del número de turnos, por el número de horas por turno, por el número de máquinas u operarios (según cuál sea el factor limitativo), por la eficiencia y por la utilización.
7. *Cola planificada:* tiempo medio planificado que se estima espera en promedio un lote a lo largo del proceso.
8. *Tiempo de tránsito:* tiempo medio planificado que se estima que precisa en promedio un lote para pasar de un centro de trabajo a otro.

Un ejemplo de archivo centros de trabajo se ha representado en la *figura 4.1.4.2*.

CT	DESCRIPCIÓN	TORNOS	Nº DE MÁQUINAS	EFICIENCIA	UTILIZACIÓN	CDE	COLA PLANIFIC.
1	tornos	1	4	85	90	24,5	1,5
2	roscadoras	2	2	85	85	23,1	2
3	fresadoras	1	4	80	90	23,0	2
4	mandrinadoras	1	2	80	90	11,5	2
5	tallad.engran.	1	3	80	75	14,4	2,5
6	rectif.engran.	2	1	80	85	10,9	2,5
7	rectif.superf.	2	1	85	80	10,9	1,5
8	taladradoras	1	5	75	80	24,0	1,5
9	trat. térmico))				

Fig. 4.1.4.2 Datos del archivo centros de trabajo. 8 horas diarias por turno; 1 operador por máquina; CDE en horas; cola planificada en días; todos los tiempos de tránsito son iguales a 0,5 días, salvo desde o hacia el taller exterior (CT 9) en que dicho tiempo es 1 día

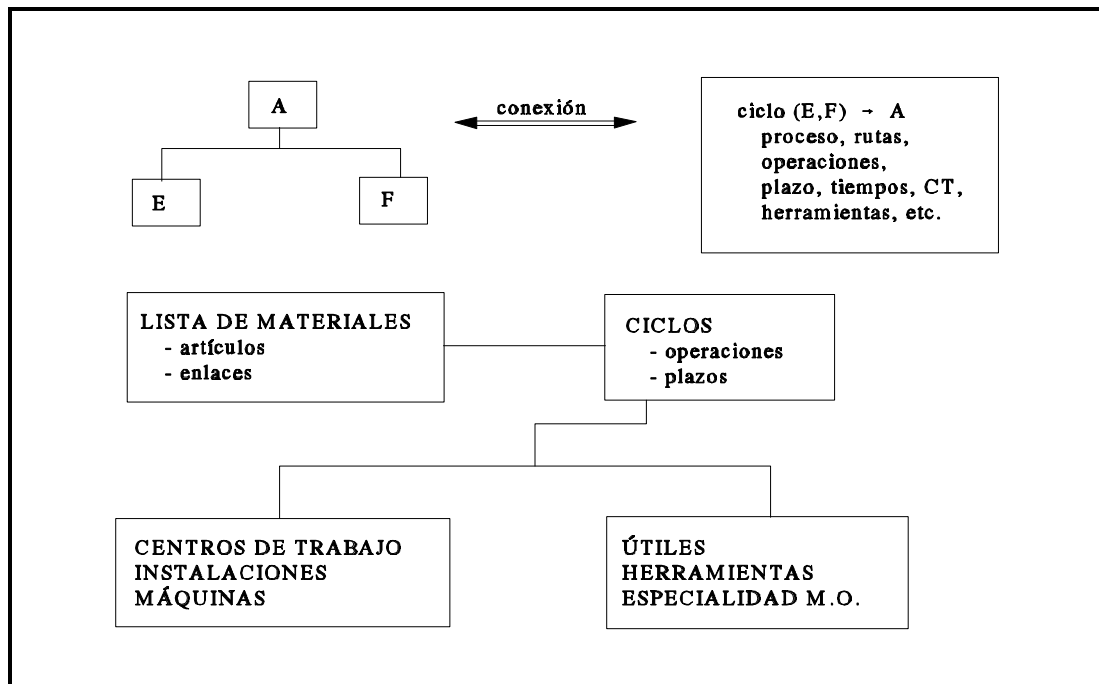


Fig. 4.1.4.3 Esquema habitual de la estructura de las bases de datos relativas a la lista de materiales y a los ciclos

4.1.5 Obtención del plan detallado de producción

Vamos a formalizar lo estudiado en el apartado anterior, siguiendo el esquema iniciado en 4.1.2, e introduciremos la consideración de algunos aspectos específicos, en particular la incidencia de los plazos de fabricación o aprovisionamiento. En el apartado siguiente analizaremos la vía alternativa que constituye el procedimiento conocido como MRP.

4.1.5.1 Cálculo de necesidades

En su expresión más sencilla, el cálculo de necesidades consiste en descomponer la demanda $D(t^*T)$ en todos los componentes que la constituyen con lo que se obtiene $G(t^*T)$ (necesidades brutas). Esto se efectúa aplicando sucesivamente, nivel a nivel, la matriz de composición o gozinto N a la demanda $D(t^*T)$, lo que equivale, como se ha visto, utilizando el cálculo matricial, a premultiplicar por la matriz de composición total o de necesidades por tipo T . De esta forma:

$$G(t | T) = T \cdot D(t | T)$$

Ahora bien, cuando se dispone de existencias en almacén y/o de previsiones de entrada y salida, es decir, de una cierta disponibilidad de materiales A , parte de las necesidades brutas quedarán cubiertas por esta disponibilidad y por tanto deberán fabricarse menos artículos y serán necesarios menos componentes:

$$W(t | T) = T \cdot [D(t | T) - A(t | T)]$$

Procediendo a redistribuir las cantidades de las filas de la matriz de manera que desaparezcan los números negativos (lo que equivale a trasladar producciones o aprovisionamientos de un período a otro en el que sobran disponibilidades), se obtiene la matriz de necesidades netas:

$$X(t | T)$$

El cálculo de la ocupación de recursos se realizará de forma semejante:

$$Z(t | T) = B \cdot X(t | T)$$

con lo que la ocupación resultante pasa a ser:

$$O(t | T) = O(t | T) + Z(t | T)$$

4.1.5.2 Incidencia de los stocks de seguridad

Muchas veces es conveniente, dada la inseguridad de la predicción de la demanda, planificar un cierto stock de seguridad que pueda absorber excesos de consumo o eventuales desplazamientos de un período a otro. En ocasiones suele tomarse cierta fracción c del consumo del período como stock planificado a final de cada período si se cumplen las previsiones; de esta forma si la cantidad a consumir en un período s del horizonte de cierto artículo a es $G_{a,s}$, obtenida mediante el procedimiento $T \cdot D = G$, entonces la cantidad a producir será ésta más la diferencia de stocks deseada a final de cada período:

$$G_{a,s} + c \cdot (G_{a,s} - G_{a,s-1}) = (1 + c) \cdot G_{a,s} - c \cdot G_{a,s-1}$$

es decir, que las necesidades netas se obtienen en este caso mediante:

$$T \cdot [(1 + C) \cdot D - C \cdot F(D)]$$

en donde C es la matriz diagonal de los coeficientes c .

$F(D)$ es una matriz que resulta de transformar D "corriendo sus columnas un lugar a la derecha" y substituyendo la primera por el stock inicial. Si dicha primera columna está constituida por ceros, entonces:

$$F(D) = D \cdot F$$

donde F es la matriz:

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

con lo que la expresión queda:

$$T \cdot [(I + C) \cdot D - C \cdot D \cdot F] = T \cdot [D + C \cdot D \cdot (I - F)]$$

en la que la matriz $(I - F)$ también es sencilla de representar:

$$(I - F) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

Si se desea tener un cierto stock como margen de seguridad a diversos niveles de artículos intermedios, entonces los cálculos anteriores deben aplicarse nivel a nivel.

Sean N_1, N_2, N_3, \dots las submatrices en que puede descomponerse N por niveles de desglose y C_1, C_2, C_3, \dots las submatrices de coeficientes de stock, ambas completadas eventualmente por ceros y q el número de niveles. Entonces:

$$\begin{aligned} S_1 &= (I + N_1) \cdot [D + C_1 \cdot D \cdot (I - F)] \\ S_2 &= (I + N_2) \cdot [S_1 + C_2 \cdot S_1 \cdot (I - F)] \\ &\dots \dots \dots \\ S_q &= (I + N_q) \cdot [S_{q-1} + C_q \cdot S_{q-1} \cdot (I - F)] \end{aligned}$$

siendo esta última la matriz de las necesidades netas X buscadas. Como los efectos del stock de un artículo de nivel k sólo pueden manifestarse (aparte de en el propio artículo) en otros artículos de niveles superiores $k + 1, k + 2, \dots$ podremos ir reduciendo la dimensión de los vectores y matrices, así en S_1 figurarán todos los niveles, en S_2 podremos prescindir de los artículos de nivel 0, y en general en S_k podremos prescindir de los artículos de nivel 0, 1, 2, ..., $k-1$. Naturalmente, en este caso X deberá reconstruirse a partir de las S_k , asignando a los artículos de nivel k , el valor correspondiente en S_k . Trataremos un ejemplo a partir de la estructura de la *figura 4.1.5.1*.

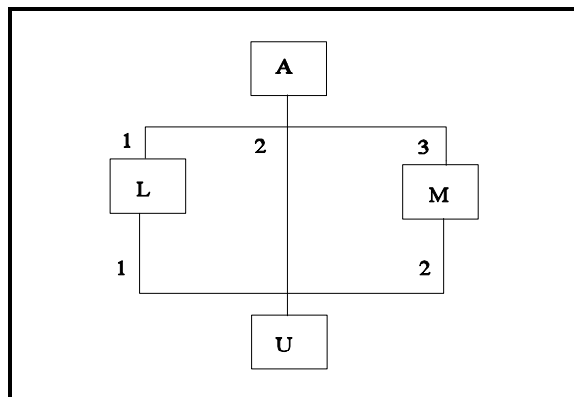


Fig. 4.1.5.1 Estructura del producto

$$N = \begin{matrix} & A & L & M & U \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & & & & \\ N_1 & | & N_2 & | & N_3 \end{matrix} \quad C = \begin{matrix} \begin{pmatrix} 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,2 \end{pmatrix} & & & \\ C_1 & | & C_2 & | & C_3 \end{matrix} \quad N = \begin{matrix} \text{NOV} & \text{DIC} \\ \begin{pmatrix} 100 & 200 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} & & & \end{matrix}$$

$$S_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \left[\begin{pmatrix} 100 & 200 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 100 & 100 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} 110 & 210 \\ 110 & 210 \\ 220 & 420 \\ 330 & 630 \end{pmatrix}$$

$$S_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \cdot \left[\begin{pmatrix} 110 & 210 \\ 220 & 420 \\ 330 & 630 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 110 & 100 \\ 220 & 220 \\ 330 & 300 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} 110 & 210 \\ 242 & 440 \\ 924 & 1.720 \end{pmatrix}$$

$$S_3 = 1 \cdot ([924 \ 1.720] + 0,2 \cdot [924 \ 796]) = [1.108,8 \ 1.879,2]$$

de donde:

$$X = \begin{bmatrix} 110 & 210 \\ 110 & 210 \\ 242 & 440 \\ 1.108,8 & 1.879,2 \end{bmatrix}$$

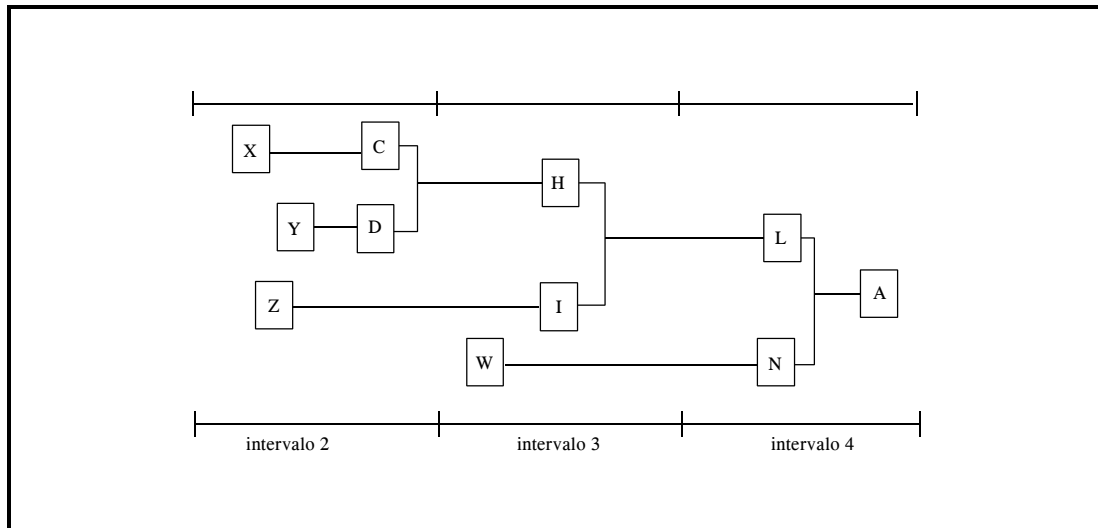


Fig. 4.1.5.2 Plazos de fabricación

4.1.5.3 Incidencia de los plazos de fabricación

Cuando los plazos de fabricación de algunos artículos son del orden de magnitud del intervalo utilizado como unidad en la planificación, entonces los cálculos de necesidades tal como se han explicado hasta ahora (se necesita todo lo que interviene en la

composición del artículo del mismo intervalo temporal) puede producir carencias de material al no tener en cuenta dicho plazo. En la *figura 4.1.5.2* se muestra la fabricación y montaje de los artículos que componen el producto *A*. Montar 1.000 unidades del producto *A* en el intervalo 4 implica la necesidad de disponer en el intervalo 3 de los subconjuntos *L*, *M* y de los componentes *H*, *I*, *W* en las cantidades especificadas en el intervalo 2 los componentes *C*, *D* y los artículos de procedencia exterior *X*, *Y*, *Z*. Podríamos completar el gráfico con los plazos de entrega de los productos de procedencia exterior para conocer cuándo habría que emitir con destino a los proveedores la orden de aprovisionamiento).

Véase también que si la demanda fuera de sólo 100 unidades del producto *A*, las necesidades cuantitativas de fabricación de componentes serían más bajas y posiblemente los tiempos de fabricación más cortos.

Por tanto, los algoritmos de cálculo de necesidades en estos casos deben modificarse para que a cada nivel de desglose se decalen en el tiempo las cantidades obtenidas según el plazo de duración de la fabricación. Así a toda matriz *N* está asociada una matriz *L* de los plazos de fabricación (antelación con la que debe disponerse del componente respecto al instante de disponibilidad del compuesto). Esta matriz, caso de construirse, será también triangular inferior con la diagonal nula (habiendo ordenado los artículos por niveles) y en general todos los valores significativos de una columna serán iguales, pues para montar un cierto artículo sus componentes suelen necesitarse preparados a la vez, pero puede no ser así (en el primer caso en lugar de una matriz, bastaría con un vector *L* que asociase a cada artículo su plazo).

Por consiguiente, para fabricar la cantidad *x* del artículo *j* en el intervalo *s* se precisa una cantidad $n_{i,j} \cdot x$ del componente *i* en el intervalo *s - l*, en donde $n_{i,j}$ es la cantidad unitaria de componente necesario y *l* el plazo de disponibilidad. Si asociamos a *N* del ejemplo anterior:

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 100 & 200 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

se obtendrá:

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 100 & 200 \\ 0 & 0 & 100 & 200 & 0 \\ 0 & 0 & 200 & 400 & 0 \\ 100 & 200 & 700 & 1.400 & 0 \end{pmatrix}$$

Los valores de la matriz o vector L son difíciles de calcular pues normalmente dependen de la carga de trabajo existente. El plazo de fabricación incluye los tiempos de todas las fases de cada operación que se realiza:

- *Tiempo de espera*: tiempo en que la operación está en cola esperando a que la máquina correspondiente esté disponible para ella.
- *Tiempo de preparación*: tiempo necesario para preparar la máquina para que pueda realizar el siguiente trabajo (ajustes, colocación de matrices, etc.).
- *Tiempo de operación*: el realmente invertido por la máquina en realizar un determinado lote de piezas.
- *tiempo de acabado*: necesario para limpiar la máquina o embalar las piezas recién hechas.
- *tiempo de transporte*: empleado en ir desde el puesto de trabajo en donde se han realizado las piezas, hasta el puesto donde se hará la siguiente operación.

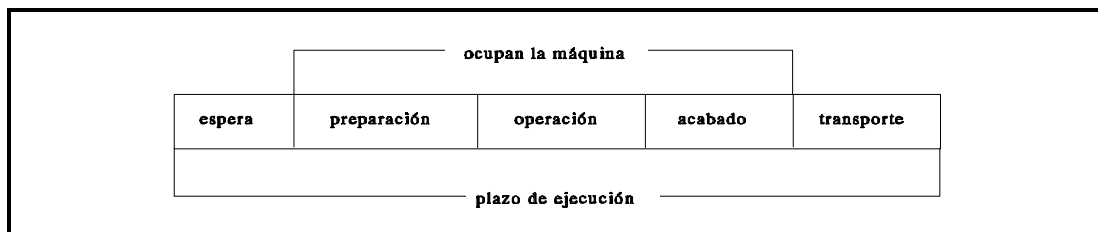


Fig. 4.1.5.3 Plazo de ejecución

El tiempo de operación es proporcional a la cantidad de piezas y su valor unitario es fácil de determinar.

Los tiempos de preparación y acabado suelen ser fijos por lote, aunque en algunos casos puede variar su valor en función del tipo de operación hecha anteriormente. El tiempo de transporte también puede considerarse fijo e igual para todas las operaciones, aunque en algunos casos puede variar de un tipo de operación (cuyo producto vaya a almacén) a otra (cuyo producto pasa a la sección siguiente del taller).

El tiempo de espera fundamentalmente depende de la cantidad de operaciones que debe realizar la máquina en cuestión, y al nivel en que nos movemos en planificación depende de la mayor o menor carga que estamos planificando. Es por tanto un valor imposible de medir "a priori"; sólo puede estimarse en función de la experiencia ("a posteriori") de anteriores casos.

El plazo de fabricación o montaje de una determinada pieza nos lo dará la suma de los tiempos de todas las operaciones que la componen.

$$\text{Plazo} = K_1 + K_2 \cdot q + K_3 \cdot \rho$$

- K_1 = suma de los tiempos fijos
- K_2 = " " " " proporcionales al tamaño del lote
- K_3 = " " " " de espera medios
- q = tamaño del lote
- ρ = coeficiente de carga

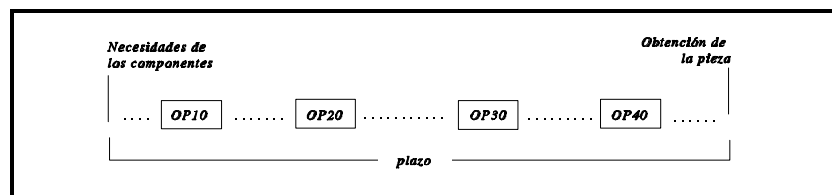


Fig. 4.1.5.4 Sucesión de operaciones

4.1.5.4 Incidencia de los límites de capacidad

Anteriormente hemos visto que una vez obtenido el plan de necesidades de materiales $X(t^*T)$ pueden evaluarse las necesidades de capacidad $Z(t^*T)$ y, mediante un análisis de estos valores, decidir o no ampliar recursos, subcontratar trabajos, etc. Cualquiera de estas decisiones obliga a recalcular de nuevo $Z(t^*T)$ y verificar que se dispone de la capacidad suficiente para realizar el plan.

Sin embargo, pueden construirse algoritmos que permitan adaptar la carga a las limitaciones impuestas (e indicar los puntos donde no es posible) durante el propio proceso de planificación.

En los casos en los que la demanda de productos es estable en el sentido de no tener fuertes fluctuaciones y la interferencia de ellas en la producción es débil, es posible utilizar los algoritmos de planificación detallada que no tienen en cuenta las limitaciones de capacidad, tratando en cada caso "a posteriori" de ajustar las sobrecargas que se producen.

Cuando no se dan las anteriores condiciones puede recurrirse a los algoritmos denominados de capacidad finita, que suelen ser más complicados de implementación y uso en la práctica. Todos los sistemas se basan en la aplicación de técnicas de simulación

combinadas con reglas heurísticas, para efectuar el cálculo de la carga de las diversas máquinas, por lo que de alguna forma son análogas a algunas técnicas utilizadas en programación de operaciones. Se pretende con estas técnicas conseguir un plan detallado lo más realista posible.

En líneas generales estas técnicas consisten en:

- Adjudicar la orden de fabricación de cada artículo al período de tiempo más cercano a la fecha de su necesidad (si no hay conflictos de limitación de capacidad) calculando el incremento de carga que se produce.
- Modificar la fabricación de un artículo, utilizando otra máquina alternativa, partiendo lotes, etc. (cuando hay conflictos de limitación de capacidad) e incluso modificar el período de carga si es más conveniente.
- Solapar lotes; normalmente no se trasladan los artículos de fabricación de una fase a otra hasta terminar el lote, pero si la máquina siguiente está parada puede admitirse en algunos casos que se inicie el proceso siguiente en la parte ya realizada del lote (distinguiendo entre lote de fabricación y lote de transferencia).
- Partir lotes, normalmente un trabajo iniciado no se interrumpe hasta finalizar el lote, pero si llega un trabajo más urgente puede admitirse la interrupción y partición del lote en curso.

Una secuencia típica para planificar un artículo sería:

- Probar en la máquina que le corresponde en su período
- Probar en el período anterior
- Probar en la máquina alternativa en su período
- Probar en la máquina alternativa en el período anterior
- Utilizar horas extra en su período
- Utilizar horas extra en el período anterior
- Utilizar horas extra en máquina alternativa en su período
- Utilizar horas extra en máquina alternativa en el período anterior
- Adelantar alguna pieza cargada solapando el lote

El plan resultante será simplemente una verificación de que el plan es viable y un aviso de las medidas que deben tomarse para no sobrepasar la capacidad disponible.

4.1.6 MRP I: Esquema director y procedimientos

A continuación vamos a desarrollar detenidamente los diferentes aspectos del procedimiento conocido como planificación de necesidades de materiales o MRP (*Material Requirements Planning*), cuyas ideas constituyen la plasmación de lo visto en el apartado anterior.

Los métodos clásicos de gestión de stocks y de aprovisionamientos (que veremos en el **capítulo 5**), se apoyan, en principio, en un tamaño de lote fijo, medido en unidades o en tiempo (EOQ o EPQ), calculado individualmente para cada artículo por separado en base a su historia pasada; en general presupone que la demanda de cada artículo es independiente de la de los demás y que actúa en forma homogénea a lo largo del tiempo. Estas circunstancias no se dan en aquellos artículos componentes cuya demanda resulta de una decisión respecto a cuándo y cuántos artículos en los que están incorporados van a fabricarse, ni su demanda es independiente, ni actúa en forma homogénea a lo largo del tiempo (al fabricar usualmente en lotes y al ser la costumbre retirar (o reservar) del almacén todos los componentes para fabricar el lote a la vez, la demanda actúa en forma discreta y por saltos).

Las desventajas de la orden de tamaño fijo son:

- 1- Exige una inversión muy grande en stock.
- 2- Es poco fiable con mucha variación en la tasa de la demanda.
- 3- Exige una mayor inversión en stock de seguridad.
- 4- Precisa previsiones para todos los artículos.
- 5- Se basa en datos de la demanda del pasado.
- 6- El peligro de obsolescencia del material es más acusado.

El procedimiento MRP parte de tres ficheros o grupos de informaciones básicos (*fig. 4.1.6.2*):

- El plan maestro de producción detallado (MPS), que para cada producto acabado nos indica las cantidades a fabricar en cada uno de los intervalos en que hemos descompuesto el horizonte considerado (valores típicos serán intervalos semanales en un horizonte de ocho semanas); este plan maestro habrá sido determinado teniendo en cuenta la evolución del mercado, los stocks existentes de productos terminados y las restricciones productivas.

EOQ (o EPQ)	MRP
Orientado a cada artículo individualmente	Orientado a productos y componentes en forma coordinada
Demanda independiente	Demanda dependiente (derivada)
Demanda continua	Demanda discreta (a saltos)
Señal de emisión de pedido en el punto de pedido	Señal de emisión del pedido temporizada
Basado en la demanda histórica	Basado en la producción futura
Previsión de todos los artículos	Previsión de los artículos finales sólo
Sistemas basados en la cantidad	Sistema basado en cantidad-tiempo
Stock de seguridad para todos los artículos	Stock de seguridad sólo para los productos acabados

Fig. 4.1.6.1 Comparación EOQ/MRP

- La lista de materiales (BOM) en la que para cada artículo (productos terminados, sub-conjuntos, componentes, piezas de elaboración interna o compradas, materiales) se indicará los componentes que lo forman, las cantidades necesarias de cada componente y el *plazo* que transcurrirá desde la disponibilidad de los componentes hasta la disponibilidad del artículo, así como las reglas de producción (relativas a lotificación y stocks). Si se pretende determinar las necesidades de carga, se precisa información adicional relativa a los ciclos o procesos, es decir, para cada artículo fabricado qué recursos precisa para su realización y qué cantidad de cada uno.
- La situación de stocks y obra en curso (*Inventory Status*) que para cada artículo indica la existencia del mismo en cada situación de disponibilidad y para todos los intervalos del horizonte o, lo que es lo mismo, la situación inicial y los movimientos previstos en virtud de las órdenes cursadas en firme.

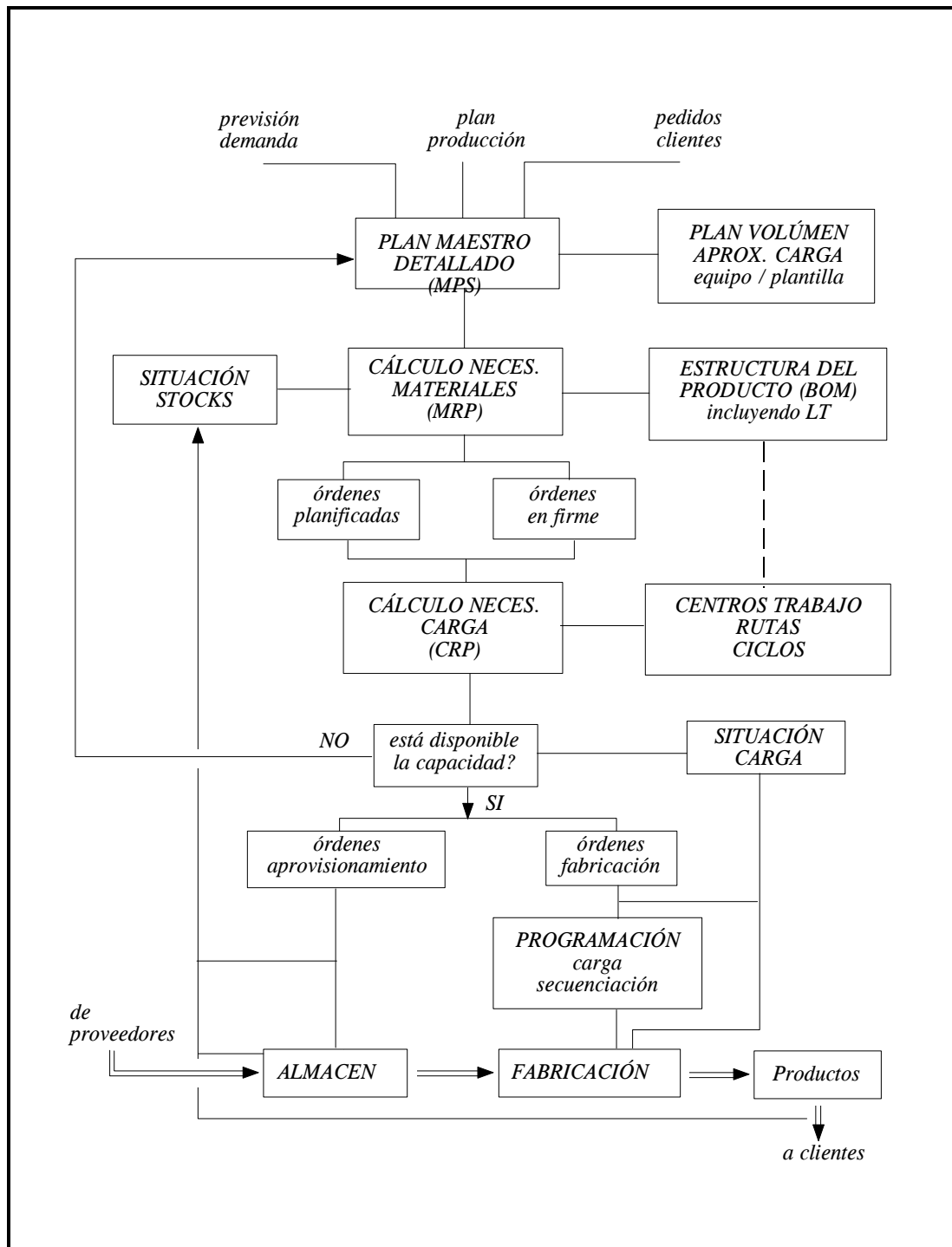


Fig. 4.1.6.2 Sistema MRP en bucle cerrado

El poder disponer de los archivos anteriores presupone ciertas elaboraciones, algunas de ellas complejas, que se soslayan en este capítulo. El procedimiento MRP realiza los siguientes pasos (*fig. 4.1.6.3*):

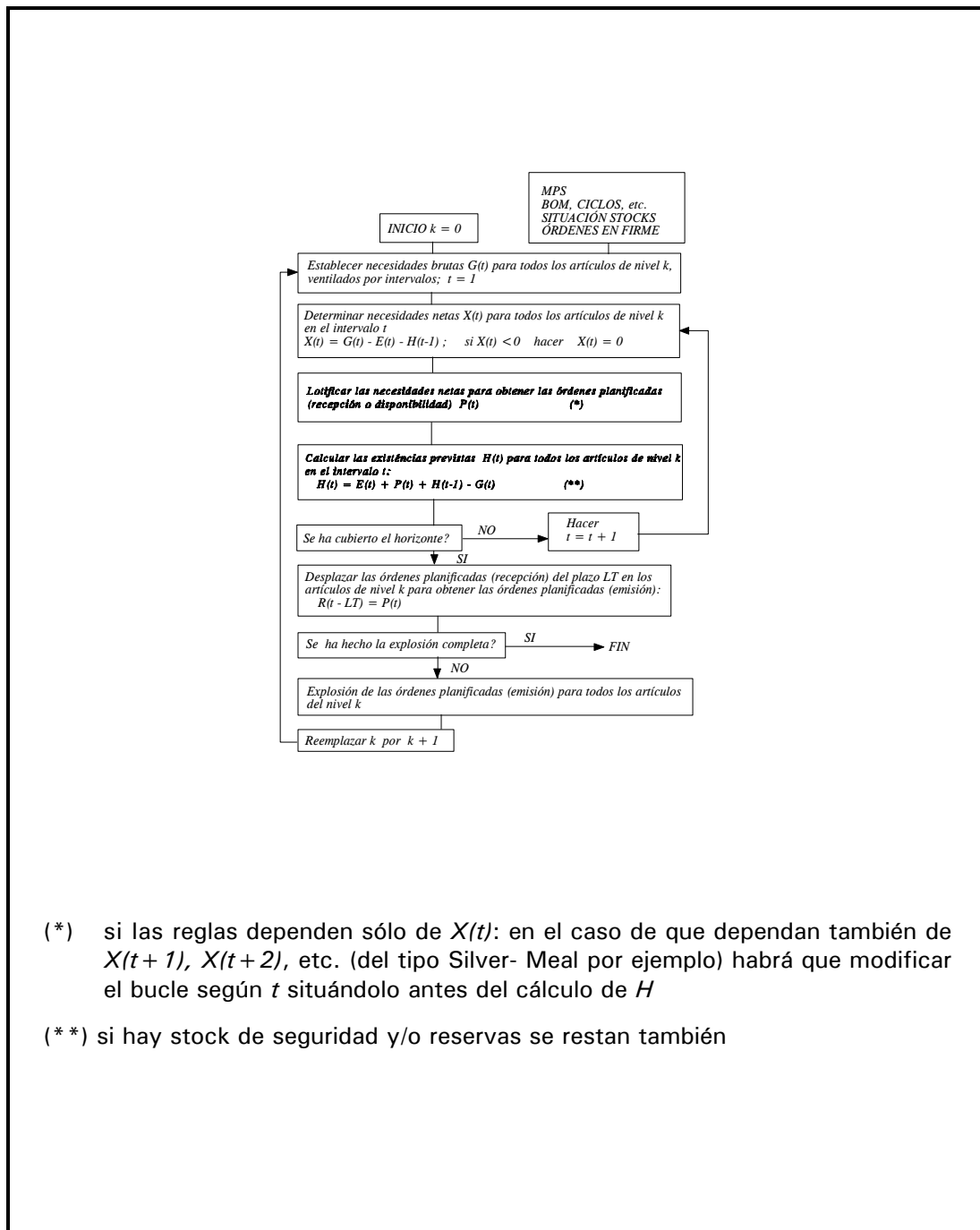
- 1- a partir del plan maestro y de las órdenes planificadas (situadas en fecha de emisión, punto 5), mediante la lista de materiales se determinan unas necesidades brutas de cada uno de los artículos componentes,
- 2- considerando las disponibilidades indicadas por la situación de stocks y de obra en curso, se transforman las necesidades brutas en netas,
- 3- aplicando las reglas de producción de cada artículo relativas a lotificación y stocks de seguridad (si los hay), se transforman las necesidades netas en órdenes (de producción o de aprovisionamiento) planificadas, situadas en la fecha de su cumplimiento,
- 4- desfasando hacia atrás de acuerdo con el plazo las órdenes planificadas, se sitúan en la fecha de emisión,
- 5- las órdenes planificadas (en la fecha de emisión) incrementan las tenidas en cuenta en el punto 1.

La realización de los cálculos se efectúa artículo por artículo, nivel por nivel, empezando por el nivel 0. En su caso también se efectuarán los siguientes pasos:

- 4bis- aplicando los coeficientes unitarios de carga se determinan las que corresponden a cada orden planificada y se acumulan al centro correspondiente. Si la carga supera sensiblemente la capacidad, se indica la necesidad de modificar el plan maestro.

Las órdenes sugeridas por el procedimiento son las que han recibido el nombre de órdenes planificadas; dichas órdenes se transformarán en órdenes en firme (y por tanto incrementarán los movimientos previstos en la situación de stocks y obra en curso) si así lo decide el planificador. Será normal que éste decida lanzar órdenes cuya fecha de emisión sea cercana, pero que reserve la decisión para nuevas ejecuciones del procedimiento en aquéllas cuya fecha de emisión sugerida por el mismo esté todavía lejana.

Para analizar las posibilidades del MRP tomaremos de nuevo como ejemplo el caso SOLREG (*fig. 4.1.3.29(a)* y *(b)*). No utilizaremos en lo que sigue la matriz de cantidades por tipo (*fig. 4.1.3.30*) ya que nos basaremos exclusivamente en los datos de la matriz gozinto a los que deberemos añadir indicación de los plazos de elaboración y aprovisionamiento, así como las reglas de lotificación y stocks de seguridad (maestro de artículos, *fig. 4.1.6.4*)



(*) si las reglas dependen sólo de $X(t)$: en el caso de que dependan también de $X(t + 1)$, $X(t + 2)$, etc. (del tipo Silver- Meal por ejemplo) habrá que modificar el bucle según t situándolo antes del cálculo de H

(***) si hay stock de seguridad y/o reservas se restan también

Fig. 4.1.6.3 Proceso MRP simplificado

ARTÍCULO	ELABORACIÓN	PLAZO	TIPO	STOCK.S.	LOTE
(SR04)	montaje	1 intervalo	1	0	1
(SR06)	montaje	1 intervalo	1	0	1
(SR08)	montaje	1 intervalo	1	0	1
(SR12)	montaje	2 intervalo	1	0	1
(SR20)	montaje	2 intervalo	1	0	1
(TRI)	fabricación	2 intervalo	3	0	300
(CUA)	fabricación	2 intervalo	3	0	100
(PEN)	fabricación	2 intervalo	3	0	50
(UA)	aprovisionamiento	3 intervalo	2	0	800
(UV)	aprovisionamiento	3 intervalo	2	0	400
(CART)	aprovisionamiento	4 intervalo	4	50	700

Fig. 4.1.6.4 Maestro de artículos de SOLREG

La escala temporal considerada debe ser lo suficientemente fina como para poder suponer que dentro de un intervalo es indiferente cuándo ocurren los acontecimientos. Hemos considerado cuatro tipos de reglas de lotificación:

- tipo 1: producción uno a uno (cantidad a producir igual a la necesidad),
- tipo 2: producción en lotes (cantidad a producir múltiplo del lote),
- tipo 3: producción con lote mínimo (cantidad a producir igual al mayor valor entre el lote y la necesidad),
- tipo 4: producción con stock de seguridad y lote mínimo.

Evidentemente podríamos añadir más tipos de reglas de lotificación.

4.1.6.1 Esquema de base

La estructura de los cálculos que realizaremos para cada uno de los artículos se resume en la *figura 4.1.6.5*, en la que:

- (a) *Necesidades brutas*: producción, uso o retiro previsto total del artículo en cada intervalo. Para los productos acabados (artículos finales) son las cantidades que aparecen en el plan maestro detallado (artículos de demanda independiente), y para los componentes (artículos de demanda dependiente) resultan de la explosión mediante la lista de materiales de la "emisión órdenes planificadas" de sus artículos superiores de nivel más alto (más elaborados), salvo demandas especiales para recambios o elaboraciones exteriores.

- (b) *En almacén*: Existencias iniciales (previstas), función de lo que ocurre en los intervalos anteriores al 1. Sólo deberá reflejarse lo disponible, restando, en su caso, lo reservado.
- (c) *Pendiente de recibir (recepción programada y prevista)*: Cantidades a recibir previstas en virtud de órdenes (de aprovisionamiento o de producción) ya lanzadas en los intervalos anteriores, y que se espera que lleguen y estén disponibles (también conocidas como órdenes pendientes, abiertas o programadas). Pueden figurar cantidades negativas correspondientes a salidas previstas en virtud de órdenes ya lanzadas de fabricación que precisen del artículo como componente y cuyas necesidades no se hayan tenido en cuenta como reservas.
- (d) *Existencias previstas*: Cantidad esperada en stock al final del intervalo, disponible para consumo en los intervalos siguientes. Se calcula restando "necesidades brutas" del intervalo de la suma de "pendiente de recibir" y "recepción órdenes planificadas", del mismo intervalo, más "existencias previstas" del intervalo previo. Cuando se tiene "stock de seguridad" y/o hay "reservado" para órdenes futuras, estas cantidades se añaden a las "necesidades brutas" antes de calcular "existencias previstas".

artículo:	INTERVALOS									
	SI	01	02	03	04	05	06	07	08	09
necesidades brutas	(a) G									
en almacén pendiente de recibir	(b) (c) E									
existencias previstas	(d) H									
necesidades netas	(e) X									
órdenes plan (recepción)	(f) P									
órdenes plan (emisión)	(g) R									

Fig. 4.1.6.5 Estadillo para la realización de los cálculos MRP

- (e) *Necesidades netas*: Resultado de reducir las "necesidades brutas" con los "pendientes de recibir" del intervalo y las "existencias previstas" del intervalo anterior. Indica la cantidad neta de cada artículo que debe suministrarse para satisfacer las necesidades de los artículos superiores o del MPS.
- (f) *Recepción órdenes planificadas*: tamaño de la orden planificada (la orden no se ha lanzado todavía) situada en el intervalo en que se precisa su cumplimiento. Aparece en el mismo intervalo que las "necesidades netas", pero su tamaño estará modificado de acuerdo con la regla de lotificación oportuna. Muestra cuándo la orden se necesita en el stock. Con la lotificación la cantidad de la orden planificada generalmente excede a las "necesidades netas". La diferencia va a engrosar "existencias previstas". Con órdenes unidad-a-unidad, la fila "recepción órdenes planificadas" siempre es igual a la de "necesidades netas".
- (g) *Emisión órdenes planificadas*: Órdenes situadas en el intervalo en que deben lanzarse (o emitirse) para que los artículos estén disponibles cuando los necesita su superior. Es igual a "recepción órdenes planificadas", desplazado el plazo de entrega o de fabricación. "Emisión de órdenes planificadas" a un nivel genera necesidades de materiales componentes a niveles más bajos. Cuando se lanza efectivamente la orden se elimina de la fila de "emisión órdenes planificadas" y "recepción órdenes planificadas" y entra en la de "pendientes de recibir". "Emisión de órdenes planificadas" indica el qué, el cuánto y el cuándo del MRP.

Los cálculos para cada uno de los artículos deben realizarse una vez se han terminado los relativos a sus ascendientes (otros artículos de los que es componente), se ha realizado la explosión de las órdenes planificadas de aquellos, situadas en la fecha de su emisión, y se han agregado los resultados correspondientes al mismo intervalo. Por consiguiente, la forma natural de trabajar será la que corresponde a seguir el orden de los niveles, tal como los hemos numerado, orden creciente de niveles.

4.1.6.2 Desarrollo de los cálculos para el ejemplo

Vamos a proceder a realizar los cálculos para el ejemplo indicado, que acompañaremos de comentarios, cuando sea conveniente, para que pueda seguirse la aplicación de las indicaciones anteriores. Los intervalos considerados son del orden de una semana.

En la *figura 4.1.6.6(i)* se encuentra el plan maestro detallado utilizado, es decir, los retiros deseados de cada uno de los cinco artículos finales en un horizonte de 9 intervalos. En la *figura 4.1.6.6(ii)* se indican los stocks iniciales (o en almacén) previstos, en los que se supone descontadas, en su caso, las reservas, y las cantidades previstas a disponer dentro del horizonte en virtud de órdenes (aprovisionamiento o fabricación) ya lanzadas en firme.

	INTERVALOS								
	01	02	03	04	05	06	07	08	09
SR04	15	15	15	15	12	13	12	13	10
SR06	10	10	10	12	12	14	15	15	15
SR08	5	5	5	5	4	4	4	3	2
SR12	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SR20	2	2	3	3	3	4	4	4	5

Fig. 4.1.6.6(i) Plan maestro detallado

Cantidades previstas (existencias u órdenes)					
Artículo	En almacén	Para (01)	Para (02)	Para (03)	Para (04)
SR04	40	10			
SR06	30	10			
SR08	15	5			
SR12	8	5	5		
SR20	10	3	3		
TRIA	200				
CUA	50	100			
PEN	18		50		
UA	600				
UV	300			400	
CART	300	700			

Fig. 4.1.6.6(ii) Estado de stocks y aprovisionamientos

De hecho la cantidad indicada "en almacén" en 2.4(ii) se refiere a las existencias *no reservadas*, ya que las órdenes de fabricación lanzadas en firme significan la existencia de unas cantidades de los artículos destinadas a dichas órdenes y por tanto no disponibles para otras. Asimismo tampoco están, como es lógico, incluidas aquellas componentes salidas de almacén en virtud de una orden de fabricación pero no incorporadas todavía a un conjunto contabilizado como tal (obra en curso). Estos dos últimos aspectos los podemos evaluar conjuntamente a partir de las órdenes de fabricación en firme. Concretamente, en nuestro caso la situación implícita es la de la *figura 4.1.6.6 (iii)*.

Artículo	En almacén disponible	Reservado + OC	Total en almacén + OC
TRI	200	200	400
CUA	50	60	110
PEN	18	120	138
UA	600	720	1.320
UV	300	422	722
CART	300	175	475

Fig. 4.1.6.6(iii) Reservas y disponibilidades

artículo: SR04	INTERVALOS									
	SI	01	02	03	04	05	06	07	08	09
necesidades brutas		15	15	15	15	12	13	12	13	10
en almacén pendiente de recibir	40	10	(a)							
existencias previstas	40	35	20	5	0	0	0	0	0	0
necesidades netas					10	12	13	12	13	10
órdenes plan (recepción)					10	12	13	12	13	10
órdenes plan (emisión)			(b)	10	12	13	12	13	10	
(a) Datos de partida, en función del stock inicial previsto y de las órdenes emitidas en firme.										
(b) Defasadas un intervalo respecto a la disponibilidad.										

Fig. 4.1.6.7 Tabla del artículo SR04

Vamos a iniciar los cálculos con los artículos de nivel 0, es decir, artículos finales o productos acabados, cuyas necesidades provienen directamente del plan maestro detallado. Incluimos los cálculos para SR04 y SR20 (fig. 4.1.6.7 y 4.1.6.9); del resto de artículos sólo indicamos los resultados (fig. 4.1.6.8).

	INTERVALOS									
	SI	01	02	03	04	05	06	07	08	09
artículo = SR06 órdenes plan (emisión)				2	12	14	15	15	15	
artículo = SR08 órdenes plan (emisión)					4	4	4	3	2	
artículo = SR12 órdenes plan (emisión)				2	4	4	4	4		

Fig. 4.1.6.8 Órdenes planificadas (emisión) para SR06, SR08 Y SR012

artículo: SR20	INTERVALOS									
	SI	01	02	03	04	05	06	07	08	09
necesidades brutas		2	2	3	3	3	4	4	4	5
en almacén pendiente de recibir	10	3	3							
existencias previstas	10	11	12	9	6	3	0	0	0	0
necesidades netas							1	4	4	5
órdenes plan (recepción)							1	4	4	5
órdenes plan (emisión)				(a)	1	4	4	5		
(a) Desplazadas dos intervalos respecto a la disponibilidad										

Fig. 4.1.6.9 Tabla del artículo SR20

Habiendo determinado en forma temporizada las órdenes de montaje a emitir para satisfacer nuestro plan maestro, corresponde ahora analizar las órdenes de producción y de aprovisionamiento, para lo cual deberemos, a través de la lista de materiales, proceder a la explosión de las órdenes para determinar las necesidades brutas de componentes. Para el artículo (TRI) las necesidades pueden tener tres orígenes: (SR04), (SR08) y (SR20), y las necesidades brutas se han evaluado en la *figura 4.1.6.10(i)*.

La determinación de las necesidades netas y órdenes se hará mediante el procedimiento ya descrito (*fig. 4.1.6.10(ii)*)

TRI: REPERCUSIÓN DE LAS NECESIDADES DE LOS NIVELES ANTERIORES									
INTERVALO	01	02	03	04	05	06	07	08	09
órdenes SR04 x 4			40	48	52	48	52	40	
órdenes SR08 x 8				32	32	32	24	16	
órdenes SR20 x 20				20	80	80	100		
TOTAL			40	100	164	160	176	56	

Fig. 4.1.6.10(i) Necesidades brutas de TRI

artículo: TRI	INTERVALOS									
	SI	01	02	03	04	05	06	07	08	09
necesidades brutas				40	100	164	160	176	56	
en almacén pendiente de recibir	200									
existencias previstas	200	200	200	200	60	196	36	160	104	
necesidades netas						104		140		
órdenes plan (recepción)						300	(a)	300		
órdenes plan (emisión)				300		300	(b)			
(a) Lotes de 300 unidades										
(b) Plazo de 2 intervalos entre emisión y disponibilidad										

Fig. 4.1.6.10(ii) Tabla del artículo TRI

Los artículos (CUA) y (PEN) se calculan análogamente, aunque las necesidades en ellos resultan únicamente de la "explosión" de un único artículo padre, el SR06 y el SR12 respectivamente. Los resultados aparecen en la *figura 4.1.6.11*.

	INTERVALOS									
	SI	01	02	03	04	05	06	07	08	09
artículo = CUA órdenes plan (emisión)				100	100		100			
artículo = PEN órdenes plan (emisión)			50	50		50				

Fig. 4.1.6.11 Órdenes planificadas (emisión) de CUA y PEN

Terminado el nivel 1 podemos pasar a los artículos de procedencia exterior, de los cuales el único que ofrecerá dificultades especiales es precisamente (CART), ya que su forma de gestión es especial. Para determinar las necesidades brutas de UA debemos proceder a la explosión de la *figura 4.1.6.12(i)* y el cálculo de las órdenes aparece en la *4.1.6.12 (ii)*. El tratamiento de UV es análogo, y únicamente recogemos el resultado final en la *figura 4.1.6.13*. El artículo CART ha dado lugar a los cálculos de las *figuras 4.1.6.14 (i)* y *4.1.6.15 (ii)*.

UA: REPERCUSIÓN DE LAS NECESIDADES DE LOS NIVELES ANTERIORES									
INTERVALO	01	02	03	04	05	06	07	08	09
órdenes SR04 x 6			60	72	78	72	78	60	
órdenes SR06 x 12			24	144	168	180	180	180	
órdenes SR08 x 12				48	48	48	36	24	
órdenes SR12 x 30			60	120	120	120	120		
órdenes SR20 x 30				30	120	120	150		
TOTAL			144	414	534	540	564	264	

Fig. 4.1.6.12(i) Necesidades brutas de UA

artículo: UA	INTERVALOS									
	SI	01	02	03	04	05	06	07	08	09
necesidades brutas				144	414	534	540	564	264	
en almacén pendiente de recibir	600									
existencias previstas	600	600	600	456	42	308	568	4	540	
necesidades netas						492	232		260	
órdenes plan (recepción)					(a)	800	800		800	
órdenes plan (emisión)		(b)	800	800		800				
(a) Lotes de 800 unidades										
(b) Desplazadas 3 intervalos respecto a la disponibilidad										

Fig. 4.1.6.12(ii) Tabla del artículo UA

artículo = UV	INTERVALOS									
	SI	01	02	03	04	05	06	07	08	09
órdenes plan (emisión)				400	400					

Fig. 4.1.6.13 Órdenes planificadas (emisión) de UV

CART: REPERCUSIÓN DE LAS NECESIDADES DE LOS NIVELES ANTERIORES									
INTERVALO	01	02	03	04	05	06	07	08	09
órdenes TRI x 0,8			240		240				
órdenes CUA x 1,0			100	100		100			
órdenes PEN x 1,5		75	75		75				
TOTAL		75	415	100	315	100			

Fig. 4.1.6.14(i) Necesidades brutas de CART

artículo: CART	INTERVALOS									
	SI	01	02	03	04	05	06	07	08	09
necesidades brutas			75	415	100	315	100			
en almacén pendiente de recibir	300	700								
existencias previstas	(a) 250	950	875	460	360	45	645			
necesidades netas							55			
órdenes plan (recepción)					(b)		700			
órdenes plan (emisión)	(c)		700							
(a) Descontamos el stock de seguridad, que son 50 unidades (téngase en cuenta que el horizonte de programación, de 9 intervalos, resulta demasiado reducido para planificar con comodidad este artículo, para el cual la suma de plazos es $2 + 2 + 4 = 8$) (b) Lotes de 700 unidades (c) Desplazadas 4 intervalos respecto a la disponibilidad										

Fig. 4.1.6.14(ii) Tabla del artículo CART

4.1.6.3 Actualización de un programa

A partir de los resultados de los cálculos anteriores se adoptarán algunas decisiones en firme, emitiendo las órdenes de fabricación o aprovisionamiento oportunas, mientras que otras indicaciones se considerarán solamente a nivel informativo. En principio las órdenes en firme corresponderán a los primeros intervalos del horizonte (por ejemplo el 1 y el 2), mientras que las indicaciones relativas a los últimos (a partir del 5º) no poseen ningún valor pues en la realidad quedarían afectadas por los datos del plan maestro correspondiente a intervalos que están más allá del horizonte considerado. Transcurrido el período de tiempo correspondiente a la frecuencia de actualización, se incorporarán a los diferentes ficheros básicos las modificaciones a que hubiese lugar y se procederá a una nueva explotación del procedimiento.

En algunas circunstancias la revisión global del programa (regeneración) puede ser muy costosa en tiempo, por lo que las modificaciones menores se analizarán por diferencia

respecto al programa inicial (cambio neto), evitando de esta forma la repetición inútil de gran cantidad de cálculos.

A partir del mismo ejemplo SOLREG, desarrollado hasta el momento, vamos a realizar una revisión suponiendo que se han desarrollado los acontecimientos exactamente como se habían previsto (aunque habitualmente no será así). El plan maestro detallado desde el intervalo 05 hasta el 13 es el de la *figura 4.1.6.15*, y la situación de stocks la de la *4.1.6.16*, en la que hemos supuesto que sólo se han emitido las órdenes cuya emisión correspondía a semanas vencidas. Repitiendo el procedimiento indicado obtendríamos las órdenes planificadas de la *figura 4.1.6.17*.

	INTERVALOS								
	05	06	07	08	09	10	11	12	13
SR04	12	13	12	13	10	12	13	14	15
SR06	12	14	15	15	15	14	13	12	11
SR08	4	4	4	3	2	3	4	5	5
SR12	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SR20	3	4	4	4	5	4	3	3	2

Fig. 4.1.6.15 Plan maestro detallado (actualización)

Cantidades previstas (existencias u órdenes)					
Artículo	En almacén	Para (05)	Para (06)	Para (07)	Para (08)
SR04	0	12			
SR06	0	12			
SR08	0	4			
SR12	2	2	4		
SR20	6		1		
TRIA	60	300			
CUA	66	100	100		
PEN	46	50			
UA	12	800	800		
UV	344		400	400	
CART	360		700		

Fig. 4.1.6.16 Situación de stocks (actualización)

	INTERVALOS								
	05	06	07	08	09	10	11	12	13
SR04	13	12	13	10	12	13	14	15	
SR06	14	15	15	15	14	13	12	11	
SR08	4	4	3	2	3	4	5	5	
SR12	4	4	4	4	4	4	4		
SR20	4	4	5	4	3	3	2		
TRI	300		300			300			
CUA		100	100	100	100				
PEN	50	50	50	50	50				
UA	800	800		800					
UV	400	400		400					
CART	700								

Fig. 4.1.6.17 Órdenes planificadas (emisión)

4.1.7 MRP II: Ampliación de funciones

La descripción anterior corresponde a la idea inicial del MRP, pero queda claro que el mismo procedimiento es aplicable al cálculo de necesidades de elementos necesarios para la producción, que no sean estrictamente materiales, pero que estén de alguna forma ligados con los productos terminados a través de la información técnica del producto y/o del proceso. Ya hemos hecho alusión a ello en diversas ocasiones cuando hemos mencionado el plan de necesidades de capacidad (CRP = *Capacity Requirements Planning*). Pero otros elementos planificables o cuyas necesidades pueden obtenerse en forma semejante, además de la carga de instalaciones y mano de obra, incluyen los embalajes, los costes, etc.

Ello ha llevado a diversos autores, en especial Oliver Wight, a dar una nuevo significado a las siglas MRP: planificación de recursos de fabricación (*Manufacturing Resource Planning*), e intentar construir detrás de él una filosofía completa de gestión de producción. Con la pretensión de distinguir entre ambas concepciones se utilizan las siglas MRP I para la primera y MRP II para la nueva. Algunas características adicionales del MRP II respecto al MRP I se indican en la *figura 4.1.7.1*.

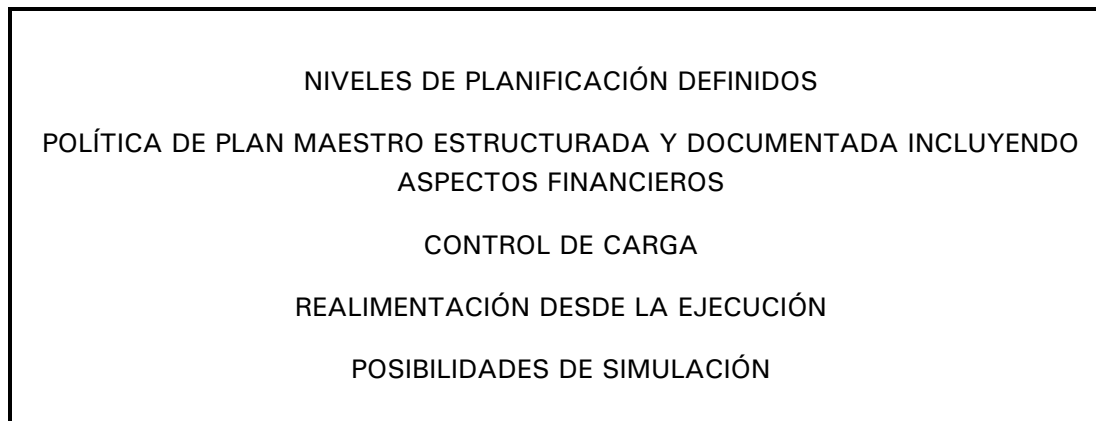


Fig. 4.1.7.1 Características adicionales del MRP II respecto al MRP I

Puede observarse que dichas características consisten en:

- Establecimiento de diferentes niveles jerárquicos de toma de decisiones (planificación) en forma semejante a nuestra concepción sobre la gestión de producción, incluyendo el plan maestro global (*production plan* en la terminología MRP), el plan maestro detallado (*master plan schedule* en la terminología MRP), el cálculo de necesidades (*materials requirement planning*) y la programación (*scheduling*); en cada nivel debe realizarse un análisis de factibilidad, generalmente a través de un cálculo de las necesidades de recursos que representa la decisión adoptada (fig. 4.1.7.2).
- Una formalización de los procedimientos a seguir para la determinación del plan maestro detallado y la inclusión de los aspectos económicos además de los comerciales y productivos.
- La realización del cálculo de necesidades de carga que representan las órdenes (en firme y planificadas) a través del CRP (*capacity requirement planning*) y el control de su factibilidad mediante el análisis de los perfiles de carga en el tiempo.
- La realimentación del sistema a través de datos originados en la ejecución, preferentemente en forma automática.
- La posibilidad instrumental de realizar simulaciones, es decir, de considerar diferentes alternativas, analizar sus consecuencias y adoptar aquella que más se adapte a los objetivos buscados.

De lo anterior puede deducirse que desde el MRP I (con consideración exclusiva de materiales), hasta el MRP II con todos los dispositivos, existen un conjunto de estadios intermedios de mayor o menor nivel de complejidad.

4.1.7.1 Planificación de la carga: diferentes niveles

En la *figura 4.1.7.2* se describe en forma simplificada las relaciones entre las diversas planificaciones relativas a los materiales y relativas a la carga en un sistema MRP II. Hemos utilizado en algunos casos la palabra *carga* en lugar del término habitual empleado en inglés *capacity* ya que consideramos que la capacidad está constituida por el nivel de recursos disponibles para hacer frente a la carga. En principio encontramos tres niveles de planificación con su doble vertiente:

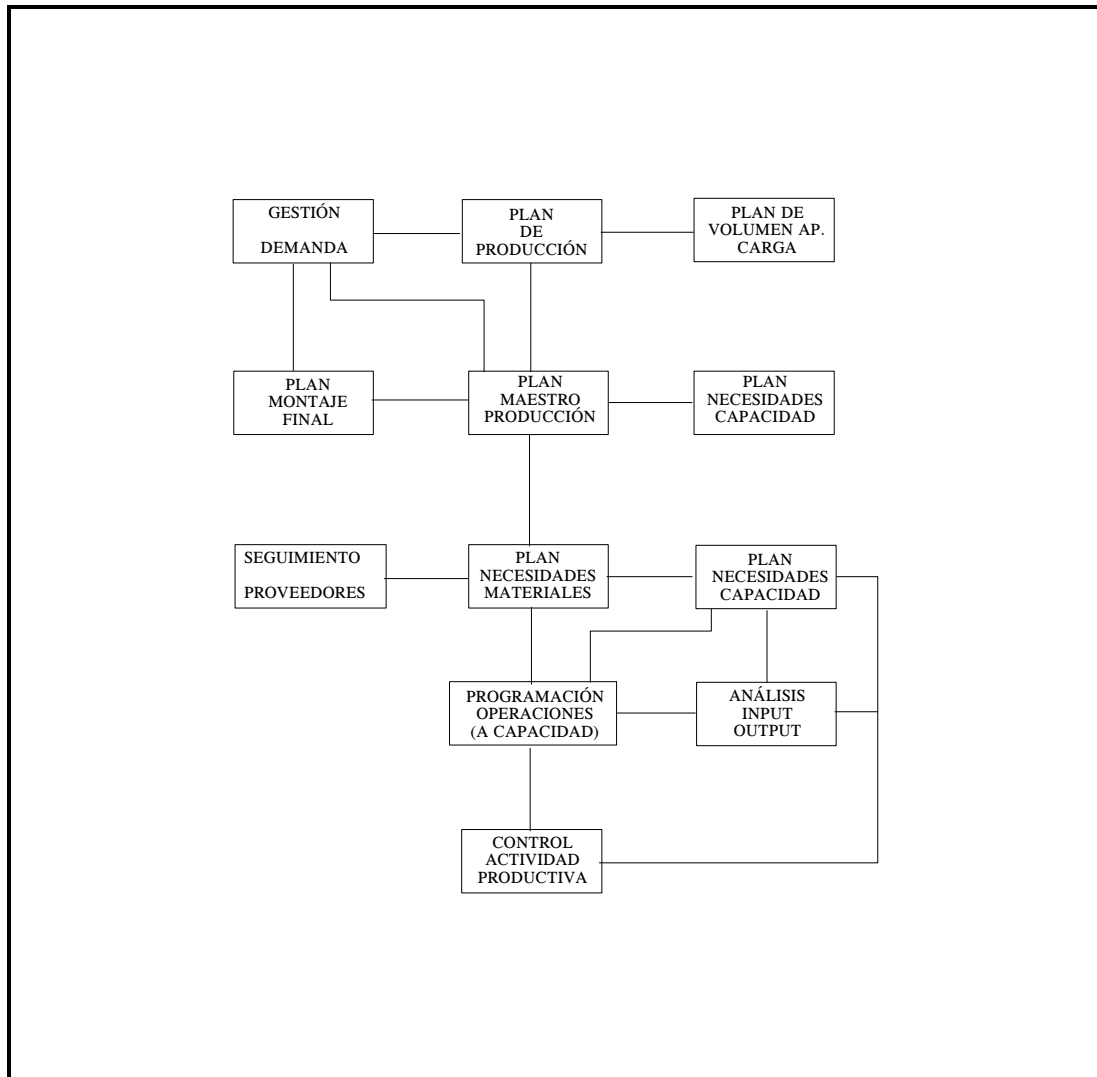


Fig. 4.1.7.2 Estructura de los sistemas MRP II para el control de la carga según APICS (Wemmerlöv, *Capacity Management Techniques*, APICS, 1984)

Plan de producción	Plan de necesidades de recursos (RRP)
Plan maestro de producción	Plan de volumen aproximado de carga (RCCP)
Plan de necesidades de materiales	Plan de necesidades de capacidad (CRP)

Vamos a describir brevemente el contenido y objetivo de cada uno de estos planes relativos a la carga, aunque en el *capítulo 6* ampliaremos algunas ideas del CRP y del análisis entrada/salida.

4.1.7.2 Plan de necesidades de recursos

El plan de necesidades de recursos tiene por objeto establecer las modificaciones de capacidad instalada en el sistema productivo (aumentos, disminuciones). Como en general estas modificaciones exigen, para ser realizadas, un tiempo apreciable, se basan en un plan de producción a nivel muy agregado, y sobre un horizonte largo (de uno a tres años por lo menos). Los valores establecidos en el plan de necesidades de recursos no exigen un grado de aproximación excesivo, por lo que se establecen habitualmente por procedimientos poco sofisticados, fundamentalmente a través de *factores de planificación de capacidad* (es decir, unos coeficientes basados esencialmente en las estadísticas que ligan las unidades producidas con las necesidades de capacidad en uno o pocos puntos del sistema productivo).

4.1.7.3 Plan de volumen aproximado de carga

El plan de volumen aproximado de carga (*Rough cut capacity plan*) tiene por objeto determinar la factibilidad "a priori" del plan maestro de producción. Si nuestro sistema MRP comprende dos niveles de realización del plan maestro (como es habitual en ciertas industrias), a cada uno corresponderá su plan de volumen aproximado de carga, al nivel de detalle correspondiente.

El procedimiento de trabajo es el siguiente: se establece un plan maestro de producción tentativo a partir del cual se determina el plan de carga que representa. Dicho plan se compara con las disponibilidades de capacidad existentes. En caso de desajuste, se procede a la modificación del plan maestro o, alternativamente, a modificar la capacidad disponible prevista, mediante la adopción de las decisiones oportunas al efecto. Estas modificaciones prosiguen hasta que se considera que las cargas y las capacidades son suficientemente coherentes.

Los desajustes que en principio no pueden aceptarse son aquéllos en los que globalmente, o puntualmente, la carga calculada a partir del plan maestro supera a la capacidad. No obstante la situación inversa también puede llevar a estudiar modificaciones del plan maestro, para intentar ocupar intervalos que según el plan de carga serían de alta inactividad.

No existe una metodología general para la realización de las modificaciones, que en todo caso dependen muchísimo de las circunstancias de la empresa y sistema productivo involucrados. En principio, y dado que el grado de agregación empleado en general (familias de productos, instalaciones o maquinarias cuello de botella) es importante, el planificador humano experimentado, ayudado por un soporte informático capaz de realizar los cálculos (transformación del plan maestro en plan de carga, y determinación de las diferencias, en más o en menos, de las cargas y capacidades) es suficientemente eficaz.

Los procedimientos para pasar del plan maestro al plan de carga deben ser, en principio, algo más sofisticados que el procedimiento de los factores de planificación de capacidad; por lo menos debemos pensar en unos factores desagregados por producto o por familia de productos. Este concepto corresponde a lo que una traducción directa del inglés nos conduciría a "lista de capacidad" (*Bill of Capacity*), nombre construido a semejanza de lista de materiales, pero que nosotros llamaremos, más correctamente "tabla o matriz de cargas por tipo". No se trata de ninguna idea nueva en nuestra exposición (véase la matriz *U* en el apartado sobre el método gozinto, 4.1.3; ahora estamos describiendo sólo una parte de la misma). La tabla de cargas por tipo intenta relacionar el consumo de recursos en diferentes secciones, talleres o unidades productivas con una unidad de cada uno de los productos terminados (los susceptibles de aparecer en el plan maestro) que las precisan.

SECCIÓN	PRODUCTO TERMINADO						
	A	B	C	D	E	F	.....
0001	0,239	0,321	))	))	0,118	))	.....
0002	0,600	0,512	0,344))))))	
0003	))	0,167	0,225	0,067	0,110))	
TOTAL	1,173	1,623	0,987	0,452	1,235	2,018	.....

Fig. 4.1.7.3 Cargas por tipo (en horas estándar, incluyendo preparación)

Es fácil escribir la tabla de cargas por tipo de los ejemplos tratados en los apartados anteriores, la fábrica de muebles metálicos y el caso SOLREG. Como se ha indicado, basta tomar la parte adecuada de la matriz:

$$U = B \cdot T$$

SECCIÓN	PRODUCTOS	
	001	002
C	4,01	8,02
E	6,25	12,50
M	8	12
TOTAL	18,26	32,52

Fig. 4.1.7.4 Cargas por tipo (muebles metálicos, en minutos)

SECCIÓN	PRODUCTOS				
	SR04	SR06	SR08	SR12	SR20
0001	12	24	24	60	60
0002	7	13	13	31	31
TOTAL	19	37	37	91	91

Fig. 4.1.7.5 Cargas por tipo caso (SOLREG, en minutos)

Por tanto al plan maestro de la *figura 4.1.7.6* le corresponde un plan de carga fácil de calcular a través de multiplicaciones y sumas (*figura 4.1.7.7*).

	INTERVALOS								
	01	02	03	04	05	06	07	08	09
SR04	15	15	15	15	12	13	12	13	10
SR06	10	10	10	12	12	14	15	15	15
SR08	5	5	5	5	4	4	4	3	2
SR12	4	4	4	4	4	4	4	4	4
SR20	2	2	3	3	3	4	4	4	5

Fig. 4.1.7.6 Plan maestro detallado para el cálculo de cargas

SECCIÓN	INTERVALOS								
	01	02	03	04	05	06	07	08	09
1	900	900	960	1.008	948	1.068	1.080	1.068	1.068
2	486	486	517	543	509	573	579	573	570

Fig. 4.1.7.7 Plan de cargas (en minutos) correspondiente al plan maestro anterior

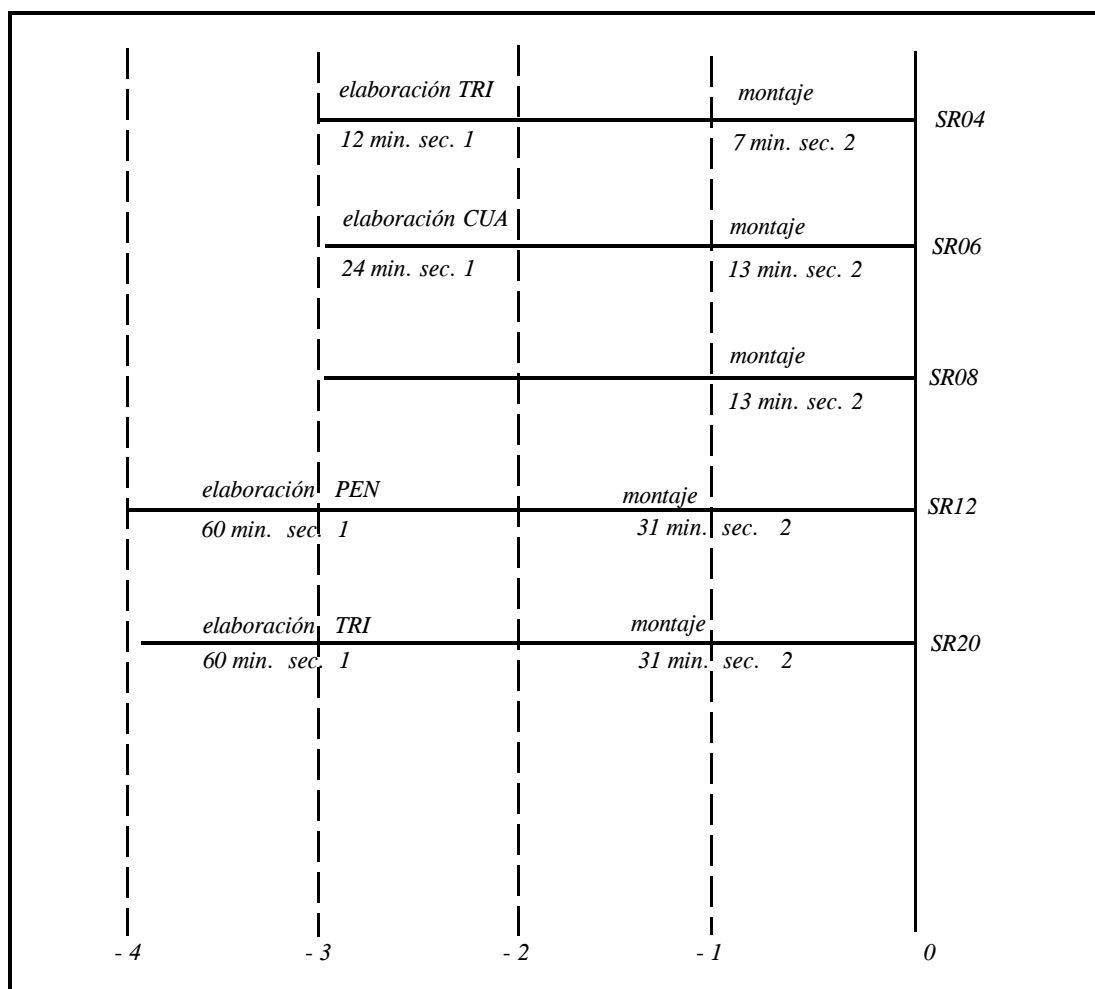


Fig. 4.1.7.8 Gráfico de necesidades de carga temporizado: Se muestran, para el caso SOLREG, las necesidades de capacidad de los diferentes productos terminados (en minutos) distribuidas en el tiempo

	INTERVALOS (en tiempos relativos)								
	-08	-07	-06	-05	-04	-03	-02	-01	00
SR04 SECCIÓN 1 SECCIÓN 2							12		7
SR06 SECCIÓN 1 SECCIÓN 2							24		13
SR08 SECCIÓN 1 SECCIÓN 2							24		13
SR12 SECCIÓN 1 SECCIÓN 2						60		31	
SR20 SECCIÓN 1 SECCIÓN 2						60		31	

Fig. 4.1.7.9 Cargas por tipo (en minutos) temporizadas. Se ha situado la carga en el intervalo de inicio de la operación

Una de las críticas que pueden hacerse al procedimiento de la tabla de cargas por tipo es la de que no tiene en cuenta los plazos de producción, los cuales tenderán a una distribución de las cargas en los intervalos de forma diferente a la que hemos considerado. A esta crítica responde una ligera modificación del procedimiento que nos conduce a la tabla de cargas por tipo temporizadas (*Time-Phased Bill of Capacity*), que tiene en cuenta los desplazamientos temporales de la carga. En las figuras adjuntas (4.1.7.8, 4.1.7.9, 4.1.7.10 y 4.1.7.11) hemos considerado los mismos plazos de realización de las operaciones tenidos en cuenta en el capítulo anterior para desarrollar el ejemplo de MRP I, es decir:

montaje SR04 1 intervalo
montaje SR06 1 intervalo
montaje SR08 1 intervalo
montaje SR12 2 intervalos
montaje SR20 2 intervalos
elaboración TRI 2 intervalos

elaboración CUA 2 intervalos
 elaboración PEN 2 intervalos

No se ha tenido en cuenta, sin embargo, dado que estamos estableciendo un plan de volumen aproximado de carga, la influencia de la lotificación.

	INTERVALOS											
	-02	-01	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
SECCIÓN 1	360	900	900	960	1.008	1.008	1.068	1.080	1.128	528		
SECCIÓN 2			186	486	517	517	543	540	573	579	604	291

Fig. 4.1.7.10 Plan de carga (en minutos) correspondiente al plan maestro anterior (caso SOLREG). La carga se ha asignado íntegramente al intervalo de inicio de la operación

	INTERVALOS											
	-02	-01	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
SECCIÓN 1	180	630	930	960	984	1.008	1.038	1.074	1.104	828	264	
SECCIÓN 2			93	486	502	517	543	524	573	579	589	430

Fig. 4.1.7.11 Plan de carga (en minutos) correspondiente al plan maestro anterior (caso SOLREG). La carga se ha repartido equitativamente entre los intervalos durante los cuales se desarrollan las operaciones

4.1.7.4 Plan de necesidades de capacidad

Los procedimientos de planificación de capacidad descritos anteriormente transforman un plan maestro detallado, establecido para productos terminados o familias de productos, en carga del taller. Sin embargo la mayoría de los centros de trabajo para los cuales se estiman las necesidades de capacidad no actúan directamente sobre los productos terminados sino sobre componentes y subconjuntos, por lo que una técnica más refinada para planificar la carga debe basarse en las órdenes planificadas y no sobre el plan maestro.

		05	06	07	08	09	10	11
TRI		300		300			300	
CUA			100	100	100	100		
PEN		50	50	50	50	50		

Fig. 4.1.7.12 Órdenes planificadas (emisión) de los artículos de nivel 1 (caso SOLREG, actualización)

		05	06	07	08	09	10	11
Carga anterior		400						
TRI			900		900			900
CUA				400	400	400	400	
PEN			250	250	250	250	250	
TOTAL		400	1.150	650	1.550	650	650	900

Fig. 4.1.7.13 Carga (en minutos) de la sección 1 correspondiente a las órdenes de los artículos de nivel 1 (caso SOLREG, actualización). Capacidad infinita. La carga se ha acumulado en el intervalo siguiente a la emisión de la orden

Las órdenes planificadas se generan automáticamente durante el proceso de MRP, en el que se han tenido en cuenta el stock y la obra en curso, los plazos y las reglas de lotificación. Las filas "órdenes planificadas (emisión)" vistas en las tablas de los apartados anteriores constituyen la base para el establecimiento del plan de necesidades de capacidad (*Capacity Requirements Planning* = CRP). La forma de establecerlo ha sido ya expuesta en detalle durante el desarrollo del método gozinto. El CRP nos dará, para cada intervalo en que se divide el horizonte de planificación (por ejemplo, semanas) la carga de cada una de las instalaciones (por ejemplo, en horas estándar). Para la distribución en el tiempo de la carga existen diversas posibilidades; una de las más utilizadas es una técnica de programación "hacia atrás" (*backward scheduling*) que toma la fecha de vencimiento en que la orden debe estar disponible (*due date*) como un punto fijo y entonces determina la fecha en que cada operación (en que se descompone la orden) debe comenzar, utilizando unos "plazos inter-operaciones" estimación del tiempo que consumen normalmente los trabajos esperando el transporte, pasando de un centro de trabajo al siguiente y esperando en cola a ser procesados. Este procedimiento será detallado en el **capítulo 6**.

Como ejemplo de un procedimiento más simple hemos tomado las órdenes planificadas (emisión) del caso SOLREG indicadas en la *figura 4.1.7.12*, y hemos calculado la carga correspondiente en la Sección 1. Acumulando dicha carga en el intervalo siguiente al de emisión obtendremos los resultados de la *figura 4.1.7.13* y distribuyéndolas por igual a lo largo del plazo, también a partir del mismo intervalo los de la *4.1.7.14*. La carga pendiente, debido a las órdenes emitidas en firme con anterioridad, es diferente en un caso o en el otro, debido a la adopción de idéntico criterio. La distribución de las cargas totales

		05	06	07	08	09	10	11	12
Carga anterior		975	200						
TRI			450	450	450	450		450	450
CUA				200	400	400	400	200	
PEN			125	250	250	250	250	125	
TOTAL		975	775	1.100	1.100	1.100	650	775	450

Fig. 4.1.7.14 carga (en minutos) de la sección 1 correspondiente a las órdenes de los artículos de nivel 1 (caso SOLREG, actualización). Capacidad infinita. La carga se ha acumulado a lo largo del plazo a partir del intervalo siguiente al de emisión de la orden

en los intervalos es desigual, lo que puede dar lugar a sobrepasamientos de la capacidad de la sección. Suponiendo que la capacidad de la misma es de 1000 minutos por intervalo, en los intervalos 08 y 09 se produce sobrecarga que podemos solventar redistribuyendo las cargas en los intervalos de su plazo. Una solución posible es la de la *figura 4.1.7.15*. Además de la representación tabular hemos utilizado una gráfica en las *figuras 4.1.7.16* y *4.1.7.17*.

		05	06	07	08	09	10	11	12
Carga anterior		975	200						
TRI			450	450	450	450		450	450
CUA				200	400	400	400	200	
PEN			250	250	125	125	375	125	
TOTAL		975	900	900	975	975	775	775	450

Fig. 4.1.7.15 Carga (en minutos) de la sección 1 correspondiente a las órdenes de los artículos de nivel 1 (caso SOLREG, actualización). Se ha considerado el límite de capacidad. La carga se ha acumulado a lo largo del plazo a partir del intervalo siguiente al de emisión de la orden

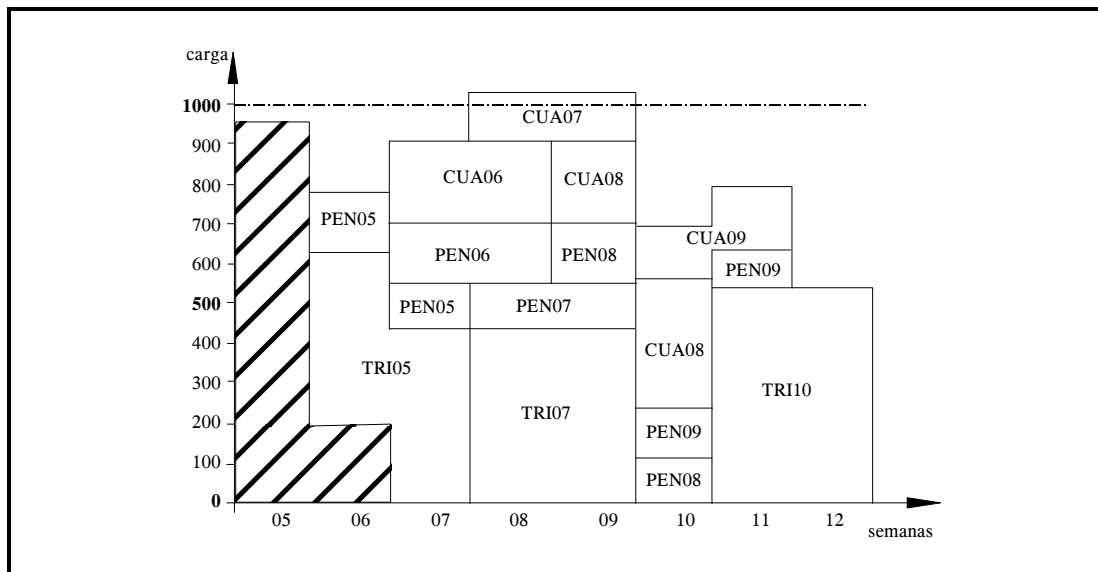


Fig. 4.1.7.16 Plan de necesidades de capacidad (a capacidad infinita). Para el ejemplo SOLREG y la sección de elaboración se representa la carga por intervalo (indicando a qué orden corresponde). Si la capacidad de la instalación es de 1.000 minutos, hay sobrecarga en los intervalos 08 y 09

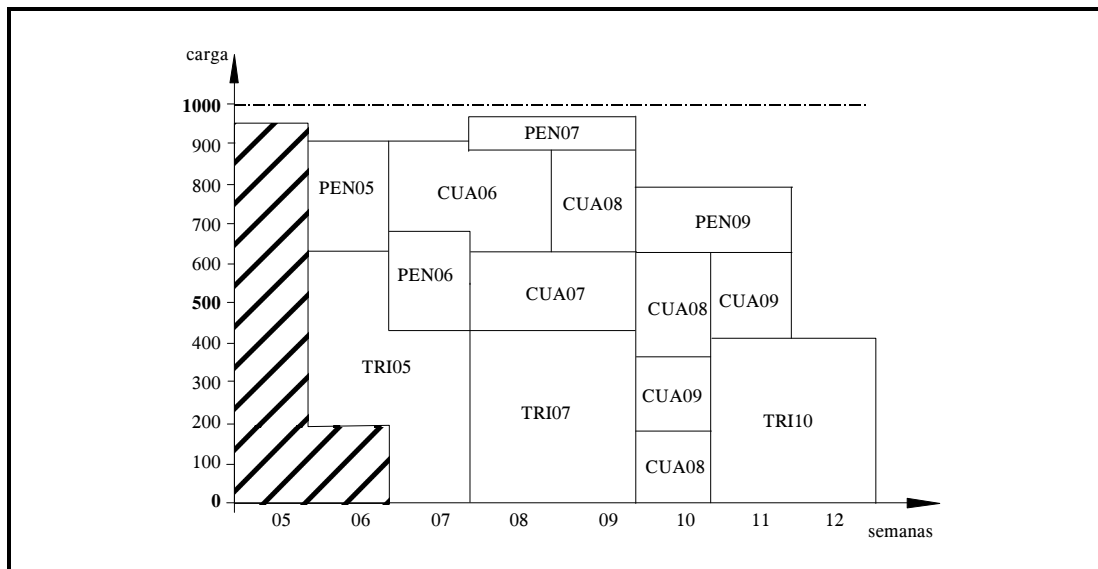


Fig. 4.1.7.17 Plan de necesidades de capacidad (teniendo en cuenta el límite de capacidad): Las sobrecargas que aparecían en la figura 4.1.7.15 se han reducido a niveles admisibles (acumulando dicha carga al primer intervalo posible). La nueva distribución de cargas implica la concentración en un intervalo de tres órdenes (correspondientes al artículo PEN)

Las necesidades de información para el CRP son:

- El plan maestro detallado
- Un sistema MRP
- Las bases de datos del MRP que incluyan:
 - * Lista de materiales
 - * Situación de stock (disponible en mano más recepción programada)
 - * Procedimientos de lotificación
 - * Plazos de fabricación para planificación
- Los ciclos (rutas y tiempos estándar)
- Control de actividad productiva (*Production Activity Control*) que indique el estado de las órdenes abiertas (operaciones ya realizadas, puesto de trabajo en que se halla la orden y estado, en cola, en proceso, esperando el traslado)
- Parámetros de programación:
 - * Duración estimada media en cola en cada centro
 - * Plazos de transferencia entre centros.

Para situaciones industriales normales la cantidad de información y de cálculo implicado por un CRP es grande, sobre todo si se recurre a procedimientos sofisticados de distribución de la carga a lo largo del plazo, por lo que debe tratarse informáticamente, y aún así el trabajo es considerable. Sin embargo la precisión del CRP, a pesar de su complejidad, es discutible, ya que se basa en muchas estimaciones de valores medios. Por ello no es utilizable para la toma de decisiones a corto plazo, que suelen ligarse con la programación de operaciones (a capacidad finita), que veremos en el **capítulo 6**.

4.1.7.4 Implantación y crítica del MRP II

MRP II es un desarrollo "natural" de MRP I, pero exige mucha más disciplina y fiabilidad de los datos. Oliver Wight define cuatro clases o niveles de definición de los sistemas MRP:

Clase A: Sistemas en bucle cerrado utilizado a la vez para planificar materiales y capacidad. El plan maestro se establece por niveles y lo utiliza la alta dirección para la conducción de la empresa. Se reciben la mayoría de los artículos en plazo, los stocks están bajo control y no se utilizan expedidores o muy poco.

Clase B: Sistemas en bucle cerrado con posibilidades de planificación de materiales y de capacidad. Sin embargo, el plan maestro de producción es de aproximación grosera. La alta dirección no basa su actuación en el sistema. Se han obtenido reducciones de stock, pero la capacidad se sobrepasa en ocasiones y se utilizan expedidores.

Clase C: Las órdenes se determinan únicamente a partir de la planificación de necesidades de materiales. La planificación de capacidad se realiza informalmente con un plan maestro probablemente de aproximación grosera. Se utilizan expedidores para controlar el flujo de trabajo. Se han logrado reducciones de stocks modestas.

Clase D: El sistema MRP existe casi exclusivamente en el departamento de informática. Muchos datos son poco fiables. Para dirigir la empresa siguen utilizándose los métodos informales. Se han obtenido pocos beneficios del sistema MRP.

En una encuesta realizada por la APICS a 1.700 empresas en los Estados Unidos en 1982, de las 679 que contestaron, 433 (es decir el 64%) estaban utilizando de alguna manera u otra un sistema MRP, y la distribución en clases indicada era la siguiente:

<i>Clase A:</i>	9,5%
<i>Clase B:</i>	29,2%
<i>Clase C:</i>	48,6%
<i>Clase D:</i>	12,7%

Estrictamente sólo la *clase A* puede considerarse que se encuentra inmersa en el MRP II, mientras que la *clase B* se encuentra posiblemente en camino. Las proporciones anteriores dan una idea, por tanto, de la dificultad de adopción de un sistema MRP II.

En la *figura 4.1.7.18* se indica un esquema para la implantación del MRP II adaptado de O. Wight. Puede observarse la gran importancia dedicada a la formación y mentalización a todos los niveles. Otro aspecto a destacar es la importancia reducida (relativamente) atribuida a las consideraciones informáticas, que constituye sólo un aspecto a desarrollar en paralelo con otros temas. Este enfoque es antagónico con algunas ideas ampliamente difundidas de que el MRP es un tema informático; aquí como en muchos otros campos la informática es un instrumento, necesario probablemente, pero que debe ser utilizado adecuadamente en un entorno bien preparado organizativamente.

Algunas de las ventajas de un sistema MRP II ya se han indicado. No es la menor la de proporcionar una metodología de planificación y control que conduce a una base de datos integrada. A través de la misma MRP II garantiza una comunicación flexible entre los módulos de ejecución y planificación.

Entre los puntos débiles de MRP II, el ligado con la planificación de la capacidad a capacidad infinita es el primero que cabe citar. Para que una operación pueda desarrollarse

es necesario que estén disponibles el material, las herramientas y el centro de trabajo (máquinas y plantilla). Puesto que MRP II deriva de MRP I, el aspecto disponibilidad del material es el acentuado con detrimento de los otros dos. Un segundo aspecto corresponde a la lotificación, los procedimientos disponibles, incluso los más sofisticados, se aplican a un solo artículo; sin embargo las necesidades de los diferentes artículos no son independientes entre sí, concepto situado en la base del MRP. Las necesidades de un artículo provienen de las necesidades de los artículos situados en niveles anteriores, y por tanto de los procedimientos de lotificación utilizados para ellos. La lotificación independiente de los artículos conduce a una sub-optimización, y mejores resultados globales podrían obtenerse considerando más de un artículo al lotificar, si esto fuese materialmente posible.

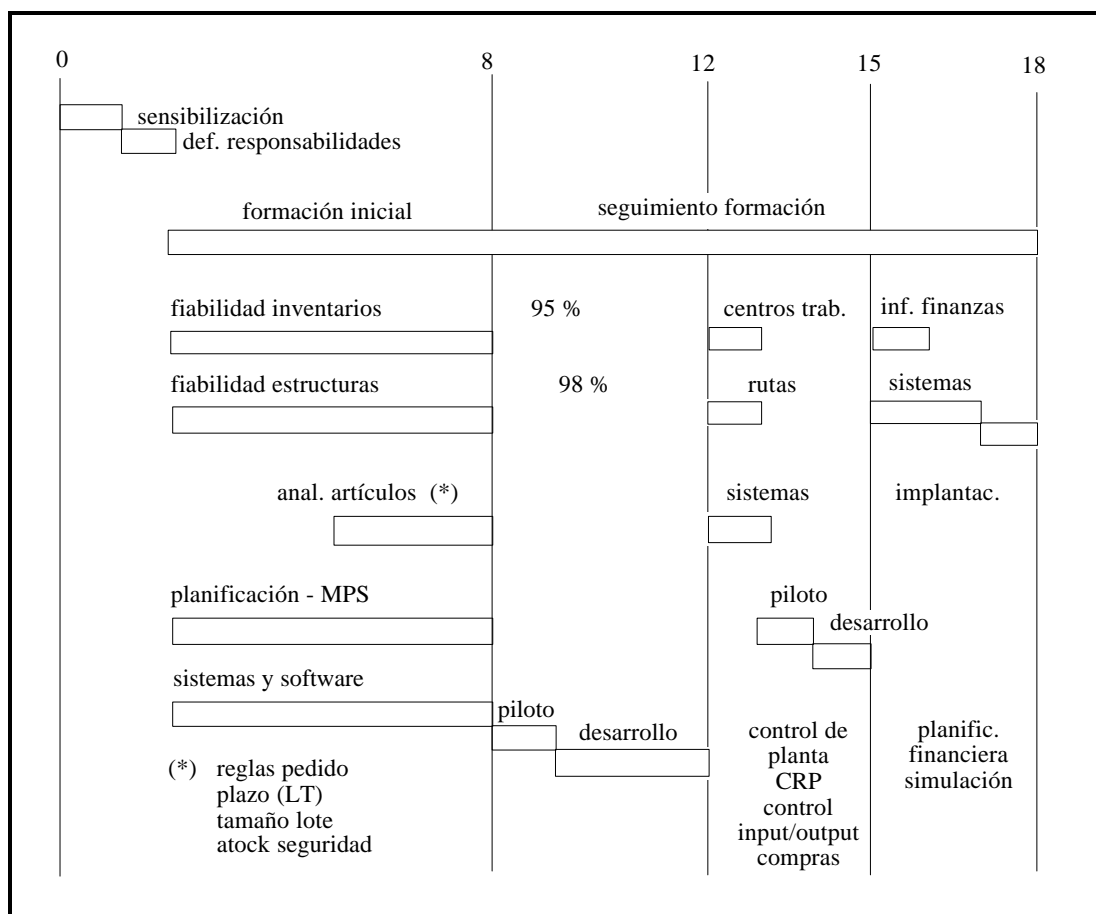


Fig. 4.1.7.18 Planificación de una implantación MRP II acorde con los principios de O. Wight

Un tercer aspecto proviene de la secuenciación y de los tiempos de preparación. Normalmente MRP II no considera que los tiempos de preparación dependan no sólo de la operación a realizar sino también de la operación anterior. Si este hecho es muy importante en el sistema productivo considerado, la secuenciación debe realizarse independientemente del sistema MRP II, a partir de una lista de operaciones y prioridades por centro. Finalmente otro punto difícil de tratar en MRP II es el de las rutas alternativas, que esencialmente debería tenerse en cuenta a partir de una visión global de la situación, y no secuencialmente y sobre partes de la misma. Todos los aspectos anteriores no hacen más que reafirmar la conclusión de que un buen sistema MRP II puede descender hasta el nivel de la programación global, pero que para la programación detallada son precisas herramientas de otro tipo.

4.2 Bibliografía

- [01] COMPANYS, R; FONOLLOSA, J. B. *Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT*. Marcombo, 1989.
- [02] FOGARTY, D. W; HOFFMAN, Th. R. *Production and Inventory Management*. South-Western Pub. Co., 1983.
- [03] LARRAÑETA, J. C; ONIEVA, L. *Métodos modernos de gestión de producción*. Alianza ED., 1988.
- [04] MIZE, J. H; WHITE, C. R; BROOKS, G. H. *Planificación y Control de Operaciones*. Prentice-hall internacional, 1973.
- [05] ORLICKY, J. *Material Requirements Planning*. McGraw-Hill, 1974.
- [06] VASZONYI, A. *Scientific Programming in Business and Industry*. Wiley, 1958
- [07] VOLLMAN, T.E; BERRY, W. L; WHYBARK, D. C. *Manufacturing Planning and Control Systems*. Dow Jones-Irwin, 1984.
- [08] WEMMERLÖV, U. *Capacity Management Techniques*. Apics, 1984
- [09] WIGHT, O. *MRP II: Unlocking America's productivity potential*. Oliver Wight Pub., 1981

Comentarios

El método gozinto apareció en [06] y está bien desarrollado en [04], de donde procede el ejemplo de las estanterías metálicas. Otra obra pionera es [05] donde se encuentran las ideas iniciales del MRP. Textos más actuales son [02], [03] y [07].