

Capítulo 4 Planificación detallada

4.1 Conceptos

En este capítulo proseguimos el análisis de los niveles de decisión de la dirección de operaciones iniciado en el capítulo anterior con el estudio de la planificación agregada. El núcleo del capítulo lo constituye el cálculo de necesidades, aunque algunos de los conceptos presentados son adaptables para la determinación del plan maestro detallado mediante la adecuación apropiada del nivel de detalle (véase 4.1.3.4 y 4.1.7.2).

En el apartado 4.1.1 introducimos el tema, indicamos los objetivos perseguidos y mostramos las diferencias existentes con el nivel de decisión siguiente, la programación de operaciones. Estos aspectos se completan en el apartado 4.1.2 en donde realizamos una primera formalización.

El apartado 4.1.3 constituye una extensa presentación del método gozinto. Se inicia con una descripción de los datos técnicos de producción que se clasifican en dos categorías, la *lista de materiales* que expresa la composición de los productos y los *ciclos* que definen el proceso de fabricación. El método gozinto fue presentado por Andrew Vazsonyi en un artículo titulado *The use of mathematics in production and inventory control* (Management Science, Vol. 1, Nos. 1, 3-4, 1955) y reproducido posteriormente en su libro *Scientific programming in business and industry* (Wiley, 1958). La cualidad principal del método gozinto la constituye la formalización compacta de los conceptos y procedimientos empleados gracias a la utilización del cálculo matricial, lo que permite una presentación sencilla de los mismos en el supuesto de que los lectores estén familiarizados con dicho cálculo. Es preciso sin embargo advertir que dado que la matriz básica utilizada, la matriz gozinto, es una matriz hueca, es decir la mayoría de sus elementos son nulos, en los cálculos concretos a nivel industrial es preciso recurrir a los procedimientos adaptados a dicho tipo de matrices. En 4.1.3.5, 4.1.3.6 y 4.1.3.7 se describen aspectos específicos de la lista de materiales, tales como la consideración de modificaciones, y en 4.1.3.8 y 4.1.3.9 se realiza una introducción al concepto de lista de materiales modular.

El apartado 4.1.4 trata brevemente de la otra categoría de datos técnicos, los ciclos, y se presenta el formato usual de representación.

En el apartado **4.1.5** se realiza una formalización de la determinación del plan detallado tomando como base los conceptos del método gozinto y utilizando la notación matricial. Se analizan las incidencias de los stocks de seguridad, de los plazos de fabricación y de los límites de capacidad. Las formulaciones resultantes son relativamente complejas, lo que reduce su aplicabilidad pero sirven de introducción a los apartados siguientes, que vuelven a tratar dichos temas bajo un punto de vista ligeramente distinto.

En el apartado **4.1.6** se introduce el procedimiento conocido como MRP (*Material Requirements Planning* = Planificación de Necesidades de Materiales), descrito inicialmente en el libro de J. Orlicky (1974). Aquí se abandona la notación matricial (aunque implícitamente se siguen los mismos pasos que en los apartados anteriores) recurriendo al cálculo por niveles. Después de una presentación conceptual se desarrolla paso a paso un ejemplo de aplicación que permite apreciar los detalles. El resultado obtenido tras la aplicación del MRP son las órdenes de fabricación y aprovisionamiento necesarias para el cumplimiento del plan maestro detallado. Dichas órdenes son la base para la programación de proveedores y la programación de operaciones (que trataremos en el **capítulo 6**). La mayoría de los paquetes informáticos de gestión de producción se basan en la filosofía MRP.

Finalmente, en el apartado **4.1.7** se describe la generalización del MRP, denominada MRP II (*Manufacturing Resource Planning* = Planificación de Recursos de Fabricación), basada en los trabajos de O. Wight (1981). Esta generalización implica el establecimiento de una metodología global de dirección de operaciones, por lo que algunos aspectos reiteran temas tratados en capítulos anteriores, en particular los relativos a la determinación de la factibilidad de los planes de producción (**4.1.7.2** y **4.1.7.3**). En **4.1.7.3** presentamos una visión inicial del plan de necesidades de capacidad, que se completará en el **capítulo 6**. Es notable la insistencia del MRP II en la adopción de precauciones para garantizar la factibilidad del plan maestro antes de iniciar el cálculo de necesidades, y por consiguiente no detectar infactibilidades al nivel del plan de necesidades de capacidad.

Es preciso indicar que otros procedimientos, que podríamos denominar "clásicos", para la determinación de órdenes de aprovisionamiento se estudiarán en el **capítulo 5**.

4.1.1 Consideraciones generales

Una vez definido el plan maestro de producción (a nivel agregado y detallado), es decir, el plan de entrega de los productos acabados, agrupados si es preciso en familias pero con indicación de las proporciones de variantes, la planificación debe abordar el problema de definir el plan detallado de producción, también denominado plan de necesidades, es decir, el plan de realización de cada uno de los componentes que intervienen en la fabricación de los productos acabados. El conjunto de ambos planes nos permitirá conocer la totalidad de las órdenes de trabajo que deben ejecutarse y su distribución en los períodos de tiempo en que deben realizarse.

Al igual que en la determinación del plan maestro de producción, la colocación en el tiempo de las órdenes de trabajo vendrá condicionada por las limitaciones de capacidad de los medios productivos, por lo que a cada plan de necesidades de materiales estará asociada una asignación de carga a los medios productivos, que podemos denominar plan de necesidades de capacidad.

Por otra parte, también está asociado a la distribución de órdenes de trabajo un coste, producido fundamentalmente por el volumen de la obra en curso entretenida en el proceso de fabricación, mientras que la distribución de cargas lleva implícitamente asociado un coste correspondiente a la sub-utilización de algunos recursos (y a la sobre-utilización de otros, si es el caso). El plan detallado elegido debería ser aquel que presentase un menor coste global y:

- fuese técnicamente viable, de acuerdo con las restricciones de estructura del producto y de la fabricación,
- satisficiera las restricciones de capacidad,
- cumpliera las restricciones de disponibilidad de materiales.

La comprobación de la viabilidad tecnológica obliga a disponer de una formalización bastante detallada de la estructura y composición de los productos, y de la secuencia y características de los ciclos de producción (formalización que interesa a otras funciones además de las de planificación/programación). Las restricciones de capacidad hacen aparecer conflictos en las colas de trabajos a realizar en unos determinados recursos, que obligarán a tomar decisiones sobre la forma de tratar algunas órdenes de trabajo, bien sea realizándolas en otros recursos compatibles (pero tal vez no tan eficientes para el tipo de operación requerido), subcontratándolas a otra planta, retrasándolas, etc.

Las restricciones de disponibilidad de materiales pueden producirse (al nivel de planificación) en aquellos materiales de procedencia exterior con un plazo largo de aprovisionamiento y cuya previsión ha debido hacerse por otros medios, independientemente de las necesidades que representa el plan maestro. Por otra parte, la planificación proporcionará datos suficientes para determinar los artículos, (de compra o fabricados), cuya gestión de aprovisionamiento es susceptible de llevarse independientemente y permitirá obtener los valores de los parámetros de dicha gestión.

Conviene no olvidar que el proceso de planificación-programación-lanzamiento constituye un sistema jerárquico de decisiones en el que la función de transferencia a un determinado nivel debe tomar como restricciones las decisiones adoptadas en los niveles superiores. Así, la planificación detallada busca obtener un plan de necesidades coherente con las decisiones tomadas sobre la entrega de productos y las capacidades de los medios productivos. Evidentemente, si los conflictos y las incompatibilidades son elevados y graves, puede procederse a revisar las decisiones del plan de entregas y de disponibilidad de recursos; sin embargo, esta circunstancia, en un sistema de gestión de la producción correcto, debe ser la excepción y no la regla.

Aunque en muchos aspectos presenten factores comunes, no debe confundirse este nivel de planificación con lo que se entiende por programación. La programación básicamente:

- tiene un horizonte más corto,
- tiene definidas las órdenes de trabajo a realizar,
- tiene definidos los medios para cada orden,
- tiene definidas las capacidades de los medios que existen y sus estados de carga,

y busca:

- el medio concreto para cada operación (si hay más de uno del mismo tipo),
- la secuencia de realización de cada fase de trabajo en cada medio concreto,
- la fecha detallada de inicio de cada orden (o de cada operación de la orden).

por lo que constituye un nivel más bajo de decisiones, que toma como restricciones los planes detallados de necesidades y las decisiones adoptadas sobre la capacidad de los recursos productivos.

Concluyendo, las informaciones que se obtienen como resultado de la planificación detallada se pueden concretar en:

- Plan de necesidades de materiales de procedencia interior: conjunto de todos los artículos que deben fabricarse o ensamblarse con indicación de la cantidad y de la fecha de vencimiento,
- Plan de necesidades de materiales de procedencia exterior: correspondiente a los artículos que deben aprovisionarse para poder cumplir el plan, con indicación de la cantidad y de la fecha de vencimiento,
- Plan de necesidades de capacidad: estimación de la ocupación de los medios productivos durante el horizonte de vigencia del plan.

4.1.2 Características de la planificación detallada

Vamos a enumerar algunos aspectos importantes del plan detallado empezando por las categorías de recursos cuyas necesidades explicita. Tras unos datos que permiten apreciar el volumen que puede alcanzar la planificación insistimos en el aspecto dinámico de la misma y presentamos una formalización de la problemática implicada.

4.1.2.1 Tipos de requerimientos

Existen cuatro tipos de recursos principales que se trata de planificar:

- los medios productivos
- la mano de obra
- los artículos a comprar o a fabricar
- los útiles o herramientas a emplear.

Los medios productivos existentes en las plantas industriales suelen ser muy variados pero con unas capacidades de utilización frecuentemente solapadas, es decir, un artículo determinado puede fabricarse utilizando una determinada máquina, pero también podría fabricarse utilizando otra existente, aunque con rendimiento inferior.

Dada la gran cantidad y variedad de máquinas existentes en una industria, para hacer que la problemática sea manejable se recurre a introducir el concepto de grupo funcional homogéneo (GFH). Cada GFH engloba todas las máquinas iguales o con habilidades muy semejantes; a cada fase de trabajo se le asigna un GFH (el óptimo) y, si procede los GFH alternativos. La planificación se realiza con estos GFH, aunque posteriormente la programación pueda tener en cuenta un mayor desglose, y evidentemente en el lanzamiento de la orden, el encargado del taller tratará de utilizar lo mejor posible sus máquinas realizando las órdenes de trabajo en la forma más adecuada a las disponibilidades del momento. Para los objetivos de planificación basta considerar aquellos GFH críticos en el proceso productivo.

En forma análoga, los operarios que constituyen la plantilla productiva podrán agruparse por especialidades.

Los artículos que componen el producto vienen fijados por la lista de materiales y los planos de diseño de dicho producto. En la planificación deberán utilizarse las descripciones de desglose en todo su detalle para establecer el plan de necesidades de materiales, aunque en las primeras fases de determinación de un plan coherente con las restricciones de recursos puedan introducirse ciertas simplificaciones que comentaremos más adelante.

Los útiles y herramientas en la mayoría de los casos no presentan especial dificultad para la planificación, por lo que se puede llevar una gestión independiente (lo que explica que los hayamos enumerado en una categoría independiente aunque propiamente sean también medios productivos). Ahora bien, en ciertos casos algunos útiles o herramientas son recursos escasos, por lo que constituyen restricciones adicionales al plan de producción. En la práctica suelen asimilarse estos recursos como medios productivos adicionales.

4.1.2.2 Dimensiones del problema

La característica principal de este tipo de planificación es el manejo de volúmenes elevados de datos. Es posible encontrar:

Artículos	100.000	a	200.000
Medios productivos	100	a	300

con una tasa de variación relativamente alta debido a las modificaciones por cambios de diseño o mejoras en el proceso de producción.

Por otra parte también es usual encontrar un volumen de varios miles de órdenes de trabajo al planificar.

4.1.2.3 Dinámica de la planificación

Como ya se ha indicado, en la mayoría de casos la planificación es un proceso dinámico, es decir, periódicamente se planifican los trabajos a realizar en un horizonte futuro teniendo en cuenta la situación de carga y los trabajos en curso que se tiene en este momento. Según la duración del ciclo de fabricación, el horizonte de planificación es más o menos largo: de 4 meses a un año, y el período de revisión también: de 2 semanas a 2 meses.

La planificación se presenta de esta manera como un proceso adaptativo en el que periódicamente se toman decisiones que corrigen las variaciones producidas en el sistema productivo por la acción de solicitudes externas (variación de la demanda respecto a las previsiones, variación en el plazo de los suministros, averías, etc...)

La planificación no es nunca un proceso puntual en el que se decide de una vez por todas qué trabajos hacer y cuándo, sino que por el juego de un horizonte igual a varias veces el período de revisión, las decisiones relativas a un determinado intervalo de tiempo se toman sucesivas veces, cada una corrigiendo, si procede, la decisión anterior, en vista de las desviaciones producidas tanto en la situación real como en las previsiones.

4.1.2.4 Estructura general del problema

Consideremos las variables y parámetros del problema (en esta presentación dichas variables y parámetros pueden considerarse símbolos, más adelante concretaremos su significado y estructura; en todo caso hemos cuidado la coherencia de la notación):

- En primer lugar la variable principal es la demanda de diversos productos p , procedente del plan maestro de producción en el período $T \# t \# T + H$. Esta demanda no es la demanda pura del mercado, pues ya ha sido filtrada por la estacionalidad y los stocks comerciales, corresponde realmente al plan de entregas.

$$D(t | T)$$

donde el índice T indica el momento de la planificación.

- Las limitaciones de capacidad previstas también para los diversos medios productivos en el mismo período:

$$R(t | T)$$

- La ocupación de los medios de producción (cargas) correspondiente a las órdenes de trabajo ya lanzadas en el instante T :

$$O(t | T)$$

- La disponibilidad de capacidad se obtiene como:

$$K(t | T) = R(t | T) - O(t | T)$$

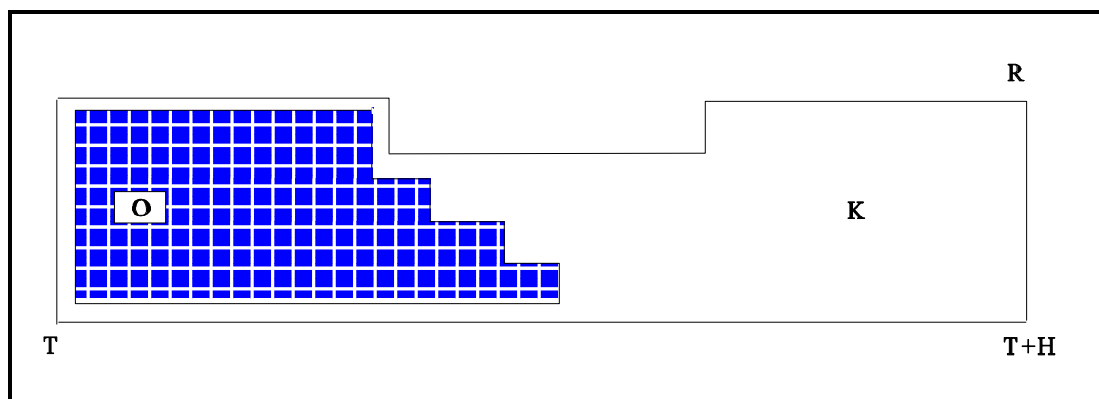


Fig. 4.1.2.1 Disponibilidad de capacidad

- La situación del stock de artículos que intervienen en la producción en el instante T :

$$I(T)$$

- Las previsiones de entrada correspondientes a las compras ya cursadas pendientes de recepción, o a las producciones en curso:

$$E(t | T)$$

- Las previsiones de salida correspondientes a los artículos ya comprometidos en la producción en curso:

$$S(t | T)$$

- Dado lo anterior, la disponibilidad de artículos para efectuar la planificación a partir del instante T será:

$$A(t | T) = I(T) + E(t | T) - S(t | T)$$

- La producción planificada para el horizonte H :

$$P(t | T)$$

- La carga de trabajo correspondiente a la producción planificada:

$$Z(t | T)$$

- La estructura del producto, es decir, la composición de los diferentes productos:

$$N(t)$$

- La estructura o los ciclos de fabricación, es decir, la carga que produce en cada medio la fabricación de un artículo:

$$B(t)$$

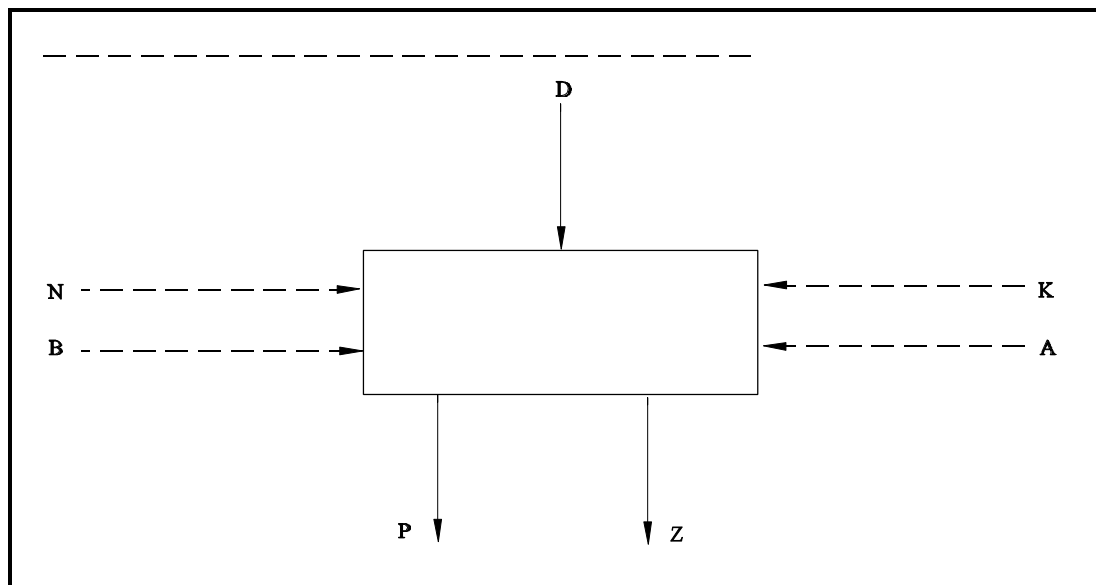


Fig. 4.1.2.2 Función de transferencia de la planificación detallada

La función de transferencia será la que:

- * Obtenga $P(t^*T)$ y $Z(t^*T)$ correspondiente a una demanda $D(t^*T)$.
- * Teniendo en cuenta las disponibilidades $K(t^*T)$ y $A(t^*T)$.
- * Teniendo en cuenta las restricciones tecnológicas $N(t)$ y $B(t)$.
- * Minimice el coste global asociado al stock $I(t)$ resultante y el aprovechamiento Z de la capacidad.

Como se trata de un proceso dinámico, al cabo de un tiempo h (período de revisión), nos encontraremos con que se han producido una serie de programaciones, lanzamientos y realizaciones de forma que tendremos una nueva situación:

- de órdenes comprometidas y por tanto de disponibilidad de capacidad

$$K(t | T+h) \quad T+h < t < T+h+H$$

- de movimientos de almacén y por tanto de disponibilidad de materiales

$$A(t | T+h)$$

- de pedidos de producción o modificación de las previsiones y por lo tanto una nueva demanda

$$D(t | T+h)$$

Con estos nuevos datos se trata de encontrar un nuevo plan de producción y su correspondiente carga:

$$P(t | T+h) \quad Z(t | T+h)$$

que resulte ser el mejor para el intervalo $(T + h, T + h + H)$

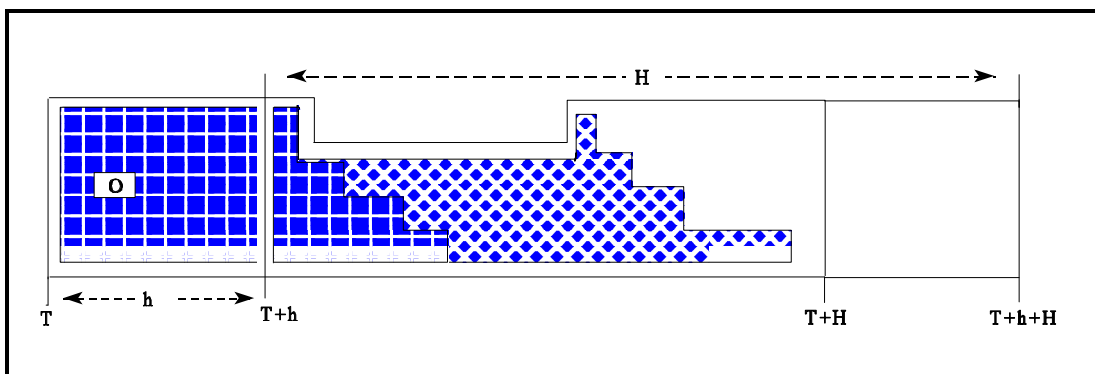


Fig. 4.1.2.3 Revisión de la disponibilidad de capacidad

El proceso general de planificación detallada consiste en efectuar una medición de las disponibilidades y solicitudes cada h unidades de tiempo, modificando así las decisiones del plan, pudiendo de esta manera, por un proceso adaptativo y de aprendizaje, corregir las desviaciones que se produzcan con respecto a los objetivos de eficacia y eficiencia del sistema productivo.

La determinación del horizonte que abarca la planificación, H , y el período de revisión, h , dependerá de la duración de los ciclos de aprovisionamiento-producción-distribución y de la necesidad de una mayor o menor corrección de las perturbaciones que se produzcan.

La elevada cantidad de datos a manipular y su fuerte interrelación presentan serias dificultades para el tratamiento matemático de los mismos, por lo que se recurre en la práctica a la utilización de algoritmos heurísticos, que proporcionan unas ciertas soluciones "satisfactorias", y que se basan fundamentalmente en técnicas de simulación.

4.1.3 Estructura del producto

Los datos técnicos de producción son el conjunto de informaciones que precisa la empresa para saber cómo fabricar los productos: una parte de ellos existe de manera formalizada, con formatos compactos codificados, en forma textual o gráfica, mientras que otra está incluida en el *know-how* ambiental, propio de la empresa o de los oficios y especialidades que intervienen en la fabricación. Estos datos pertenecen a dos familias:

- Los relativos a la estructura o definición del producto.
- Los relativos a la forma de fabricar o procesos.

En la primera familia se encuentra la lista de materiales, que describe la composición de los productos a fabricar (lista de componentes y enlaces para dar la estructura de subconjuntos) así como los documentos técnicos que concretan la definición de cada artículo (planos, fichas de definición, especificaciones técnicas y de calidad, etc.). La gestión de la producción utiliza la lista de materiales, pero tanto los talleres como los proyectistas se sirven principalmente de los planos, por lo que es fundamental conservar la coherencia entre ambos conceptos.

En la segunda familia se encuentran los ciclos (procesos, gamas, etc.) que describen el modo de fabricación de cada artículo así como los medios necesarios para ello (máquinas, útiles, etc.) y los aspectos cuantitativos correspondientes (tiempos de preparación y operación, etc.). También aquí la gestión de la producción trabaja sobre información condensada relativa a secuencias de operaciones codificadas mientras que los talleres

utilizan principalmente la ficha de operación y las de las características de cada uno de los medios utilizados.

4.1.3.1 Lista de materiales

La información básica para pasar de las necesidades de productos terminados a las necesidades de artículos intermedios, subconjuntos y materiales es lo que denominamos estructura del producto o lista de materiales (*bill-of-materials* = *BOM*), también denominada en algunos textos: explosión, descomposición, nomenclatura, etc. La lista de materiales describe todos los artículos que existen en cada una de las sucesivas fases del sistema productivo (la palabra "todos" debe interpretarse en un sentido razonable) así como sus relaciones en la medida en que unos artículos se transforman en otros o varios artículos se montan para dar lugar a otro. En la *figura 4.1.3.1* puede contemplarse la visión esquemática de la lista de materiales (muy simplificada) de una bicicleta, a la que se le ha dado una forma de "árbol".

- En cada casilla o vértice del árbol figura un artículo en un estado de elaboración más o menos elevado. Dada la disposición de la figura, el máximo grado de elaboración se encuentra en la parte superior (vértice del árbol), mientras que en la inferior encontramos los artículos y materiales que se adquieren al exterior y que, por tanto, independientemente de su grado de elaboración intrínseco, el sistema productivo que consideramos los toma como entradas (materia prima) a elaborar.
- Los arcos del árbol indican las relaciones "se compone/entra a formar parte" de los artículos. Cada artículo se forma directamente a partir de los que tiene debajo y está unido por un arco. El artículo "bicicleta" no es componente de nada, es un producto terminado, mientras que el artículo "tubo inox 02" es un material de compra para la fábrica de bicicletas y no tiene componentes (probablemente no ocurre lo mismo en la fábrica de tubos).
- Las cifras (entre paréntesis) que figuran en el diagrama indican las cantidades de los componentes que entran a formar parte de una unidad del compuesto. Para que dichas cifras sean significativas es preciso que cada artículo tenga bien definida la unidad de medida correspondiente.
- La estructura de la figura es la de árbol, pero más generalmente, si un mismo artículo interviene en la fabricación de varios subconjuntos, o bien varios productos terminados se componen parcialmente de los mismos subconjuntos, el aspecto será el de grafo o red (como veremos representado más adelante).

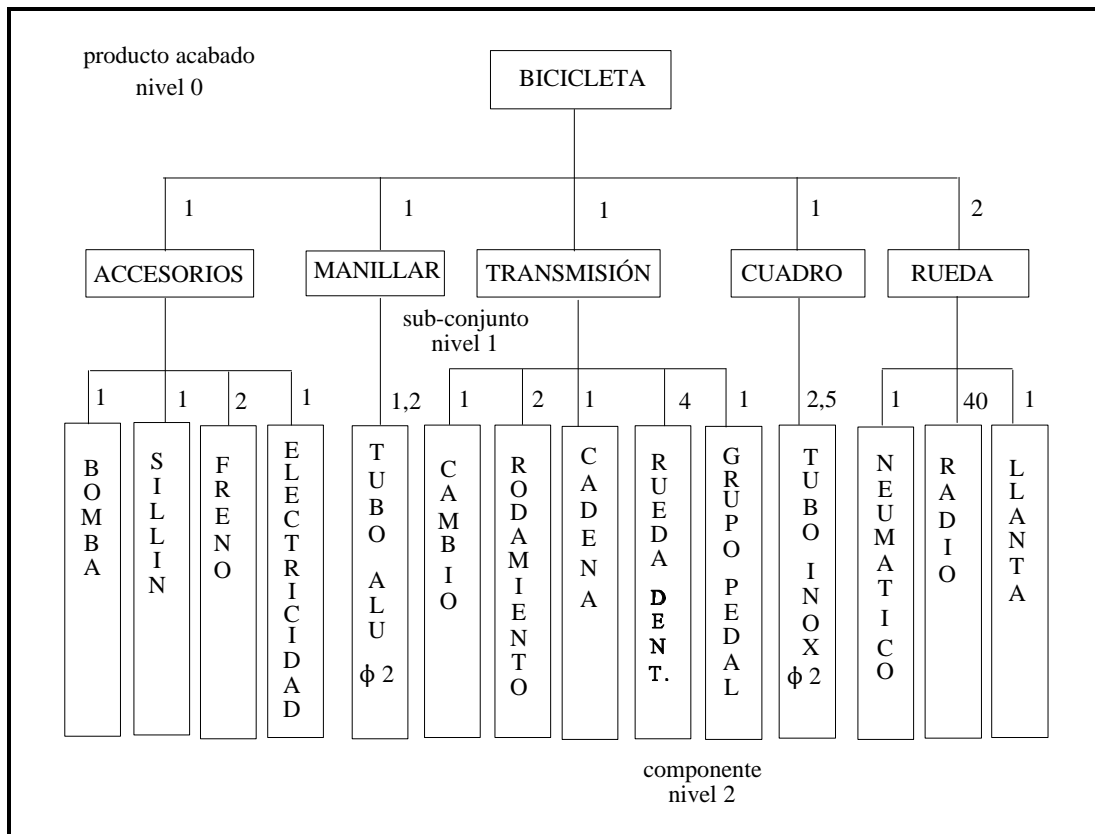


Fig. 4.1.3.1 Lista de materiales simplificada de bicicleta

- Dado que en la lógica utilizada no cabe que un artículo entre a formar parte, directa o indirectamente, de sí mismo, el grafo no tendrá circuitos, por lo que puede definirse sobre él una función ordinal, o más simplemente, clasificarse los vértices en niveles, en forma semejante a la que se indica en la figura. Esta clasificación no es en general única, y pueden numerarse los niveles en los dos sentidos. Nosotros hemos asociado el nivel 0 con el producto terminado, el 1 con los sub-conjuntos o semielaborados y el 2 con los artículos procedentes del exterior. Como regla básica los componentes de un elemento de nivel i son de nivel $j > i$. Como se ha dicho, existen diferentes posibilidades en la descomposición en niveles, pero es conveniente, desde un punto de vista práctico, que los componentes y materiales comprados figuren siempre en el mismo nivel. En el caso de que la empresa que fabrica bicicletas elaborara ella misma los "cambios", sus componentes aparecerían en un nuevo nivel, el 3, lo que aconsejaría bajar a él el resto de artículos comprados (aunque se produjesen saltos de más de un nivel entre componentes y compuestos, al faltar niveles intermedios).

- Cada paso de un nivel a otro indica una etapa en el proceso de fabricación, y se traduce en general por un almacenaje intermedio. Es conveniente evitar la proliferación de los niveles, por cuanto el trabajo necesario para el manejo de la lista de materiales crece más que linealmente con el número de artículos o claves contenidas en dicha lista. Sin embargo, si un artículo correspondiente a una cierta etapa de elaboración no figura en la lista de materiales ("no tiene clave") no será posible referirse a él, ni emitir órdenes de montaje o fabricación en relación al mismo, ni determinar su coste estándar (por métodos automáticos).

4.1.3.2 Representaciones

Consideremos los datos relativos a los artículos existentes en una fábrica de muebles metálicos, dados a través de las fichas de la *figura 4.1.3.2*.

Debemos efectuar al respecto las siguientes observaciones:

- Se ha incluido en cada ficha espacio para bastantes informaciones relativas a cada artículo; no obstante, es probable que en las realizaciones concretas de una lista de materiales el número de informaciones sea todavía más elevado (y creciente con el tiempo): grupo merceológico, material, etc.
- Se han indicado los valores de las informaciones pertinentes para nuestro estudio, mientras que otras se han substituido por puntos (raras veces la casilla peso suele estar cumplimentada para todos los artículos en las empresas que conocemos). Por su importancia en desarrollos posteriores (MRP) hemos incluido unos valores para el plazo, y más adelante añadiremos precisiones relativas a los procesos.
- Cada artículo se identifica mediante un código, que en nuestro caso es numérico y de tres posiciones (aunque en lo que sigue sólo utilizaremos significativamente una). Si el número de artículos es importante (tanto en un momento dado como a lo largo del tiempo, puesto que el sistema de codificación debe servir para designar en forma no ambigua los artículos pasados, presentes y futuros mientras no se substituya por otro sistema), el número de posiciones será mayor: 10, 12 o más, numéricas, parcialmente alfanuméricas o todas alfanuméricas. Si además se desea que todas o parte de las posiciones sean significativas para describir la forma del artículo, o su tipo de elaboración, o su funcionalidad, el código crecerá. Cada código está acompañado de un nombre o designación, en general poco significativo dada la restricción en su longitud, y hace referencia a un plano y/o especificaciones en las que se describe más estrictamente de qué se trata.

código: 001	plano:	nombre: ESTANTERÍA METÁLICA DE 3 ANAQUELES
coste estándar:	origen: MONTAJE	nivel:
almacén: PRODUCTOS TERMINADOS	unidad medida: 1	peso:
componentes	cantidad	
003	3	
004	4	
005	8	
006	12	
sección montaje:	modo lotificación:	
proceso montaje:	plazo: 1 s.	
código: 002	plano:	nombre: ESTANTERÍA METÁLICA DE 6 ANAQUELES
coste estándar:	origen: MONTAJE	nivel:
almacén: PRODUCTOS TERMINADOS	unidad medida: 1	peso:
componentes	cantidad	
003	6	
004	8	
005	8	
006	24	
007	4	
sección montaje:	modo lotificación:	
proceso montaje:	plazo: 1 s.	
código: 003	plano:	nombre: ANAQUEL
coste estándar:	origen: ELABORACIÓN	nivel:
almacén: SEMIELABORADOS	unidad medida: 1	peso:
componentes	cantidad	
008	2	
sección elaboración:	modo lotificación:	
proceso elaboración:	plazo: 2 s.	
código: 004	plano:	nombre: PATA
coste estándar:	origen: ELABORACIÓN	nivel:
almacén: SEMIELABORADOS	unidad medida: 1	peso:
componentes	cantidad	
008	3	
sección elaboración:	modo lotificación:	
proceso elaboración:	plazo: 2 s.	
código: 005	plano:	nombre: CAPUCHÓN
coste estándar:	origen: COMPRA	nivel:
almacén: PIEZAS EXTERIORES	unidad medida: 1	peso:
proveedor:	modo lotificación:	
proceso reaprovisionamiento: ...	plazo: 3 s.	

Fig. 4.1.3.2(a) Fichas de producto de las estanterías metálicas

código: 006	plano:	nombre: TORNILLO
coste estándar:	origen: COMPRA	nivel:
almacén: PIEZAS EXTERIORES	unidad medida: 1	peso:
proveedor:	modo lotificación:	
proceso reaprovisionamiento:...	plazo: 3 s.	
código: 007	plano:	nombre: CONECTOR
coste estándar:	origen: COMPRA	nivel:
almacén: PIEZAS EXTERIORES	unidad medida: 1	peso:
proveedor:	modo lotificación:	
proceso reaprovisionamiento:...	plazo: 3 s.	
código: 008	plano:	nombre: CHAPA METÁLICA
coste estándar:	origen: COMPRA	nivel:
almacén: MATERIA PRIMA	unidad medida: 2	peso:
proveedor:	modo lotificación:	
proceso reaprovisionamiento:...	plazo: 4 s.	

Fig. 4.1.3.2(b) Fichas de producto de las estanterías metálicas

- La casilla nivel podría haberse cumplimentado en este caso tan simple (los artículos 001 y 002 son productos terminados, por tanto de nivel 0; los 005, 006, 007 y 008 son comprados mientras que los 003 y 004 son semielaborados independientes entre sí; podría asignarse a estos últimos el nivel 1 y a los anteriores cualquier nivel superior, por ejemplo el 2). Obsérvese que en este caso el número del código constituye una función ordinal sobre el grafo. En situaciones más complejas la determinación del nivel es el resultado de una primera fase del tratamiento de la lista de materiales, en general previa a la determinación de las necesidades en componentes de un programa maestro.

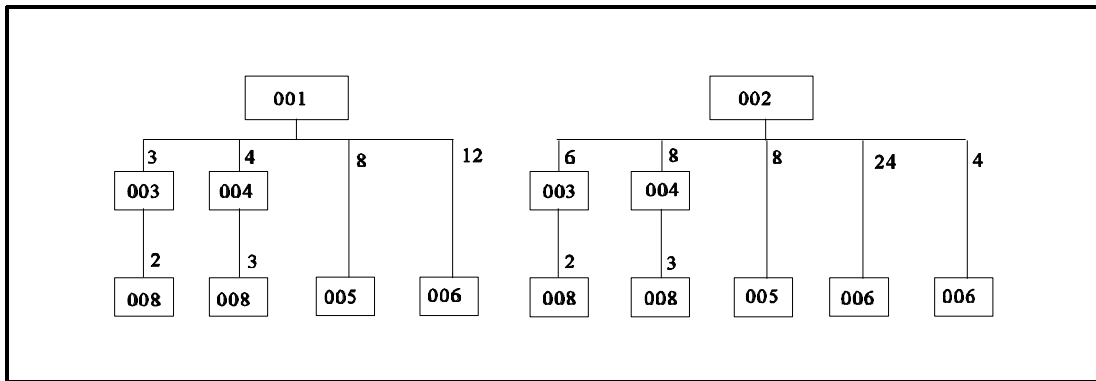


Fig. 4.1.3.3(a) Representación arborescente de las estanterías

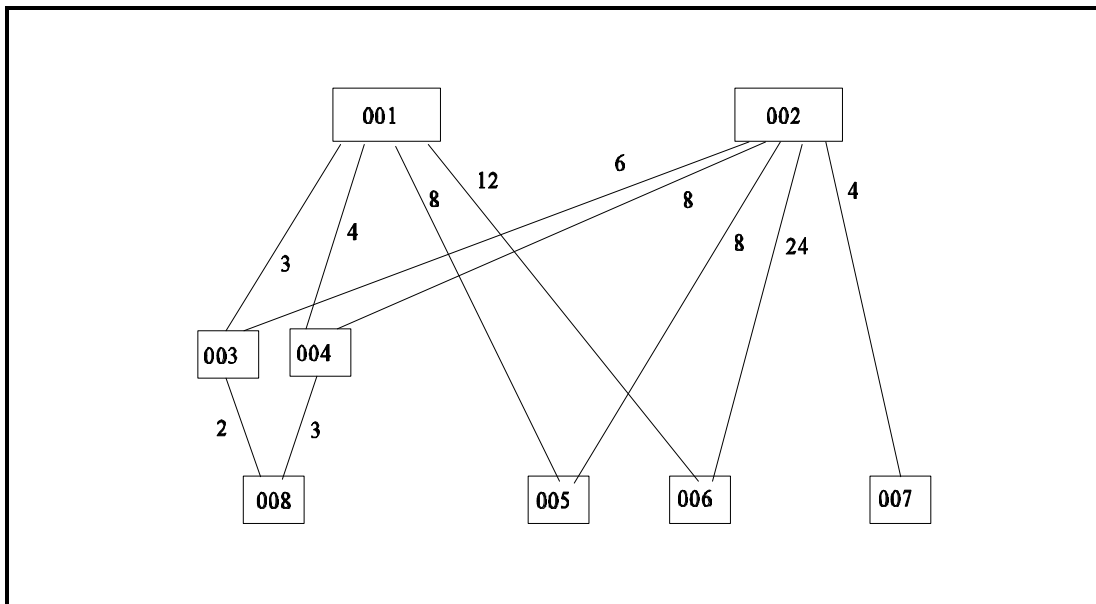


Fig. 4.1.3.3(b) Representación reticular de las estanterías

- La unidad de medida está representada por un código, del que conocemos dos valores:
 - 1: unidad o pieza
 - 2: decímetro cuadrado

- El origen o procedencia esencialmente es *interior* o *exterior*. En nuestro caso se ha distinguido entre *montaje* y *elaboración* en lo que respecta a *interior*, mientras que el exterior se ha indicado mediante *compra* (cabría considerar también el caso de piezas que después de una primera elaboración interior fuesen a talleres exteriores para recibir ciertos tratamientos, para volver posteriormente a la empresa). El tratamiento gestional, y por tanto la información necesaria, es ligeramente diferente entre las piezas interiores y exteriores. Las interiores tienen componentes, están asociadas a un proceso productivo de elaboración o montaje (ciclo), que tiene lugar en una o varias secciones, en una o varias máquinas o puestos de trabajo. Este proceso se realiza unidad a unidad, o en lotes, prefijados o según las necesidades, y existen unos tiempos técnicos de realización (preparación de máquina, elaboración, verificación, transporte, etc.) que sumado a las esperas conduce a un plazo (indicativo). Las piezas exteriores están asociadas a uno o varios proveedores, cada uno con su cuota prevista (y a veces contractual), su precio y eventualmente condiciones. Para las mismas existe un procedimiento de reaprovisionamiento normal y un plazo.
- La empresa ha llegado a un alto nivel de normalización, para fabricar la estantería metálica de 6 anaqueles conecta dos estanterías metálicas de 3 anaqueles.

Toda la información necesaria para establecer la estructura del producto o lista de materiales está en las fichas. A partir de ellas podemos dibujar el árbol de cada producto terminado, o bien la red de la estructura de los productos de la empresa (véanse las *figuras 4.1.3.3(a)* y *(b)*).

Otra forma de representar dicha información puede ser la matricial. Sea la matriz N (matriz *gozinto*) donde n_{ij} es el número de unidades de i que entran directamente en la producción de una unidad de j .

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	6	0	0	0	0	0	0
4	4	8	0	0	0	0	0	0
5	8	8	0	0	0	0	0	0
6	12	24	0	0	0	0	0	0
7	0	4	0	0	0	0	0	0
8	0	0	2	3	0	0	0	0

Fig. 4.1.3.4 Matriz gozinto de las estanterías metálicas

Esta matriz contiene exactamente la misma información que hay en las fichas, en las columnas "componentes" y "cantidad". Es un fiel reflejo del grafo, puesto que cuando existe un arco de i a j de valor a , en la posición (i,j) de la matriz figura el valor $n_{ij} = a$, mientras que si de i a j no hay arco, en la posición (i,j) figura un cero, (en lo que sigue normalmente substituiremos los ceros por espacios en blanco).

A partir de la matriz N podemos determinar la matriz T , donde t_{ij} es el número de unidades de i que entran directa o indirectamente (a través de elaboraciones intermedias) en la producción de una unidad de j ; por definición haremos $t_{ij} = 1$. En nuestro caso los valores se indican en la matriz de la *figura 4.1.3.5*.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1							
2		1						
3	3	6	1					
4	4	8		1				
5	8	8			1			
6	12	24				1		
7		4					1	
8	18	36	2	3				1

Fig. 4.1.3.5 Matriz cantidades por tipo de las estanterías metálicas

El cálculo de las dos únicas casillas diferentes respecto a N (salvo la diagonal principal) es en este caso muy simple, de una extraordinaria sencillez. En efecto, puesto que en N tenemos los valores directos, basta añadir los indirectos para tener T , y estos sólo pueden corresponder a los elementos de nivel 2 que entran en los de nivel 0 a través de subconjuntos de nivel 1, es decir la chapa metálica (008) que entra en los productos acabados (001 y 002) transformada en anaqueles (003) o patas (004). 001 se compone de 3 anaqueles y 4 patas, y cada anaquel tiene 2 unidades de 008, mientras que cada pata tiene 3 unidades; por tanto:

$$t_{8,1} = (3 \times 2) + (4 \times 3) = 18$$

Análogamente, 002 tiene 6 anaqueles y 8 patas

$$t_{8,2} = (6 \times 2) + (8 \times 3) = 36$$

Antes de pasar a la determinación de T en casos más complejos, conviene hacer énfasis en una observación: tanto el grafo como la matriz son conceptos que ayudan al manejo (sobre todo teórico) de la lista de materiales, pero son las fichas lo más aproximado a lo que existe en los casos reales. Las matrices, tanto la N como la T , son extraordinariamente poco densas. En el caso de N por lo menos la mitad está compuesto de ceros (más aún si tenemos en cuenta que los artículos se clasifican en niveles, y sólo pueden existir valores no nulos en las casillas (i,j) tales que i es de nivel superior y distinto de j , los ceros entre artículos del mismo nivel incrementan el número de ceros totales.). Si dada una lista de materiales cualquiera escribimos su matriz gozinto N , (teniendo previamente la precaución de reordenar los artículos por niveles), dicha matriz tomará la forma de la *figura 4.1.3.6*, en la que las partes rayadas se refieren a las zonas de la matriz donde no todos los valores deben ser nulos, y las partes en blanco a las zonas de la matriz en donde todos los elementos son nulos. Vemos reflejados en la matriz los niveles, y distinguimos claramente la posición de los productos terminados y la de los materiales de procedencia exterior (materia prima, piezas y subconjuntos comprados, etc.).

Por tanto, trabajar con las matrices en formato extenso es un procedimiento muy poco eficiente (en cuanto a espacio de memoria y tiempo de cálculo); mientras que trabajar con una representación compacta de las matrices equivale a trabajar con las fichas.

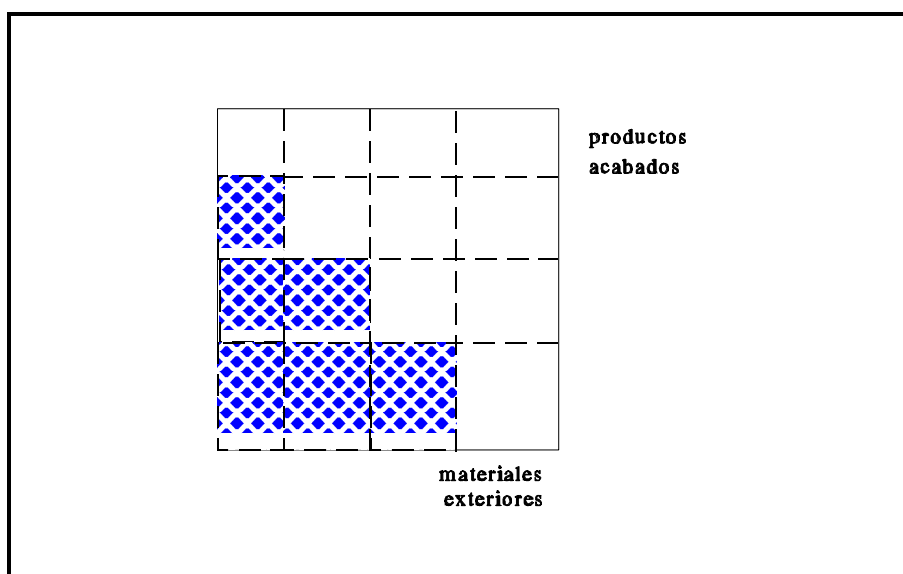


Fig. 4.1.3.6 Formato de la matriz gozinto con los artículos ordenados por niveles

El grafo (árbol o red) es una representación extraordinariamente cómoda, pero válida sólo para un número de artículos reducido con pocos niveles. En nuestros ejemplos la podremos utilizar porque éste será el caso. Sin embargo, trabajar con un grafo extenso puede llegar

a ser incómodo. Existe otra razón más importante contra el grafo: las modificaciones. Normalmente los productos se modifican continuamente, substituyendo algunos componentes por otros. En la hipótesis de las fichas ello significa substituir unas fichas por otras, pero en la del grafo comporta una continua corrección del dibujo, ya de por sí difícil de conseguir una primera vez.

4.1.3.3 Determinación de las necesidades por tipo (matriz T)

A continuación vamos a exponer la forma de determinar los componentes de la matriz T . Recuérdese que t_{ij} indica el número de unidades del artículo i que directa o indirectamente entra en la fabricación de una unidad del artículo j , es la cantidad de i necesaria para fabricar una unidad del tipo j . Podemos escribir

$$t_{i,j} = 1$$

$$t_{i,j} = \sum_k n_{i,k} \cdot t_{k,j} \quad \text{para } i \text{ diferente de } j$$

puesto que el sumatorio tiene en cuenta las unidades de i que entran en j directamente (cuando $k = j$) o indirectamente, a través de otro subconjunto (cuando $k \neq j$). También habríamos podido escribir el sumatorio

$$t_{i,j} = \sum_k t_{i,k} \cdot n_{k,j} \quad \text{para } i \neq j$$

que desempeña la misma función.

Métodos matriciales

Si reescribimos la formulación anterior utilizando la notación matricial tendremos:

$$T = I + T \cdot N = I + N \cdot T$$

en donde I es la matriz unidad. Reagrupando T :

$$T \cdot (I - N) = I \quad \text{y} \quad T = (I - N)^{-1} = I + N + N^2 + N^3 + \dots$$

Téngase presente que la serie en N^p tiene un número finito de términos. En efecto, si los componentes de N indican el número de unidades de i que entran directamente en j (en un paso):

- los de N^2 indicarán el número de unidades de i que entran en j a través de un componente intermedio (en dos pasos), y,
- los de N^p el número de unidades de i que entran en j a través de $p-1$ componentes intermedias (en p pasos).

En cierta forma $I = N^0$ indica el número de unidades de i que entran en 0 pasos en j ; por tanto, sólo la diagonal principal tiene valores distintos de cero. Como el número de artículos es finito, y más importante, el de niveles también, cuando el número de pasos sea elevado todos los elementos de N^p serán nulos. Más concretamente si el número de niveles es $q + 1$, es decir, los productos terminados están en el nivel 0 y los artículos de procedencia exterior en el q , el número máximo de pasos intermedios, para llegar desde el nivel q al 0, es precisamente q ; por tanto:

$$N^p = 0,$$

para $p > q$. No hay nada atractivo en el cálculo de una matriz inversa; por consiguiente, si seguimos utilizando la forma matricial, será más conveniente el empleo de la suma de potencias. En el caso de la fábrica de muebles metálicos las sucesivas potencias de N se indican en la *figura 4.1.3.7*, a partir de lo cual obtendremos el mismo valor de T que antes hemos indicado.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2								
3								
$N^2 =$ 4								
5								
6								
7								
8	18	36						

$N^3 = N^4 = \dots = 0$

Fig. 4.1.3.7 Potencias de N

Métodos iterativos

Una forma iterativa de determinar los valores t_{ij} , es la siguiente (s y $s + 1$ son los índices respecto a los que efectuamos la iteración):

$$t_{i,j}^{(s+1)} = 1$$

$$t_{i,j}^{(s+1)} = \sum_k t_{i,k}^{(s)} \cdot n_{k,j} \quad \text{para } i \neq j$$

partiendo de un valor inicial sencillo, tal como:

$$t_{i,i}^{(1)} = 1$$

$$t_{i,j}^{(1)} = n_{i,j} \quad \text{para } i \neq j$$

Cuando en dos iteraciones sucesivas los valores de $t_{ij}^{(s)}$ coincidan se habrá alcanzado la estabilidad, y dichos valores serán los de t_{ij} . La segunda expresión de la iteración podría substituirse por:

$$t_{i,j}^{(s+1)} = \sum_k t_{i,k}^{(s)} \cdot n_{k,j} \quad \text{para } i \neq j$$

Obsérvese que en forma matricial esto equivale a:

$$T^{(s+1)} = I + T^{(s)} \cdot N$$

o bien

$$T^{(s+1)} = I + N \cdot T^{(s)}$$

partiendo del valor inicial:

$$T^{(s+1)} = I + N \quad \text{o bien} \quad T^{(0)} = I$$

por lo que los valores sucesivos de $T^{(s)}$ son:

$$T^{(s)} = I + N + N^2 + \dots + N^s$$

tanto con una expresión recurrente como con la otra.

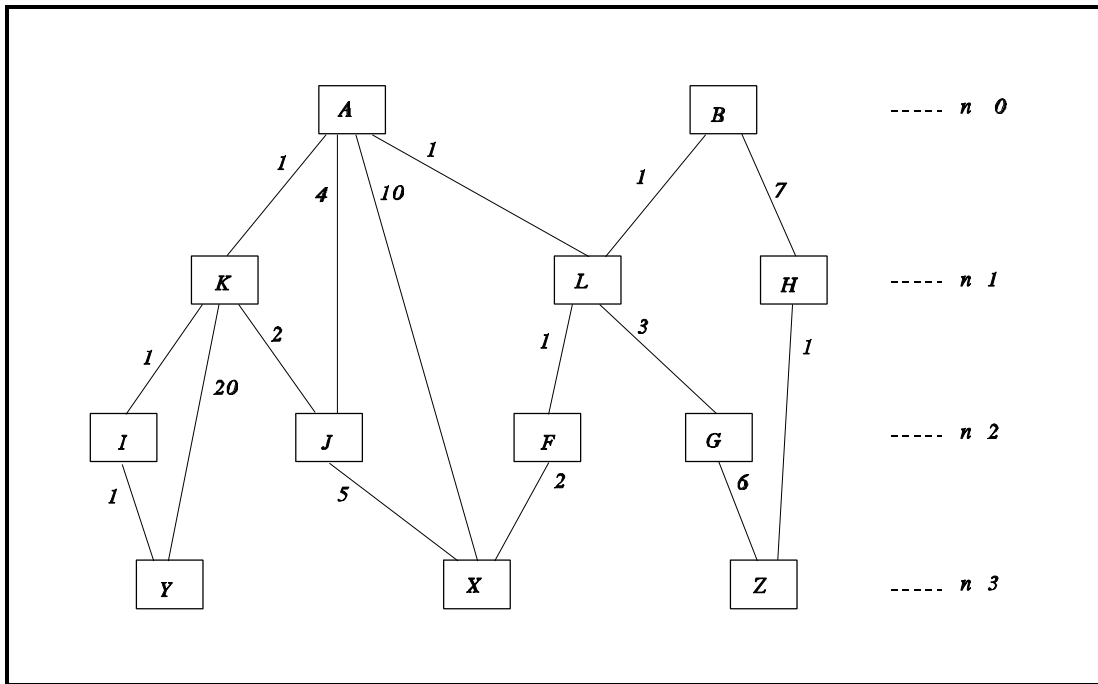


Fig. 4.1.3.8(a) Estructura del producto

	A	B	K	L	H	I	J	F	G	Y	X	Z
A												
B												
K	1											
L	1	1										
H		7										
I			1									
J	4		2									
F				1								
G				3								
Y			20			1						
X	10					5	2					
Z					1			6				

= N

Fig. 4.1.3.8(b) Tabla N

1							
	1						
1		1					
1	1		1				
		7			1		
			1			1	
4		2					1
				1			
			3				1
	20			1			
10					5	2	
							1
				1		6	
							1

$$= T^{(1)} = I + N$$

1							
	1						
1		1					
1	1		1				
		7			1		
1		1				1	
6		2					1
1	1		1				
3	3	3					1
20	21			1			
30	10	2			5	2	
							1
	7	18	1			6	
							1

$$= T^{(2)} = I + T^{(1)} \cdot N$$

1							
	1						
1		1					
1	1		1				
		7			1		
1		1				1	
6		2					1
1	1		1				
3	3	3					1
21	21			1			
42	2	10	2			5	2
							1
18	25	18	1			6	
							1

$$= T^{(3)} = I + T^{(2)} \cdot N$$

$$T^{(4)} = I + T^{(3)} \cdot N = T^{(3)}$$

Figs. 4.1.3.8(c), (d) y (e) Determinación de T

En el ejemplo correspondiente a la estructura del producto de la *figura 4.1.3.8(a)* hemos recogido los cálculos sucesivos de los $t_{i,j}^{(s)}$ en el formato de la tabla o matriz $T^{(s)}$. Necesitamos tres pasos (si contamos el de transformación de $T^{(0)}$ en $T^{(1)}$) para alcanzar la estabilidad, lo que está en concordancia con el hecho de que la estructura tiene cuatro niveles: el 0, 1, 2 y 3. Puede observarse que, al haber situado en la matriz los artículos agrupados por niveles, hemos podido marcar las separaciones entre los mismos, por lo que la matriz ha quedado dividida en zonas cuadradas y rectangulares; cada iteración nos precisa los valores de un bloque de zonas, cada vez más alejadas de la diagonal principal, hasta que en la tercera iteración quedan fijados los valores de la zona inferior izquierda, que es la última en alcanzar los valores definitivos ya que es la más lejana de la diagonal. Sin embargo, es posible acelerar los cálculos si en las iteraciones sucesivas empleamos siempre los valores de $t_{i,j}$ más modernos calculados, lo cual significa que en el cálculo de una $t_{i,j}$ determinada algunos $t_{i,k}$ en el segundo miembro corresponderán a los valores obtenidos en la iteración anterior y otros a los obtenidos en la iteración en curso (si es que

```
'subrutina de cálculo de t por el método iterativo
'el número de artículos es p
'la matriz n(i,j) es la matriz gozinto
'en la matriz t(i,j) calculamos la matriz necesidades por tipo
FOR i = 1 TO p
  FOR j = 1 TO p
    t(i, j) = n(i, j)
  NEXT j
  t(i, i) = 1
NEXT i
alfa = 1
WHILE alfa = 1
  alfa = 0
  FOR i = 1 TO p
    FOR j = 1 TO p
      IF i <> j THEN
        s = 0
        FOR k = 1 TO p
          s = s + n(i, k) * t(k, j)
        NEXT k
        IF s <> t(i, j) THEN
          t(i, j) = s
          alfa = 1
        END IF
      ELSE
        t(i, i) = 1
      END IF
    NEXT j
  NEXT i
WEND
RETURN
```

Fig. 4.1.3.9 Programa en Basic para el cálculo de la matriz T de necesidades por tipo

en estas circunstancias tiene algún significado hablar de iteración anterior y de iteración en curso). Por tanto ahora, en lugar de existir una sucesión de matrices T , existe una sola que se va renovando y modificando a cada cálculo de un valor de t_{ij} (pensando en el cálculo en ordenador, y sin introducción de sofisticaciones, el procedimiento primero exige la existencia en memoria de dos matrices simultáneamente, la "vieja" y la "nueva" que se está calculando, sólo al terminar de calcular la nueva, y haber comprobado que no es igual a la vieja, se substituye la vieja por la nueva, y se pasa al cálculo de la siguiente nueva; el segundo procedimiento permite la existencia de una sola matriz T , que se modifica constantemente, hasta que en una secuencia de cálculos de valores t ningún valor obtenido sea diferente de los que ya estaban en la matriz).

Representar este hecho en un ejemplo es difícil, puesto que la evolución de la matriz T depende del orden en que se realicen los cálculos de t_{ij} . Para concretar sobre el ejemplo anterior, si realizamos los cálculos por filas y escribimos las matrices T correspondientes a los instantes en que se han recalculado todos los elementos de la misma, obtendremos las mismas matrices que en el caso anterior, por lo que también se precisan tres pasos para alcanzar la estabilidad, y cuatro para darnos cuenta de ello. En cambio si efectuamos el cálculo por columnas (o lo que es lo mismo, utilizamos la ecuación recurrente: $T^{(s+1)} = I + N \cdot T^{(s)}$, y calculamos por filas), en la primera iteración llegamos ya a la matriz estable T , por cuanto se utilizan eficazmente los valores últimamente calculados y situados en la matriz en substitución de los viejos.

En la *figura 4.1.3.9* se ha incluido un programa escrito en Quick-Basic para la determinación por el procedimiento iterativo de la matriz T .

Métodos directos

Puesto que el orden de los cálculos tiene importancia, el ordenar previamente los artículos puede ser definitivo para reducir el número de operaciones, y el orden más adecuado es el de la función ordinal del grafo, es decir, uno que esté acorde con los niveles establecidos (que es el empleado en todos los ejemplos vistos hasta ahora). Después de haber ordenado de esta manera los artículos, la matriz gozinto N será triangular inferior (con todos los elementos de la diagonal principal nulos), es decir $n_{ij} = 0$, si $i \neq j$, lo que se traducirá en la matriz de necesidades por tipo que también será triangular inferior (con todos los elementos de la diagonal principal iguales a uno), $t_{ij} = 0$, si $i < j$. En estas condiciones podemos efectuar los cálculos directamente:

$$t_{i,j} = \sum_k n_{i,k} \cdot t_{k,j} = \sum_k n_{i,k} \cdot t_{k,j} \quad \text{para } j = 1, 2, 3, \dots, i-1$$

$$t_{i,i} = 1 \quad ; \quad t_{i,j} = 0 \quad \text{para } j = i+1, i+2, \dots$$

$$\text{para } i = 1, 2, 3, \dots$$

ya que nunca necesitamos ningún valor de $t_{k,j}$ que no haya sido determinado previamente. En la *figura 4.1.3.10* hemos incluido un programa en Quick-Basic para aplicar este método.

```

'subrutina de cálculo de t ordenando por niveles
'el número de artículos es p
'la matriz n(i,j) es la matriz gozinto
'en el vector l(i) obtenemos el nivel del artículo i
'lmax es el número del nivel mayor
'en el vector r(k) obtenemos el orden los artículos
'en la posición k-ésima tratamos el artículo r(k)
'en la matriz t(i,j) calculamos la matriz necesidades por tipo

FOR i = 1 TO p          'inicialización
  r(i) = i
  l(i) = 0
NEXT i
alfa = 1
lmax = 0
WHILE alfa = 1          'cálculo del nivel
  alfa = 0
  FOR i = 1 TO p
    FOR j = 1 TO p
      IF n(i, j) > 0 AND l(i) <= l(j) THEN
        l(i) = l(j) + 1
        alfa = 1
        IF lmax < l(i) THEN lmax = l(i)
      END IF
    NEXT j
  NEXT i
WEND
j = 1                    'cálculo del orden
FOR k = 0 TO lmax
  FOR i = 1 TO p
    IF l(i) = k THEN
      r(j) = i
      j = j + 1
    END IF
  NEXT i
NEXT k

```

Fig. 4.1.3.10(a)

```

FOR i = 1 TO p           'cálculo de t(i,j)
  i0 = r(i)
  FOR j = 1 TO p
    j0 = r(j)
    IF i > j THEN
      s = 0
      FOR k = 1 TO p
        s = s + n(i0, k) * t(k, j0)
      NEXT k
      t(i0, j0) = s
    ELSE
      IF i0 = j0 THEN
        t(i0, i0) = 1
      ELSE
        t(i0, j0) = 0
      END IF
    END IF
  NEXT j
NEXT i
RETURN

```

Fig. 4.1.3.10(b) Programa en Basic para el cálculo directo de T previa la determinación de niveles

Métodos gráficos

Existe cierta analogía entre encontrar el valor $t_{i,j}$ y el hallar en un grafo el camino mínimo de j a i . Las operaciones son exactamente las mismas, salvo el cambio del operador suma por producto y el de minimización por suma. Por ello es posible una adaptación de los procedimientos de determinación de caminos extremos a la determinación de las cantidades por tipo, con la ventaja de que el grafo es en este caso orientado y sin circuitos.

Visión pragmática

Dada la observación anterior sobre la representación de la lista de materiales, los procedimientos que pueden emplearse en los problemas de tamaño industrial son los iterativos, determinando generalmente en la primera iteración los niveles, para posteriormente reordenar y calcular los valores definitivos de t en la segunda iteración.

4.1.3.4 Método gozinto

El método Gozinto fue presentado por Andrew Vaszonyi en *Scientific Methods for Business and Industry*, atribuyéndolo al conocido matemático italiano Zeparzat Gozinto (aunque algunos pretenden que este nombre resulta de la pronunciación rápida de *the-part-that goes-into*). Mediante una formulación matricial es posible definir una serie de conceptos interesantes (aunque en su cálculo práctico sea conveniente evitar las matrices escritas en forma extensa y recurrir a formas más compactas de manejo de la información que son, no obstante, formalmente idénticas al cálculo matricial). Presentaremos estos conceptos basándonos en el ejemplo de la fábrica de muebles metálicos y otro (el de la empresa SOLREG), que enunciaremos más adelante.

En particular mediante el empleo del método gozinto determinaremos las necesidades de materiales (brutas y netas) que implica la realización del plan maestro. Una prolongación del método permitirá conocer, además, las cargas de trabajo correspondientes.

Cálculo de necesidades brutas y netas

Consideremos en primer lugar unas necesidades temporizadas de entregas o retiros de productos, definitivas o tentativas, que representaremos mediante la matriz *D*, matriz de retiros. Las filas de *D* corresponden a cada uno de los artículos de la lista de materiales, mientras que las columnas corresponden a períodos sucesivos de tiempo en la unidad que corresponda. En nuestro ejemplo supondremos períodos mensuales. Además de las necesidades expresadas por *D* consideraremos el vector columna *SF* que expresa necesidades adicionales para constituir un stock al final del horizonte (*fig. 4.1.3.11*).

	ENE	FEB	MAR	
(001)	150	125	100	20
(002)	100	125	150	30
(003)	0	0	0	200
D = (004)	0	0	0	SF = 300
(005)	0	0	0	375
(006)	0	0	0	500
(007)	0	0	0	125
(008)	0	0	0	1250

Fig. 4.1.3.11 Datos de demanda y stock final

Hemos supuesto que sólo tenemos necesidades de retiros de productos terminados, aunque en otras circunstancias, debido a la problemática de los recambios y a la utilización por otras plantas de fabricación de productos aligerados de la nuestra, podrían aparecer en D valores no nulos en las filas de los subconjuntos (o incluso en las de los artículos de procedencia exterior). Para obtener los productos de D y de SF precisamos disponer de sus componentes, cuyo cálculo es muy simple.

Sea G la matriz de necesidades brutas: $G = T \cdot [D, SF]$, suponiendo que deseamos conocer por separado lo que requieren los retiros y lo que requiere el stock final (lo que a fines ilustrativos está bien, pero como traducción de una realidad no ya que el stock final habrá que constituirlo mediante una producción que se desarrollará en alguno de los meses: enero, febrero o marzo; por tanto acabaremos acumulando las necesidades correspondientes al stock final en uno o varios de dichos meses). En nuestro caso el resultado aparece en la *figura 4.1.3.12* (la columna G_2 se ha obtenido sumando todos los elementos de cada fila de la *tabla G* y puede servir como control; sistemáticamente haremos aparecer columnas con el nombre de la tabla con el subíndice 2 para indicar estas totalizaciones).

	ENE	FEB	MAR	SF	TOTAL	
(001)	150	125	100	20	395	
(002)	100	125	150	30	405	
(003)	1050	1125	1200	200	3815	
G = (004)	1400	1500	1600	300	5120	= G_0
(005)	2000	2000	2000	375	6775	
(006)	4200	4500	4800	500	14960	
(007)	400	500	600	125	1745	
(008)	6300	6750	7200	1250	24240	

Fig. 4.1.3.12 Necesidades brutas

La matriz G o de necesidades brutas tiene un alto grado de redundancia; en efecto, en ella figura por ejemplo la chapa metálica necesaria varias veces, una como tal en la fila (008), otra vez transformada en pata o anaquel en (003) y (004) y una tercera montada como estantería en (001) o (002). En enero podemos consumir 25.200 unidades de chapa metálica, pero para contabilizar toda esta chapa a final de enero deberemos estudiar la contenida en los cinco artículos indicados. Estas necesidades brutas no corresponden, en general, a lo que realmente vamos a fabricar, debido a tres causas:

- a) La ya señalada relativa al reparto del stock final deseado entre los períodos productivos.
- b) La posible existencia de un stock inicial y de unas órdenes de producción o aprovisionamiento en firme que reducirán las necesidades sobre las que debemos adoptar decisiones.
- c) La agrupación en lotes ("lotificación") de las necesidades tanto de fabricación como en aprovisionamiento, lo que puede conducir a la producción de cantidades distintas de las necesidades en un período determinado (naturalmente a largo plazo las necesidades y la producción, en el supuesto de que no haya pérdidas, tenderán a ser iguales).

Consideraremos inicialmente sólo la causa (b). En nuestro ejemplo sean *SI* el vector stock inicial del horizonte (final del período anterior al primero considerado) y *E* la matriz de órdenes de producción y de aprovisionamiento programadas, emitidas en firme y pendientes (situadas en el período de nuestro horizonte en el que se realiza el "cumplimiento" de la orden) de la *figura 4.1.3.13*. Por consiguiente, disponemos de 1.100 unidades (dm²) de chapa metálica (008), y llegarán 4.000 más en enero y otras 4.000 en febrero en virtud de órdenes cursadas con anterioridad. Análogamente tenemos en stock a principio del horizonte 150 patas y hemos programado en firme la realización de 1.500 en enero y 1.500 en febrero; como las órdenes son firmes, los materiales correspondientes a dicha fabricación están reservados y por tanto no se han contabilizado en la chapa metálica disponible (en stock inicial o en órdenes pendientes de recibir; existen pues:

$$2.500 \times 2 + 3.000 \times 3 = 14.000 \text{ dm}^2 \text{ de chapa}$$

reservados además de los indicados como disponibles o en curso de disponibilidad). Suponiendo que se podrá utilizar dentro de un mes lo producido o llegado en el mismo (lo que dada la magnitud de tiempo que representa es aceptable en este caso, pero tal vez no

		ENE	FEB	MAR
	(001)	0	0	0
	(002)	0	0	0
	(003)	1250	1250	0
SI =	(004)	1500	1500	0
	(005)	2500	2500	0
	(006)	3750	3750	0
	(007)	500	500	0
	(008)	4000	4000	0

Fig. 4.1.3.13 Stock inicial y órdenes en curso

en otros en los que la unidad de tiempo corresponda a intervalos más reducidos), podemos proceder a establecer la matriz A de disponibilidades sumando a la primera columna de E el vector SI (fig. 4.1.3.14).

	ENE	FEB	MAR	TOTAL	
(001)	25	0	0	25	
(002)	25	0	0	25	
(003)	1375	1000	0	2375	
$A =$ (004)	1650	1250	0	2900	$= A_{\theta}$
(005)	2750	2500	0	5250	
(006)	4000	3750	0	7750	
(007)	700	500	0	1200	
(008)	5100	4000	0	8900	

Fig. 4.1.3.14 Disponibilidades

Para reducir G a lo que realmente necesitamos, debemos restar lo que significan las disponibilidades de A , pero debemos tener en cuenta que G y A no son homogéneos, puesto que G ha sido explosionado a partir de $[D, SF]$ mientras que A todavía no lo ha sido; debemos calcular pues $V = T \cdot A$ (fig. 4.1.3.15) y restarlo de G (fig. 4.1.3.16).

	ENE	FEB	MAR	TOTAL	
(001)	25	0	0	25	
(002)	25	0	0	25	
(003)	1600	1000	0	2600	
$V =$ (004)	1950	1250	0	3200	$= V_{\theta}$
(005)	3150	2500	0	5650	
(006)	4900	3750	0	8650	
(007)	800	500	0	1300	
(008)	14150	9750	0	23900	

Fig. 4.1.3.15 Disponibilidades explosionadas

	ENE	FEB	MAR	SF	TOTAL	
(001)	125	125	100	20	370	
(002)	75	125	150	30	380	
(003)	- 550	125	1200	440	1215	
$W = G - V =$ (004)	- 550	250	1600	620	1920	$= W_0$
(005)	-1150	- 500	1000	775	1125	
(006)	- 700	750	4800	1460	6310	
(007)	- 400	0	600	245	445	
(008)	-7850	-3000	7200	3990	340	

Fig. 4.1.3.16 Diferencia entre necesidades y disponibilidades

La matriz W no refleja todavía las necesidades netas a causa de los valores negativos (que indican que lo disponible supera las necesidades). Teniendo en cuenta que los sobrantes de un mes pueden utilizarse el mes siguiente, podemos eliminar los negativos, obteniendo la matriz de necesidades netas X , en la siguiente forma: en cada fila se procede de izquierda a derecha, si hay un negativo se substituye por un cero y dicho negativo se traslada a la casilla inmediatamente a la derecha, sumándolo algébricamente con la cantidad que figura en la misma. Si el resultado es positivo la fila correspondiente ya ha quedado corregida y se pasa a la siguiente, en caso contrario se repite el procedimiento. Si al llegar a la última casilla de una fila (sin tener en cuenta la columna TOTAL), todavía quedan valores negativos, los sobrantes cubren todo el horizonte de planificación, la fila entera tendrá valores 0 (debiéndose corregir pues el TOTAL) y dichos sobrantes reaparecerán razonablemente cuando se planifique de nuevo alargando el horizonte con nuevos períodos. En nuestro caso (*fig. 4.1.3.17*) esto sólo está a punto de ocurrir en el artículo (8) ya que en la columna TOTAL tenemos el valor 340, inferior incluso al stock final que deseamos de dicho artículo (1.250 dm²)

Téngase presente que el cálculo matricial sigue gozando de las propiedades usuales, por lo que una forma alternativa de llegar a W sería la que corresponde a la expresión:

$$W = T \cdot [D, SF] - T \cdot A = T \cdot ([D, SF] - A)$$

es decir, primero restar de la matriz de retiros ampliada la de disponibilidades, y posteriormente realizar la explosión mediante la matriz T (incluso es posible realizar la corrección de los sobrantes o negativos en la diferencia antes de multiplicar por T).

	ENE	FEB	MAR	SF	TOTAL	
(001)	125	125	100	20	370	
(002)	75	125	150	30	380	
(003)	0	0	775	440	1215	
$X =$ (004)	0	0	1300	620	1920	$= X_0$
(005)	0	0	350	775	1125	
(006)	0	50	4800	1460	6310	
(007)	0	0	200	245	445	
(008)	0	0	0	340	340	

Fig. 4.1.3.17 Necesidades netas

Cálculo por niveles

Evidentemente, todo lo que hemos realizado mediante el cálculo matricial, podemos efectuarlo también en forma compactada mediante procedimientos iterativos o directos (tras la determinación de niveles). Como veremos más adelante la determinación de las necesidades netas descendiendo de nivel en nivel tiene ciertas ventajas. En primer lugar nos libera de la necesidad de calcular previamente los valores t_{ij} ; en segundo lugar admite cómodamente la introducción de procesos de lotificación de subconjuntos y piezas elaboradas. En tercer lugar elimina la posibilidad de un error que puede producirse en el cálculo compacto: tal como lo hemos explicado podría suceder que necesitando chapa metálica para fabricar anaqueles, detectásemos un valor inferior al correcto al contabilizar incluida en la chapa la cantidad de ésta que está ya transformada en patas. La cantidad de chapa indicada estaría presente pero sólo recuperándola de las patas y trasformándola posteriormente en anaqueles (si esto es técnicamente posible) podríamos dar cumplimiento a las necesidades. Naturalmente que el tener tal sobrante de patas y falta de anaqueles significaría que nuestra producción no está equilibrada y que por tanto nuestros procedimientos de planificación y programación no son muy buenos, pero el defecto señalado es propio del método utilizado.

Como ilustración vamos a proceder al cálculo de las necesidades brutas y netas en el ejemplo anterior por niveles. Partimos del plan maestro definido por $[D, SF]$ clasificado por niveles. Hemos situado en este caso (005), (006) y (007) en el nivel 1 por comodidad (fig. 4.1.3.18).

	ENE	FEB	MAR	SF	
001	150	125	100	20	nivel 0
002	100	125	150	30	
003	0	0	0	200	nivel 1
004	0	0	0	300	
005	0	0	0	375	
006	0	0	0	500	
007	0	0	0	125	
008	0	0	0	1250	nivel 2

Fig. 4.1.3.18 Plan maestro por niveles

A continuación efectuamos la explosión de los artículos de nivel 0, acumulando las cantidades a las que figuran eventualmente en la fila de los artículos correspondientes (fig. 4.1.3.19). Seguidamente procedemos a la explosión de los artículos de nivel 1, y obtenemos las necesidades brutas, dado que hemos agotado los niveles en que era posible efectuar la explosión (fig. 4.1.3.20).

	ENE	FEB	MAR	SF	
001	150	125	100	20	nivel 0
002	100	125	150	30	
003	1050	1125	1200	440	nivel 1
004	1400	1500	1600	620	
005	2000	2000	2000	775	
006	4200	4500	4800	1460	
007	400	500	600	245	
008	0	0	0	1250	nivel 2

Fig. 4.1.3.19 Plan después de la explosión del nivel 0

	ENE	FEB	MAR	SF	
001	150	125	100	20	nivel 0
002	100	125	150	30	
003	1050	1125	1200	440	nivel 1
004	1400	1500	1600	620	
005	2000	2000	2000	775	
006	4200	4500	4800	1460	
007	400	500	600	245	
008	6300	6750	7200	3990	nivel 2

Fig. 4.1.3.20 Necesidades brutas

Para determinar las necesidades netas, *antes de realizar la explosión*, restaremos las disponibilidades (*fig. 4.1.3.14*) teniendo en cuenta la misma regla de eliminación de negativos considerada para pasar de *W* a *X*. En la *figura 4.1.2.21* hemos realizado la determinación de necesidades netas a nivel 0.

Análogamente en las *figuras 4.1.22 a 4.1.27* hemos desarrollado los pasos para la determinación de las necesidades netas de los artículos de los niveles restantes.

	ENE	FEB	MAR	SF	
001	125	125	100	20	nivel 0
002	75	125	150	30	
003	0	0	0	200	nivel 1
004	0	0	0	300	
005	0	0	0	375	
006	0	0	0	500	
007	0	0	0	125	
008	0	0	0	1250	nivel 2

Fig. 4.1.3.21 Plan maestro con necesidades netas a nivel 0

	ENE	FEB	MAR	SF	
001	125	125	100	20	nivel 0
002	75	125	150	30	
003	825	1125	1200	440	nivel 1
004	1100	1500	1600	620	
005	1600	2000	2000	775	
006	3300	4500	4800	1460	
007	300	500	600	245	
008	0	0	0	1250	nivel 2

Fig. 4.1.3.22 Explosión del nivel 0 en 4.1.3.21

	ENE	FEB	MAR	SF	
001	125	125	100	20	nivel 0
002	75	125	150	30	
003	-550	125	1200	440	nivel 1
004	-550	250	1600	620	
005	-1150	-500	2000	775	
006	-700	750	4800	1460	
007	-400	0	600	245	
008	0	0	0	1250	nivel 2

Fig. 4.1.3.23 Deducción de las disponibilidades de nivel 1 en 4.1.3.22

	ENE	FEB	MAR	SF	
001	125	125	100	20	nivel 0
002	75	125	150	30	
003	0	0	775	440	nivel 1
004	0	0	1300	620	
005	0	0	350	775	
006	0	50	4800	1460	
007	0	0	200	245	
008	0	0	0	1250	nivel 2

Fig. 4.1.3.24 Necesidades netas de nivel 0 y 1

	ENE	FEB	MAR	SF	
001	125	125	100	20	nivel 0
002	75	125	150	30	
003	0	0	775	440	nivel 1
004	0	0	1300	620	
005	0	0	350	775	
006	0	50	4800	1460	
007	0	0	200	245	
008	0	0	0	3990	nivel 2

Fig. 4.1.3.25 Explosión del nivel 1 en 4.1.3.24

	ENE	FEB	MAR	SF	
001	125	125	100	20	nivel 0
002	75	125	150	30	
003	0	0	775	440	nivel 1
004	0	0	1300	620	
005	0	0	350	775	
006	0	50	4800	1460	
007	0	0	200	245	
008	-5100	-4000	5450	3990	nivel 2

Fig. 4.1.3.26 Deducción de las disponibilidades de nivel 2 en 4.4.4.25

	ENE	FEB	MAR	SF	
001	125	125	100	20	nivel 0
002	75	125	150	30	
003	0	0	750	440	nivel 1
004	0	0	1300	620	
005	0	0	350	775	
006	0	50	4800	1460	
007	0	0	200	245	
008	0	0	0	340	nivel 2

Fig. 4.1.3.27 Necesidades netas

Necesidades de capacidad

Aunque conceptualmente vamos a utilizar en este desarrollo información que corresponde a la segunda familia de informaciones técnicas, la referente a los procesos, dado su nivel elemental lo podemos tratar aquí dentro del apartado correspondiente a Lista de Materiales. Volvemos a la fábrica de muebles metálicos, en la que las operaciones se realizan en tres secciones. La sección *C* es aquella en la que se corta la chapa, la *F* aquella en la que se da forma a la misma y la *M* en la que se procede a los montajes. Para formar una pata o un anaquel la chapa debe pasar por las secciones *C* y *F*, para montar una estantería, las piezas deben pasar por la sección *M*. Sea la matriz *B* la de los coeficientes técnicos que nos indica el consumo en minutos de cada sección para fabricar una unidad de cada producto (*fig. 4.1.3.28*)

		001	002	003	004	005	006	007	008
<i>B</i> =	(Sec. <i>C</i>)	0	0	2,68	2,50	0	0	0	0
	(Sec. <i>F</i>)	0	0	3,00	4,00	0	0	0	0
	(Sec. <i>M</i>)	42,00	78,0	0	0	0	0	0	0
			0						

Fig. 4.1.3.28 Coeficientes técnicos de consumo de recursos

Esta tabla o matriz es también extraordinariamente vacía debido a que cada artículo pasa por pocas secciones (y los de origen exterior por ninguna) por lo que muchas parejas (artículo - sección) son incongruentes y en la tabla figura un 0. Las cantidades de trabajo generadas por unas necesidades netas (o las necesidades de capacidad productiva) son $Z = B \cdot X$ que en nuestro caso conduce a los valores de la *figura 4.1.3.29*.

	<u>ENE</u>	<u>FEB</u>	<u>MAR</u>	<u>SF</u>		<u>ENE</u>	<u>FEB</u>	<u>MAR</u>	<u>SF</u>	<u>TOTAL</u>
(<i>C</i>)	0	0	4677	2419		0	0	78	40	118,27
<i>Z</i> = (<i>F</i>)	0	0	7525	3800	min =	0	0	125	63	hor. = 188,75
(<i>M</i>)	11100	15000	15900	3180		185	250	265	53	753,00

Fig. 4.1.3.29 Necesidades de recursos

Estas necesidades habrá que compararlas con las disponibilidades, que serán el total de horas de cada mes, R (suponiendo que C y F trabajan a un turno y M a dos), menos las ya comprometidas en otros trabajos, O (fig. 4.1.3.30). La capacidad disponible será (fig. 4.1.3.32) $K = R - O$, que no es suficiente para atender a las necesidades expresadas por Z . En primer lugar, en el taller (F) existe un defecto de 8,75 horas; en segundo lugar, la distribución de las horas disponibles (20 en febrero y 160 en marzo) obliga a adelantar la producción para marzo o para SF a febrero.

		ENE	FEB	MAR	TOTAL		
O =	(C)	115	90	0	205	= O_0	
	(F)	160	140	0	300		
	(M)	0	0	0	0		

Fig. 4.1.3.30 Horas (carga) comprometidas

			ENE	FEB	MAR				ENE	FEB	MAR	TOTAL		
K =			160	160	160) O =			45	70	160 (C)	275	hor. = K_0	
			160	160	160				0	20	160 (F)	180		
			320	320	320				320	320	320 (M)	940		

Fig. 4.1.3.31 Horas (capacidad) disponibles

Existen muchas posibles soluciones para acoplar las necesidades a las disponibilidades, a modo de ejemplo elegimos una consistente en disminuir las producciones destinadas a stock final. Si se fabrican 55 (001) y 90 (002) menos, en el taller (F) se ahorran:

$$55 \times 3 + 90 \times 4 = 165 + 360 = 525 \text{ minutos} = 8,75 \text{ horas}$$

Partiendo de las decisiones anteriores, y concentrando las necesidades relativas al stock final en el último mes llegamos a la tabla corregida de la demanda (fig. 4.1.3.32), que conduce a las necesidades brutas de la figura 4.1.3.33. Puesto que las disponibilidades son

las mismas de antes restamos el mismo valor de G para llegar a W (fig. 4.1.3.34). Ahora el artículo (008) tiene un total inferior al anterior y negativo, 40 dm^2 , lo que indica que las disponibilidades superan a las necesidades en todo el ámbito del plan (aconsejando, tal vez, intentar diferir las entregas de los proveedores). Las necesidades netas son las de la figura 4.1.3.35.

		ENE	FEB	MAR
$D =$	(001)	150	125	120
	(002)	400	500	180
	(003)	0	0	145
	(004)	0	0	210
	(005)	0	0	375
	(006)	0	0	500
	(007)	0	0	125
	(008)	0	0	1.250

Fig. 4.1.3.32 Demanda corregida

		ENE	FEB	MAR	TOTAL	
$G =$	(001)	150	125	120	395	$= G_0$
	(002)	100	125	180	405	
	(003)	1.050	1.125	1.585	3.760	
	(004)	1.400	1.500	2.130	5.030	
	(005)	2.000	2.000	2.775	6.775	
	(006)	4.200	4.500	6.260	14.960	
	(007)	400	500	845	1.745	
	(008)	6.300	6.750	10.810	23.860	

Fig. 4.1.3.33 Necesidades brutas de la demanda corregida

	ENE	FEB	MAR	TOTAL	
(001)	125	125	120	370	
(002)	75	125	180	380	
(003)	-550	125	1.585	1.160	
$W =$ (004)	-550	250	2.130	1.830	$= X_0$
(005)	-1.150	-500	2.775	1.125	
(006)	-700	750	6.260	6.310	
(007)	-400	0	845	445	
(008)	-7.850	-3.000	10.810	-40	

Fig. 4.1.3.34 Diferencia entre necesidades brutas (demanda corregida) y disponibilidades

	ENE	FEB	MAR	TOTAL	
(001)	125	125	120	370	
(002)	75	125	180	380	
(003)	0	0	1.160	1.160	
$X =$ (004)	0	0	1.830	1.830	$= X_0$
(005)	0	0	1.125	1.125	
(006)	0	50	6.260	6.310	
(007)	0	0	445	445	
(008)	0	0	0	0	(40)

Fig. 4.1.3.35 Necesidades netas correspondientes a la demanda corregida

Pasemos ahora a órdenes de producción, dada la carga en el taller (F) hay que pasar parte de la fabricación de (003) y (004) a febrero, exactamente la correspondiente a 20 horas. Para ello trasvasamos a febrero 200 unidades de (003) y 150 de (004). Este trasvase influirá en las necesidades en febrero de la materia prima a partir de la cual se fabrica (003) y (004), la chapa metálica (008), pero como en febrero teníamos exceso de chapa,

exactamente 10.850 dm² (7.850 que sobran en enero y 3.000 que sobran en febrero) no debemos preocuparnos por los 850 dm² que nos hacen falta. Tenemos pues como órdenes de producción propuestas (o necesidades corregidas) las de la *figura 4.1.3.36*. Calculamos a continuación las necesidades de horas de los diferentes talleres $Z = B \cdot P$ (*fig. 4.1.3.37*) que es inferior (o igual) a las disponibilidades. Por consiguiente las órdenes sugeridas por el procedimiento seguido, a añadir a las ya reflejadas en *E* serán las de la *figura 4.1.3.38*. Estas órdenes pueden en su totalidad o en parte ser emitidas en firme, en cuyo caso corregiremos *E* así como *las reservas de materiales* para llegar a las nuevas disponibilidades.

	ENE	FEB	MAR	TOTAL	
(001)	125	125	120	370	
(002)	75	125	180	380	
(003)	0	200	960	1.160	
$P =$ (004)	0	150	1.680	1.830	$= P_0$
(005)	0	0	1.325	1.325	
(006)	0	50	6.260	6.310	
(007)	0	0	445	445	
(008)	0	0	0	0	(40)

Fig. 4.1.3.36 Órdenes de producción, adelantando fabricaciones a febrero

	ENE	FEB	MAR		ENE	FEB	MAR	TOTAL
	0	836	5.933		0	14	99	112,8
$Z =$	0	1.200	9.600	min =	0	20	160	180,0 hor
	<u>11.100</u>	<u>15.000</u>	<u>19.080</u>		<u>185</u>	<u>250</u>	<u>318</u>	<u>753,0</u>

Fig. 4.1.3.37 Necesidades de recursos (horas de los talleres) de las órdenes de la figura 4.1.3.35

ÓRDENES PLANIFICADAS				
órdenes		ENE	FEB	MAR
MONTAJE	001	125	125	120
	002	75	125	180
<hr/>				
ELABORACIÓN	003	0	200	960
	004	0	150	1.680
carga restante (en horas):				
	TALLER C	45	56	61
	TALLER F	0	0	0
	TALLER M	115	70	2
<hr/>				
COMPRA	005	0	0	1.325
	006	0	50	6.260
	007	0	0	445
	008	0	0	0

Fig. 4.1.3.38 Nuevas órdenes sugeridas por el procedimiento seguido

Programa de aprovisionamiento

Para analizar las posibilidades del método gozinto en la programación de los aprovisionamientos tomaremos como ejemplo otro caso, el de la empresa Sólidos Regulares, S.A. (SOLREG), ideado por J. B. Fonollosa. Como corresponde a su nombre, dicha empresa fabrica 5 productos terminados cuyas claves son: SR04, SR08, SR20, SR06 y SR12, cuya estructura o lista de materiales puede verse en la *figura 4.1.3.39(a)*, o bien en la matriz gozinto de la *figura 4.1.3.39(b)* (que sólo hemos representado en parte, por

limitaciones de espacio; faltan las tres últimas columnas correspondientes a UA, UV y CART, en las que sólo figuran ceros).

La matriz de cantidades por tipo correspondiente puede calcularse mediante cualquiera de los métodos expuestos anteriormente y aparece en la *figura 4.1.3.40*.

En la aplicación que vamos a desarrollar sólo consideraremos la producción de los tres primeros productos, con lo que las matrices gozinto y de necesidades por tipo se reducen considerablemente (pasan de tener 11 filas y 11 columnas, a sólo 7 filas y 7 columnas), y los cálculos son más asequibles.

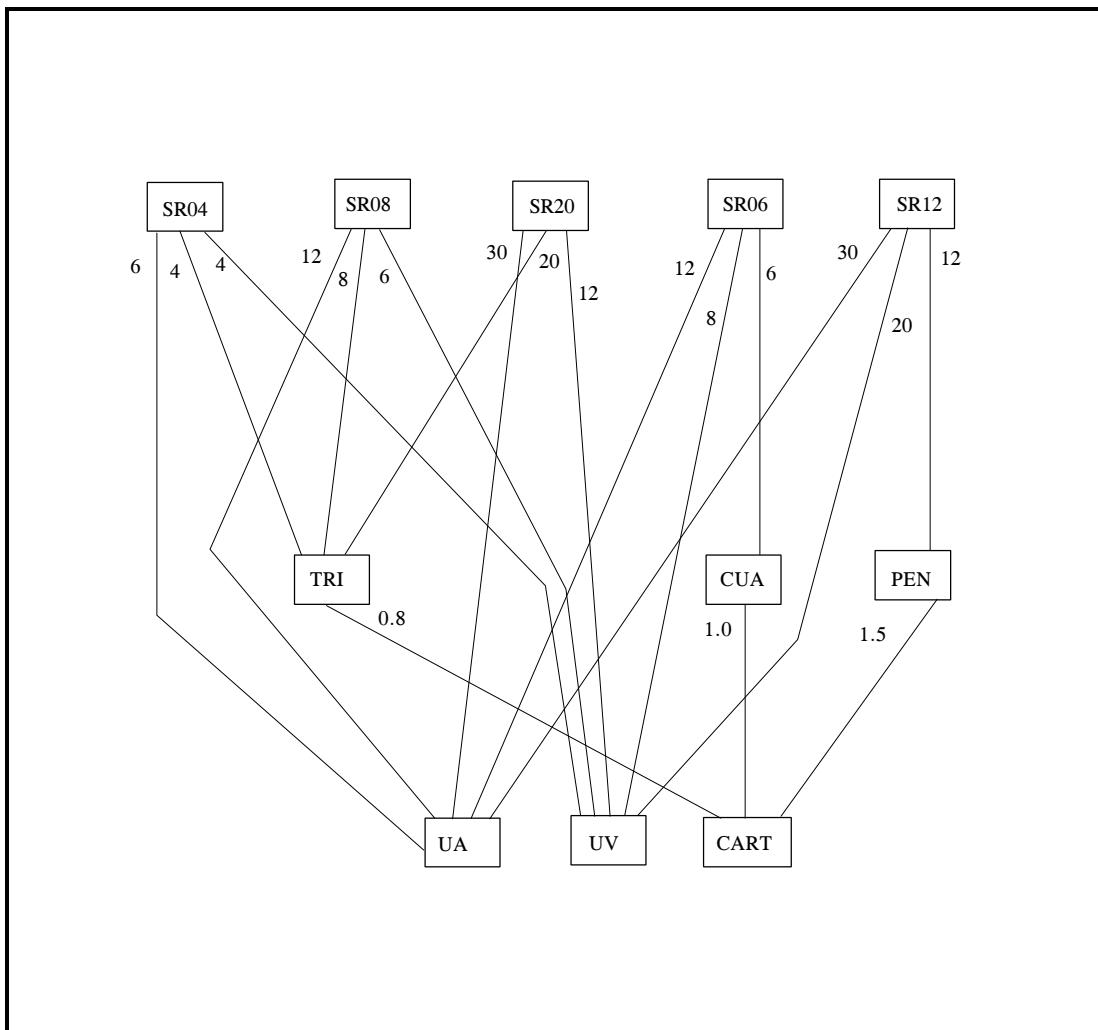


Fig. 4.1.3.39(a) Estructura del producto de SOLREG

	SR04	SR08	SR20	SR06	SR12	TRI	CUA	PEN
(SR04)								
(SR08)								
(SR20)								
(SR06)								
(SR12)								
$N =$ (TRI)	4	8	20					
(CUA)				6				
(PEN)					12			
(UV)	4	6	12	8	20			
(UA)	6	12	30	12	30			
(CART)						0,8	1	1,5

Fig. 4.1.3.39(b) Matriz gozinto de los productos de SOLREG

(SR04)	1								
(SR08)		1							
(SR20)			1						
(SR06)				1					
(SR12)					1				
(TRI)	4	8	20			1			
$T =$ (CUA)				6			1		
(PEN)					12			1	
(UV)	4	6	12	8	20			1	
(UA)	6	12	30	12	30				1
(CART)	3,2	6,4	16	6	18	0,8	1	1,5	1

Fig. 4.1.3.40 Matriz cantidades por tipo de SOLREG

	ABR	MAY	JUN		ABR	MAY	JUN
(SR04)	600	500	400		600	500	400
(SR08)	200	150	100		200	150	100
(SR20)	100	150	200		100	150	200
$D =$ (TRI)	0	0	0	$G =$	6.000	6.200	6.400
(UV)	0	0	0		4.800	4.700	4.600
(UA)	0	0	0		9.000	9.300	9.600
(CART)	0	0	0		4.800	4.960	5.120

Fig. 4.1.3.41 Demanda y necesidades brutas de SOLREG

SR04	SR08	SR20	TRI	UV	UA	CART
30	10	10	200	300	1.000	800

Fig. 4.1.3.42 Stock inicial de SOLREG

Consideremos la demanda de retiros, D (fig. 4.1.3.41(a)), y prescindiendo de momento del stock final, que estableceremos más adelante, calculamos las necesidades brutas G (fig. 4.1.3.41(b)). El stock inicial de que disponemos es el de la figura 4.1.3.42, y no existe ninguna orden en curso pendiente de cumplimentar. Deseamos realizar los cálculos de necesidades de manera que a final de cada mes, si se cumplieran exactamente nuestras expectativas, nos quede un stock igual al 10% de las necesidades brutas de dicho mes de cada uno de los artículos fabricados. El suplemento de producción actuará como un stock de seguridad, y permitirá absorber las fluctuaciones de demanda que se produzcan. No vamos a entrar ahora en el análisis de la eficiencia de la regla indicada, para el cual, por otra parte, nos faltan datos. Los artículos de procedencia exterior los trataremos más adelante, y entonces tendremos en cuenta su stock de seguridad. El stock deseado a final de cada mes es el indicado en la figura 4.1.3.43.

Para constituir este stock a final de cada mes habrá que añadir a los retiros expresados por D unos ciertos valores que expresen el incremento algébrico de stock que debe producirse cada mes; por ejemplo, como de SR04 tenemos inicialmente 30 unidades y deseamos 60 de stock a final de abril, el incremento de dicho mes es 30, puesto que a final de mayo el stock deseado es 50, el incremento en dicho mes es -10, y análogamente en junio, ya que

el stock deseado entonces es 40, diez unidades inferior al final deseado del mes anterior. Por tanto, tenemos que proceder a una corrección de D mediante dichas diferencias (fig. 4.1.3.43). Las necesidades brutas teniendo en cuenta dicha corrección, que se obtienen premultiplicando D_c por T o añadiendo a la G calculada el efecto de la corrección, serán G_c (fig. 4.1.3.45).

		ABR	MAY	JUN
	(SR04)	60	50	40
STOCK FINAL	(SR08)	20	15	10
DESEADO	(SR20)	10	15	20
	(TRI)	600	620	640

Fig. 4.1.3.43 Stock deseado a final de cada mes

		ABR	MAY	JUN
		30	-10	-10
$D_c = D$ (corregida)	$= D +$	10	-5	-5
		0	5	5
		400	20	2
		0	0	0
		0	0	0
		0	0	0

Fig. 4.1.3.44 Corrección de los valores de D para incorporar el stock deseado

	ABR	MAY	JUN		ABR	MAY	JUN
	30	-10	-10		630	490	390
	10	- 5	- 5		210	145	95
	0	5	5		100	155	205
$G_c = G +$	600	40	40	=	6600	6240	6440
	180	-10	-10		4980	4690	4590
	300	30	30		9300	9330	9630
	480	32	32		5280	4992	5152

Fig. 4.1.3.45 Necesidades brutas corregidas

Donde los valores correspondientes a las cuatro primeras filas (artículos interiores) son las necesidades netas (pues ya se ha tenido en cuenta el efecto de los stocks), mientras que las tres inferiores (artículos exteriores) son necesidades brutas globales: en ellas se ha tenido en cuenta el suplemento de aprovisionamiento para poder producir el suplemento de producción, pero no se ha tenido en cuenta el stock inicial de que se dispone. Téngase presente que en la forma en que hemos actuado si se cumplen las previsiones a final de mes tendremos un 10% de las necesidades brutas iniciales en stock, tanto de los productos terminados como de los intermedios. Sin embargo debido al incremento en las necesidades de productos terminados las necesidades de productos intermedios se incrementan, y a este incremento no le hemos repercutido el 10% (que seguiría así actuando en cascada). En nuestro caso sólo el artículo TRI se encuentra en esta situación, que por lo demás juzgamos correcta (puesto que tener stock de seguridad del stock de seguridad es rizar el rizo). En otro supuesto deberíamos actuar por niveles, y puede verse en 4.1.5.2 la forma de hacerlo.

artículo	UV	UA	CART
stock mínimo	250	500	400
lote de aprov.	2000	4000	2500

Fig. 4.1.3.46 Datos del aprovisionamiento de las artículos

Consideremos la gestión del aprovisionamiento de los tres artículos de procedencia exterior: UV, UA y CART. Puesto que estamos decidiendo lo que se va a producir cada período, estamos definiendo exactamente lo que se va a consumir de cada componente y por consiguiente somos capaces de calcular cuándo teóricamente se agotará la cantidad disponible de los mismos, y por tanto cuándo exactamente conviene que llegue un nuevo lote. Puesto que a pesar de todas las precauciones es posible que se produzca alguna desviación (por ejemplo, se retrase la entrega, o se presenten más defectuosos de lo que se había previsto), convendrá que programemos las entradas cuando todavía quede teóricamente un stock aunque sea reducido (el correspondiente a unos días o unas horas de producción). A continuación indicamos para cada artículo de procedencia exterior el stock mínimo deseable y el tamaño de los lotes de aprovisionamiento:

Supondremos que los meses tienen 20 días laborables y que la producción durante todo el mes es homogénea (en caso contrario deberíamos disponer del calendario laboral y de los ritmos de producción previstos).

El cálculo del número de lotes a recibir cada mes y del día laborable previsto para su llegada se realiza como sigue:

UV - mes abril

$$\text{número de lotes} = \frac{4.980 + 250 - 300}{2.000} = 2,46 \approx 3 \text{ lotes}$$

(el número de lotes es el entero redondeado por exceso que resulta de dividir las necesidades por el tamaño de un lote; las necesidades se evalúan sumando el consumo previsto con el stock mínimo, que siempre debe estar presente, y restándole el stock inicial)

$$\text{consumo diario} = \frac{4.980}{20} = 249$$

primer lote de abril:

$$\frac{300 - 250}{249} = 0,2 \quad \text{día 1 laborable}$$

segundo lote de abril:

$$\frac{300 + 2.000 - 250}{249} = 8,2 \quad \text{día 9 laborable}$$

tercer lote de abril:

$$\frac{300 + 4.000 - 250}{249} = 16,3 \quad \text{día 17 laborable}$$

(hemos determinado el instante en que se alcanza el stock mínimo dividiendo por el consumo diario el stock que tenemos por encima de dicho mínimo, que es el stock inicial, más los lotes ya programados menos el stock mínimo. Para definir el día concreto redondeamos por exceso a la unidad.)

Para operar análogamente en el mes siguiente será conveniente calcular el stock inicial del mismo. Prácticamente esto es obligado, ya que de un mes a otro suele cambiar el consumo diario, con lo que la prolongación de las fórmulas anteriores es delicada.

$$\text{stock final de abril} = 300 + 3 \times 2.000 - 4.980 = 1.320$$

UV - mes mayo

$$\text{número de lotes} = \frac{4.690 + 250 - 1320}{2.000} = 1,8 \approx 2 \text{ lotes}$$

$$\text{consumo diario} = \frac{4.690}{20} = 234,5$$

primer lote de mayo:

$$\frac{1320 - 250}{234,5} = 4,6 \quad \text{día 5 laborable}$$

segundo lote de mayo:

$$\frac{1320 + 2.000 - 250}{234,5} = 13,1 \quad \text{día 14 laborable}$$

$$\text{stock final de mayo} = 1.320 + 2 \times 2.000 - 4.690 = 630$$

UV - mes junio

$$\text{número de lotes} = \frac{4.590 + 250 - 630}{2.000} = 2,1 \approx 3 \text{ lotes}$$

$$\text{consumo diario} = \frac{4.590}{20} = 229,5$$

primer lote de junio:

$$\frac{630 - 250}{229,5} = 1,7 \quad \text{día 2 laborable}$$

segundo lote de junio:

$$\frac{630 + 2.000 - 250}{229,5} = 10,4 \quad \text{día 11 laborable}$$

tercer lote de junio:

$$\frac{630 + 4.000 - 250}{229,5} = 19,1 \quad \text{día 20 laborable}$$

$$\text{stock final de junio} = 630 + 3 \times 2.000 - 4.590 = 2.040$$

UA - mes abril

$$\text{número de lotes} = \frac{9.300 + 500 - 1000}{4.000} = 2,2 \approx 3 \text{ lotes}$$

$$\text{consumo diario} = \frac{9.300}{20} = 465$$

primer lote de abril:

$$\frac{1.000 - 500}{465} = 1,1 \quad \text{día 2 laborable}$$

segundo lote de abril:

$$\frac{1.000 + 4.000 - 500}{465} = 9,7 \quad \text{día 10 laborable}$$

tercer lote de abril:

$$\frac{1.000 + 8.000 - 500}{465} = 18,3 \quad \text{día 19 laborable}$$

$$\text{stock final de abril} = 1.000 + 3 \times 4.000 - 9.300 = 3.700$$

UA - mes mayo

$$\text{número de lotes} = \frac{9.330 + 500 - 3.700}{4.000} = 1,5 \approx 2 \text{ lotes}$$

$$\text{consumo diario} = \frac{9.330}{20} = 466,5$$

primer lote de mayo:

$$\frac{3.700 - 500}{466,5} = 6,9 \quad \text{día 7 laborable}$$

segundo lote de mayo:

$$\frac{3.700 + 4.000 - 500}{466,5} = 15,4 \quad \text{día 16 laborable}$$

$$\text{stock final de mayo} = 3.700 + 2 \times 4.000 - 9.330 = 2.370$$

UA - mes junio

$$\text{número de lotes} = \frac{9.630 + 500 - 2.370}{4.000} = 1,9 \approx 2 \text{ lotes}$$

$$\text{consumo diario} = \frac{9.630}{20} = 481,5$$

primer lote de junio:

$$\frac{2.370 - 500}{481,5} = 3,9 \quad \text{día 4 laborable}$$

segundo lote de junio:

$$\frac{2.370 + 4.000 - 500}{481,5} = 12,2 \quad \text{día 13 laborable}$$

$$\text{stock final de junio} = 2.370 + 2 \times 4.000 - 9.630 = 740$$

Análogamente haríamos los cálculos para el artículo CART. Finalmente obtendríamos un calendario de aprovisionamientos (para programar a nuestros proveedores), que adoptaría la forma de la *figura 4.1.3.47*, siendo la matriz de órdenes correspondiente la de la *figura 4.1.3.48*.

Obsérvese que la lotificación realizada en los artículos de procedencia exterior ha modificado sensiblemente sus necesidades, al introducir una modulación especial. Esta modulación influiría muy intensamente en los niveles siguientes de la estructura si los hubiera. En el caso de que tuviésemos que tratar la lotificación en un nivel intermedio de la estructura, deberíamos terminar con dicho nivel antes de poder pasar al siguiente, por lo que la forma adecuada de proceder sería nivel a nivel, a través de los valores de N , y no todos los niveles simultáneamente, a través de los valores de T (veremos la mecánica de este procedimiento al tratar del MRP).

MES	DÍA (laborable)	ARTÍCULO(S)	CANTIDAD
ABRIL	1	UV	2.000
	2	UA	4.000
		CART	2.500
	9	UV	2.000
	10	UA	4.000
	11	CART	2.500
	17	UV	2.000
	19	UA	4.000
MAYO	1	CART	2.500
	5	UV	2.000
	7	UA	4.000
	11	CART	2.500
	14	UV	2.000
	16	UA	4.000
JUNIO	1	CART	2.500
	2	UV	2.000
	4	UA	4.000
	11	CART	2.500
		UV	2.000
	13	UA	4.000
	20	UV	2.000
		CART	2.500

Fig. 4.1.3.47 Calendario de aprovisionamiento

		ABR	MAY	JUN	TOTAL		
$P =$	(SR04)	630	490	390	1.510	$= P_0$	
	(SR08)	210	145	95	450		
	(SR20)	100	155	205	460		
	(TRI)	6.600	6.240	6.440	19.280		
	(UV)	6.000	4.000	6.000	16.000		
	(UA)	12.000	8.000	8.000	28.000		
	(CART)	5.000	5.000	7.500	17.500		

Fig. 4.1.3.48 Matriz de órdenes

Factor de calidad

		(001)	(002)	(003)	(004)	(005)	(006)	(007)	(008)
$Q =$	(001)	1,04							
	(002)		1,04						
	(003)			1,05					
	(004)				1,05				
	(005)					1,11			
	(006)						1,02		
	(007)							1,11	
	(008)								1,03

Fig. 4.1.3.49 Matriz del factor calidad

Puesto que los artículos, tanto fabricados como comprados, raramente poseen una calidad perfecta, deberemos programar usualmente la fabricación o el suministro de un número de artículos mayor que la cantidad final a la que deseamos llegar. En la fábrica de muebles metálicos supongamos que sólo el 95% de los anaqueles que se fabrican tienen una calidad

aceptable, entonces se deberá planificar una producción $1/0,95 = 1,05$ veces mayor que el número estricto de anaqueles que se precisan. Podemos disponer de un factor de calidad para cada una de las claves de nuestra estructura de materiales, y representar dichos factores en una matriz diagonal Q como la de la *figura 4.1.3.49* (una empresa del tipo de la de este ejemplo con tantos rechazos como los indicados en la matriz rápidamente tendría unos costes superiores a los de los competidores y se vería obligada a cerrar). Para incluir el factor de calidad en nuestro planteamiento deberemos sencillamente premultiplicar X por Q , $X_0 = Q \cdot X$ (*fig. 4.1.3.50*) y utilizar X_0 en lugar de X en la toma de decisiones.

	ENE	FEB	MAR	SF	TOTAL
(001)	130	130	104	21	385
(002)	78	130	156	31	395
(003)	0	0	814	462	1.276
$X_0 =$ (004)	0	0	1.365	651	2.016
(005)	0	0	389	861	1.250
(006)	0	51	4.896	1.489	6.436
(007)	0	0	222	272	494
(008)	0	0	0	350	350

Fig. 4.1.3.49 Necesidades netas afectadas del factor de calidad

Coste estándar

Por lo visto anteriormente la lista de materiales, además de indicar los componentes de cada artículo, puede estar asociada a una matriz B en la que se indica el consumo de recursos (esencialmente tiempo de secciones, talleres o máquinas). Si a cada uno de los componentes de un cierto artículo le atribuimos un precio, y asimismo asignamos un precio a los recursos, podemos determinar el coste del artículo que nos interesa. Sea CS un vector fila en el que cada elemento es el coste (estándar) de los artículos; para los artículos de procedencia exterior este coste no dependerá de circunstancias internas, estar relacionado con el precio a que los compramos, y deberemos tomarlo como un dato de partida. Sea PE el vector fila correspondiente a estos costes exteriores (los artículos interiores tendrán en este vector un cero y los exteriores el precio establecido). Sea además PR el vector fila del precio de los recursos. Podemos escribir:

$$CS = CS \cdot N + PE + PR \cdot B$$

Naturalmente, si proseguimos utilizando el cálculo matricial, podemos despejar CS de la forma:

$$CS = (PE + PR \cdot B) \cdot (I - N)^{-1} = (PE + PR \cdot B) \cdot T$$

La matriz $B \cdot T$ tiene un significado concreto, de la misma manera que T indica las componentes que directa o indirectamente entran en un artículo i , $B \cdot T$ indica los consumos de recursos (horas de los talleres) que directa o indirectamente (para obtener componentes) entran en la elaboración de i ; llamaremos $U = B \cdot T$ (matriz de *cargas por tipo*).

Si además como cuota para atender a otros costes se asigna, como es habitual, un tanto por uno α de los costes de los recursos, la expresión final será:

$$CS = PE \cdot T + (1 + \alpha) \cdot PR \cdot U$$

La naturaleza que tengan PE y PR (y en menor cuantía N y B) definen el tipo de coste que es CS . Si todos los valores corresponden a los vigentes en un instante dado, tendremos costes puntuales; si corresponden a valores medios estimados a lo largo del próximo ejercicio, tendremos los costes denominados estándar. Téngase presente que habitualmente en su cálculo se desarrolla un enorme esfuerzo para afinar los valores estimados de PE y PR ; sin embargo, no suele hacerse lo mismo con N y B , que también son variables a lo largo del año debido a las modificaciones de estructura de los productos y a las mejoras tecnológicas de proceso (aumento de productividad).

El cálculo práctico de los costes evidentemente es mejor por métodos iterativos o directos, posibles siempre estos últimos si se efectúan los cálculos ordenando los artículos en sentido contrario al de los niveles, utilizando la primera formulación indicada.

Tomemos de nuevo el ejemplo SOLREG, y consideremos que la elaboración de efectúa en dos talleres o secciones: la sección 1 es la de fabricación (de los TRI, CUA y PEN), mientras que la sección 2 es la de montaje de los productos terminados. Nuestros datos son de coste y se encuentran en las tablas de la *figura 4.1.3.51*.

Puesto que los costes relativos a las piezas de procedencia exterior son datos, pasemos al nivel anterior y determinemos el coste correspondiente a TRI, CUA y PEN:

$$CS(TRI) = 0,8 \times 20 + 1,15 \times 50 \times 3 = 188,5$$

$$CS(CUA) = 1 \times 20 + 1,15 \times 50 \times 4 = 250$$

$$CS(PEN) = 1,5 \times 20 + 1,15 \times 50 \times 5 = 317,5$$

de donde el coste de SR04 será:

de donde el coste de SR04 será:

$$CS(SR04) = 188,5 \times 4 + 8 \times 4 + 5 \times 6 + 1,15 \times 50 \times 7 = 1.218,5$$

y análogamente:

$$CS(SR08) = 2.363,5 ; CS(SR20) = 5.798,5 ; CS(SR06) = 2.371,5$$

$$CS(SR12) = 5.902,5$$

CLAVE PE:	PRECIO EXTERIOR	SECCIÓN 1 (minutos)	SECCIÓN 2 (minutos)
SR04			7
SR08			13
SR20			31
SR16			13
SR12			31
TRI		3	
CUA		4	
PEN		5	
UV	8 PTA		
UA	5 PTA		
CART	20 PTA		
Coste horario sección 1: 3.000 PTA Coste horario sección 2: 3.000 PTA Porcentaje absorción gastos generales: 15%			

Fig. 4.1.3.51 Datos de costes de SOLREG

4.1.3.5 Contenido de la lista de materiales

La construcción de la lista de materiales presenta dificultades importantes en la práctica debido a la elevada cantidad de artículos y la complejidad de su identificación. Es, en cierta forma, la plasmación de cómo el sistema productivo se ve a sí mismo, y esta visión raramente es neutra. Algunas dificultades que podemos enumerar son:

- En algunos artículos pueden producirse ambigüedades; por ejemplo, según el estado de carga en la planta un artículo se fabricará en el interior o se subcontratará,

aprovisionándolo del exterior; o incluso podrá obtenerse permanentemente de ambas maneras, en proporción variable de un instante a otro. Otros artículos pueden tener parte o todo su proceso en el exterior (por precisarse tecnologías especiales), cuidando nuestra empresa de abastecer de piezas brutas al taller subcontratista. Las cantidades de los componentes de un artículo pueden ser variables, bien por un fenómeno aleatorio real, en cuyo caso unos valores medios podrán ser suficientes, bien por reflejar una cierta licencia en la descripción de la estructura en favor de la concisión; por ejemplo, si los artículos van pintados de diferentes colores, será más compacto crear un artículo genérico en la estructura denominado "pintura", con lo que el mismo vértice de la red podrá representar a todos ellos independientemente de su color, que manejar específicamente cada pintura de color en la estructura con lo que serán precisos tantos vértices para los productos finales como colores haya. Los problemas aparecerán en el momento de determinar cuánta pintura es necesaria para un determinado programa de producción, ya que puede ser preciso un tratamiento específico a partir del porcentaje de artículos de cada color, lo que se agravará si el consumo de kilos de pintura es función del color. En general todas las ambigüedades, como se ha reflejado en el caso de la pintura, se resolverán con mayor o menor fortuna, con información adicional y tratamientos especiales.

- Aunque toda la empresa gira alrededor del producto y de su composición, cada departamento y cada función lo ve de forma distinta. Hay multiplicidad de visiones. En particular, un departamento tan ligado al producto como ingeniería (diseño o proyectos), ve la composición y estructura del producto en forma diferente de la que tiene producción. Las secuencias de montaje no suelen coincidir con la forma de expresión del diseño, más ligada con la funcionalidad de los elementos o subconjuntos, mientras que la fabricación de los elementos puede dar carta de naturaleza a productos intermedios (fantasmas) simplemente por comodidad gestional. Ingeniería, por otra parte, se interesa más por el producto futuro que por el presente, mientras que producción se preocupa por el producto más inmediato: presente y próximo futuro. Esto ha llevado a que en algunas empresas existan dos listas de materiales, la de proyectos y la de producción, con los consiguientes costes de duplicación y problemas al pasar de una a otra. Convencidas de lo erróneo de las dos listas, otras empresas han suprimido por decreto una de las dos (según el equilibrio de poderes la de producción o la de proyectos), pero si no han avanzado organizativamente más en la resolución del problema real existente lo que han logrado normalmente es que la otra continúe ilegalmente en el "mercado negro".
- Pero además de ingeniería otros departamentos se interesan por la lista de materiales con su particular visión. Compras o aprovisionamiento, para la programación de los proveedores y el establecimiento de los presupuestos de compras; para su gestión les interesa incluir en la lista de materiales artículos complementarios tales como embalajes, soportes, etc. que aunque no intervienen en la estructura del producto, sí lo hacen en las necesidades de compra o aprovisionamiento. Post-venta tiene una visión del artículo también distinta, no sólo porque se preocupa de los productos pasados y los conjuntos

para recambios que pueden diferir de los utilizados en primera producción, sino por la característica fundamental de la intercambiabilidad, que si bien debería ser una de las preocupaciones de ingeniería, raramente lo es, y constituye la pesadilla de post-venta en los productos sometidos a gran número continuado de modificaciones (como los automóviles). Los contables se interesan por la lista de materiales como elemento estimador (costes estándar) y elemento de control; su ímpetu controlador puede llevarles a pedir la proliferación de claves para poder controlar (por lo menos en el papel) todos los estadios intermedios de producción, y es una tentación que conviene resistir. Comercial también tiene mucho que ver con el producto, pero su visión está más cerca de la de ingeniería, por cuanto se interesa por la funcionalidad y la diferenciación de productos, sin que le preocupe extraordinariamente la lista de materiales. Sin embargo, su presión para lograr variedad de productos acabados conduce a una problemática que trataremos a continuación.

- Las variantes y componentes optativos (color, motorización, tapizado, techo abrible, radio, alzacristales eléctrico, etc. en automóviles, diversas tensiones en electrodomésticos, etc.) producen un número posible de productos acabados muy elevado, algunos de los cuales posiblemente no llegarán a fabricarse nunca por no haber tenido demanda real en toda su existencia. Cada posible producto terminado, en nuestra formulación, es una clave que tiene su reflejo en un vértice del grafo gozinto (una ficha) con sus correspondientes enlaces. Esto puede dar lugar a una lista de materiales clásica extraordinariamente extensa, muy pesada de mantener, actualizar y manipular. Veremos algunas posibles soluciones en **4.1.3.8**.
- Cuando se producen modificaciones de diseño pueden coexistir productos en curso de producción, y desde luego en el mercado, con dos estructuras diferentes (y bajo el mismo nombre). Desde el punto de vista gestional es preciso saber cuándo cambia de composición un producto. Algunas soluciones a este problema las veremos en **4.1.3.7**.
- La lista de materiales necesaria para la planificación no necesita ser tan exhaustiva como la empleada en aprovisionamiento o en control de producción; se trata de un compendio o resumen de ésta (algunas veces la hemos denominado macro-lista); muchos componentes son irrelevantes para las consideraciones de planificación. Aunque ambas listas están íntimamente relacionadas, el paso de la extensa a la condensada en forma automática no es sencillo. Para la utilización en planificación, la macro-lista deber tener en cuenta sólo:
 - * Los artículos componentes que sean muy característicos y que, por tanto, interesa controlar al nivel de la planificación.
 - * Los subconjuntos almacenables, que a falta de un montaje final, de corta duración, pueden dar gran variedad de productos acabados, montados bajo pedido en firme del cliente.

- * Los artículos críticos bajo el punto de vista de disponibilidad de los materiales.
- * Los artículos que opcionalmente pueden fabricarse en el interior o subcontratarse o comprarse al exterior.
- * Los artículos que se realizan en recursos productivos críticos (cuellos de botella), y que por tanto conviene planificar.

4.1.3.6 Nivel de los artículos del plan maestro

Decidir el nivel de los artículos de la lista de materiales que estarán representados en el plan maestro es un aspecto crítico que está íntimamente ligado con la forma de dicha lista. Estos artículos pueden no coincidir con los productos terminados, en cuyo caso la distinción entre el plan maestro y el programa de montaje (FAS) será capital. Se consideran cuatro casos (*fig. 4.1.3.52*)

- Caso I: El plan maestro y el FAS coinciden. Esta situación existe, en particular, cuando los productos acabados se fabrican para stock y se venden como productos de catálogo. Suele darse en la fabricación de bienes de consumo.
- Caso II: Representa la fabricación de productos finales a partir de subconjuntos y componentes comunes. El plan maestro puede definirse en subconjuntos, piezas fabricadas o compradas, pintura y materiales de embalaje. Así se planifican materiales líquidos y a granel, comercializados en envases de diferente tamaño y tal vez con diferente etiqueta. Otro ejemplo lo constituyen los automóviles fabricados bajo pedido a partir de conjuntos y subconjuntos almacenados. El plan maestro estará definido en artículos uno o dos niveles por debajo del de los productos finales.
- Caso III: Representa una situación en la que relativamente pocos elementos básicos se combinan para fabricar muchos productos finales diferentes. Algunas empresas del sector químico tienen esta relación entre productos acabados y artículos de plan maestro. En el caso II hay relativamente poco proceso para pasar de los artículos de plan maestro a productos acabados, en cambio en el caso III la conversión de los artículos de plan maestro en productos terminados exige una actividad productiva relativamente importante.
- Caso IV: Difiere del caso III en que el plan maestro establece únicamente las necesidades de materiales comprados y toda la actividad productiva se basa en el FAS. Es típico de las empresas que compran materiales para

stock y realizan toda su fabricación bajo pedido. Un ejemplo lo constituyen los talleres que fabrican piezas mecanizadas, herramientas o matrices.

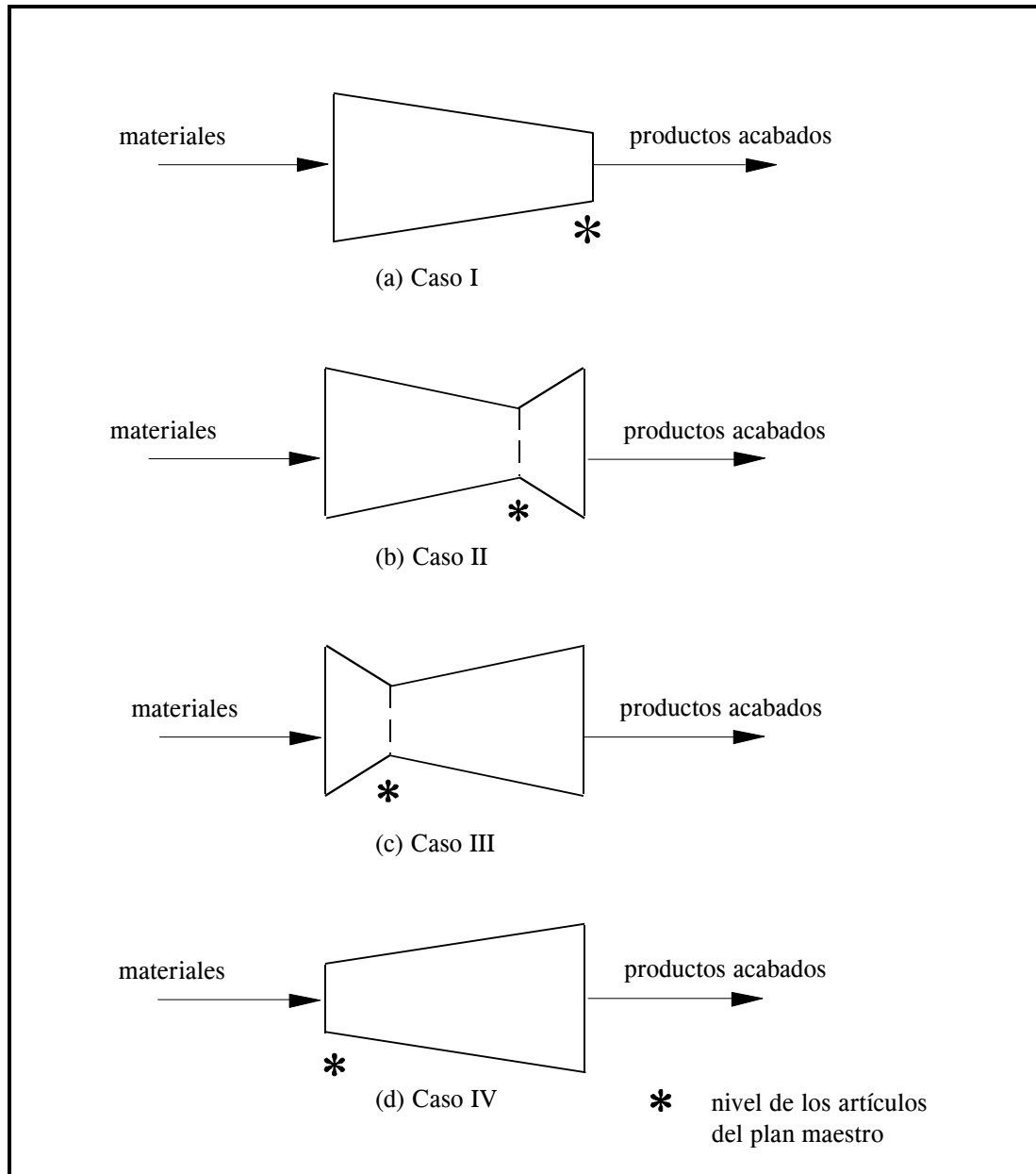


Fig. 4.1.3.52 Nivel de los artículos del plan maestro en función de la estructura de la lista de materiales