

## CAPÍTULO

## 6

**MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING. JUST IN TIME**

## Objetivos del capítulo

1. Introducción a la planificación de requerimientos de material (*material requirements planning* o MRP)
2. Elementos del *material requirements planning*
  - 2.1. Horizonte de planificación
  - 2.2. Lista de materiales o estructura del producto
  - 2.3. Explosión del *material requirements planning*
  - 2.4. Nomenclatura utilizada
  - 2.5. Tamaños de los lotes
3. Desarrollo del método *material requirements planning*
4. El modelo *just in time*
  - 4.1. Cinco ceros del *just in time*
  - 4.2. *Lean manufacturing*

## Conceptos básicos

## Actividades de autocomprobación

## Ejercicios voluntarios

## Referencias bibliográficas



## OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

Este capítulo se centra en dos aspectos muy destacados relacionados con la organización de la producción: el *material requirements planning* (MRP) y el *just in time* (JIT). El lector deberá:

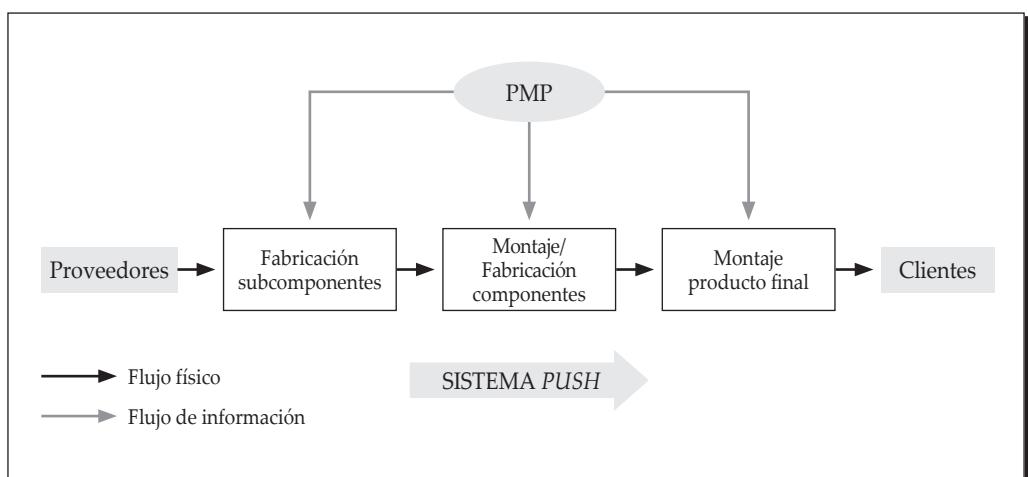
- Conocer todos los elementos de un MRP, y su significado.
- Poder realizar de manera práctica un MRP.
- Conocer las bases de la filosofía JIT.

Para alcanzar estos objetivos, se ha organizado este capítulo en diferentes epígrafes. Se comienza con el modelo MRP, viendo en detalle cada uno de sus elementos, y aprendiendo a realizarlo de manera práctica. Se introducirá también cómo le afecta el uso de *stock* de seguridad por parte de la empresa.

Se seguirá con el modelo JIT, analizando sus bases, las premisas de las que parte y el sistema *kanban*. Se verán los tipos de *kanban* existentes y su misión.

## 1. INTRODUCCIÓN A LA PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE MATERIAL (MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING O MRP)

El MRP es el sistema de planificación de producción básico cuando existe demanda dependiente, es decir, para fabricar productos que tienen múltiples componentes y subcomponentes. Su punto de partida es el programa maestro de producción (PMP). Hay que tener muy en cuenta que la falta de un componente cualquiera impide el montaje del producto final. Tiene su origen en la Segunda Guerra Mundial, para la planificación logística de los ejércitos.



Los objetivos de un MRP son los siguientes:

- Debe asegurar la disponibilidad de todos los elementos, componentes y productos finales para la fecha establecida.
- El nivel de inventarios debe ser lo más bajo posible.
- Debe planificar las actividades de producción con las compras necesarias, y las entregas prometidas a los clientes.

Se lo conoce como un sistema de tipo *push* o de empuje, ya que son las primeras partes del sistema productivo las que van «empujando» el producto en curso hacia los pasos posteriores, en función de las previsiones de las ventas, así como de los pedidos comprometidos, provenientes del PMP.

El MRP es utilizado preferentemente para fabricación ATO (ensamblado bajo pedido), también siendo útil para MTS (fabricación para almacenamiento).

En los años ochenta evolucionó al MRP II, debido a los avances tecnológicos de la década. Actualmente ha derivado en los sistemas de planificación de recursos empresariales (*enterprise resource planning*, ERP), siendo una parte importante de los mismos.

Los beneficios que reporta son los siguientes:

- Menor inventario.
- Menor precio de venta, al tener unos menores costes.
- Respuesta más rápida al mercado.
- Mejora de la satisfacción de los clientes.
- Facilidad para realizar cambios en la planificación (retrasos, adelantos, cancelaciones).

## 2. ELEMENTOS DEL MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING

### 2.1. HORIZONTE DE PLANIFICACIÓN

El horizonte de planificación del MRP se divide en períodos de tiempo semanales, y abarca desde unos pocos meses hasta cerca de un año, en función de los tiempos del proceso productivo. El horizonte mínimo es el tiempo de espera acumulado del producto terminado, que incluye los tiempos necesarios para obtener/fabricar todos sus componentes y subcomponentes.

### 2.2. LISTA DE MATERIALES O ESTRUCTURA DEL PRODUCTO

La **lista de materiales** (*bill of materials*) se suele representar en forma de árbol y muestra de manera inequívoca para un determinado producto:

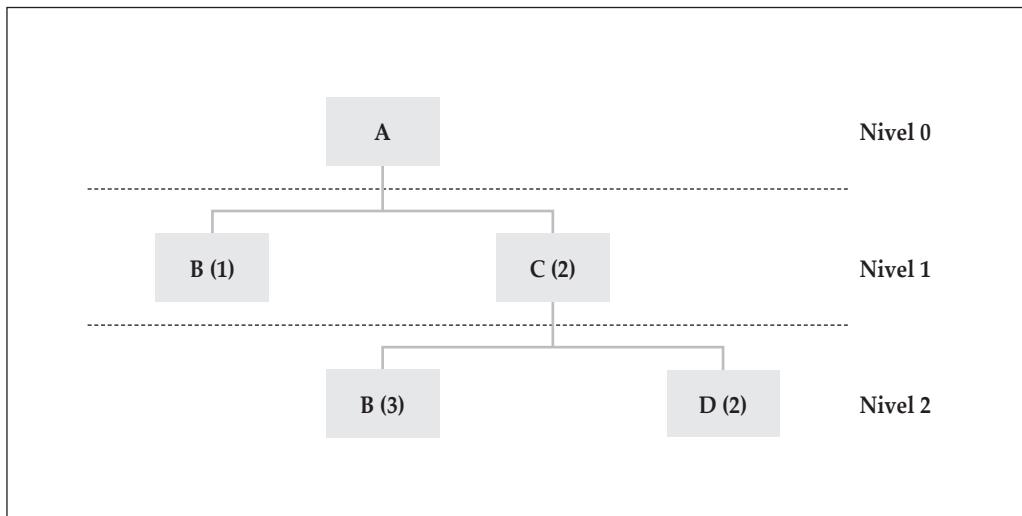
- Los componentes/subcomponentes y cantidades necesarias para producir una unidad.
- La forma en que se combinan los componentes/subcomponentes.

El árbol estará compuesto por niveles de fabricación y montaje, correspondiendo el nivel 0 (también llamado «nivel padre») al producto final. El siguiente será el nivel 1 y lo formarán los componentes necesarios para el producto final. El nivel 2 lo formarán los subcomponentes necesarios para el nivel 1, y así sucesivamente.

En la figura 1 se observa que, para producir una unidad del producto A, se requerirán 1 unidad de B y 2 unidades de C. Para producir una unidad de C, se requieren 3 unidades de B y 2 unidades de D.

Un mismo componente puede estar en más de un nivel, en cuyo caso pertenecerá al nivel más bajo de los que esté. En el ejemplo de la figura, B aparece en el nivel 1 y 2, por lo que pertenecerá realmente al nivel 2.

Figura 1. Ejemplo de lista de materiales



Hay casos en los que, en vez de tener forma de árbol, tienen forma de tabla; en estos casos se llama **lista esquemática de materiales**.

Cada producto fabricado deberá tener su lista de materiales.

## 2.3. EXPLOSIÓN DEL MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING

La explosión de necesidades del MRP va a proporcionar la información de cuándo deben programarse los pedidos de todos los componentes y subcomponentes del producto final para que se pueda cumplir la planificación. Se va realizando nivel a nivel, empezando por el nivel cero, y se necesitan como datos de partida los del archivo maestro de materiales: tamaños de los lotes de cada componente/subcomponente y sus tiempos de espera, así como otros datos adicionales. De esta manera los cálculos se van propagando de los niveles superiores a los inferiores.

## 2.4. NOMENCLATURA UTILIZADA

Las tablas del MRP contendrán los siguientes conceptos, teniendo siempre en cuenta períodos semanales:

- **Requerimientos brutos.** Son las necesidades totales del artículo en cuestión. Los requerimientos brutos de un componente/subcomponente se derivan de la liberación de pedidos planificados de su artículo padre.
- **Recepciones programadas.** Son las llegadas del producto en cuestión previamente liberadas.
- **Proyección de disponibilidad.** Es el inventario al final de la semana.
- **Requerimientos netos.** Determinan las necesidades reales de producción en función de las necesidades brutas, del inventario disponible y de las recepciones programadas.
- **Liberaciones planificadas de pedidos.** Son los pedidos necesarios para hacer frente a los requerimientos netos. Se especifican las cantidades que se van a pedir (en función del tamaño del lote) y el periodo en que debe empezar su producción en función de los tiempos de espera. Su obtención es el principal objetivo del MRP.

## 2.5. TAMAÑOS DE LOS LOTES

El tamaño de los lotes que se usan en el MRP más habitualmente suelen ser los siguientes:

- **Lote a lote.** El tamaño del lote coincide con los requerimientos netos.
- **Cantidad fija de pedido.** Se determina un tamaño del lote mediante el método de cantidad económica de pedido.
- **Coste mínimo unitario.** Se hace un análisis de los costes por periodo en función de los costes de almacenaje y de emisión del pedido, y se escoge el tamaño del lote que haga mínimos esos costes por semana.

Para los ejemplos que se plantearán más adelante, solo se utilizarán los tamaños lote a lote y cantidad fija de pedido.

### 3. DESARROLLO DEL MÉTODO MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING

El desarrollo del MRP se muestra en el siguiente ejemplo.

#### EJEMPLO 1

Como datos de partida se necesitan el archivo maestro de materiales y la lista de materiales.

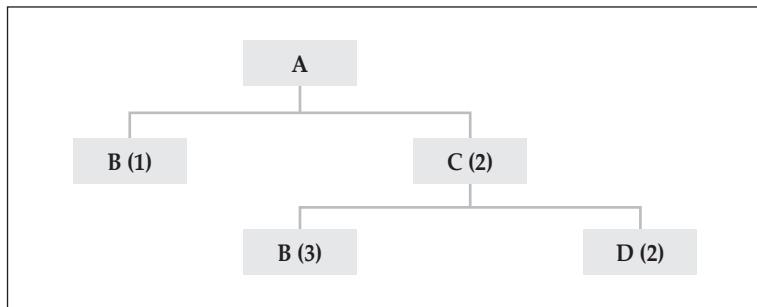
Archivo maestro de materiales

Elemento	Disponibilidad	Tiempo de espera (semanas)	Tamaño del lote	Recepciones programadas
A	75	1	Lote a lote	50, semana 1
B	40	1	500	
C	50	1	150	
D	110	2	350	200, semana 2

..../....

.../...

Figura 2. Lista de materiales del producto A



Los requerimientos brutos del elemento A son:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos .....		100		60	50		40	55
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....								
Requerimientos netos .....								
Liberación planificada del pedido .....								

### Solución

**Elemento A; disponibilidad: 75; tiempo de espera: 1 semana; lote a lote**

Hay que introducir en la tabla el inventario inicial (disponibilidad), así como las recepciones programadas. La disponibilidad son 75 unidades, mientras que hay recepciones programadas en la semana 1 según la tabla de datos de partida:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos .....		100		60	50		40	55
Recepciones programadas .....	50							
Proyección de disponibilidad .....	75							
Requerimientos netos .....								
Liberación planificada del pedido .....								

.../...

.../...

Hay que ir rellenando la proyección de disponibilidad (inventario a final del periodo); cuando no haya, lo que falte serán los requerimientos netos de esa semana.

- Semana 1. Proyección de disponibilidad = 75 (inventario inicial) + 50 (recepciones programadas) = 125.
- Semana 2. Proyección de disponibilidad = 125 (inventario inicial) – 100 (requerimientos brutos) = 25.
- Semana 3. Proyección de disponibilidad = 25 (inventario inicial) – 0 (requerimientos brutos) = 25.
- Semana 4. Proyección de disponibilidad = 25 (inventario inicial) – 60 (requerimientos brutos) = – 35 → implica que esa semana se van a tener unos requerimientos netos de 35 unidades.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos .....		100		60	50		40	55
Recepciones programadas .....	50							
Proyección de disponibilidad .....	75	125	25	25				
Requerimientos netos .....				35				
Liberación planificada del pedido .....								

Como el tamaño del lote para A se calcula lote a lote, se va a pedir únicamente lo que se necesite en cada periodo. Como el tiempo de espera para A es de 1 semana, en este caso habrá una liberación planificada del pedido en la semana 3 de 35 unidades. Como van a llegar las 35 unidades en la semana 4, el inventario al final de esa semana será igual a 0.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos .....		100		60	50		40	55
Recepciones programadas .....	50							
Proyección de disponibilidad .....	75	125	25	25	0			
Requerimientos netos .....				35				
Liberación planificada del pedido .....			35					

.../...

.../...

Y continuando, el elemento A quedaría:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos .....		100		60	50		40	55
Recepciones programadas .....	50							
Proyección de disponibilidad .....	75	125	25	25	0	0	0	0
Requerimientos netos .....				35	50		40	55
Liberación planificada del pedido .....			35	50		40	55	

Se pasa al siguiente nivel en la lista de materiales:

El elemento B también aparece en el nivel 2, siendo necesario para el artículo C, por lo que no se puede realizar todavía.

Entonces se van a hacer los cálculos correspondientes al artículo C:

Viendo la lista de materiales se observa que, para cada unidad de A que se fabrica, se necesitan 2 unidades de C. Por tanto, los requerimientos brutos de C serán 2 veces la liberación de pedidos planificados de A.

Se añade también la disponibilidad, así como las recepciones programadas si las hubiera.

**Elemento C; disponibilidad: 50; tiempo de espera: 1 semana; lote = 150**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos .....			70	100		80	110	
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	50							
Requerimientos netos .....								
Liberación planificada del pedido .....								

Hay que ir rellenando la proyección de disponibilidad (inventario a final del periodo); cuando no haya, lo que falte serán los requerimientos netos de esa semana.

.../...

.../...

Semanas 1 y 2. Proyección de disponibilidad = 50 (inventario inicial) – 0 (requerimientos brutos) = 50.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos .....			70	100		80	110	
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	50	50	50	130				
Requerimientos netos .....				20				
Liberación planificada del pedido .....		150						

Semana 3. Proyección de disponibilidad = 50 (inventario inicial) – 70 (requerimientos brutos) = – 20 → implica que esa semana se van a tener unos requerimientos netos de 20 unidades.

El tamaño del lote para C es de 150 unidades. Como el tiempo de espera para C es de 1 semana, en este caso habrá una liberación planificada del pedido en la semana 2 de 150 unidades. Como van a llegar las 150 unidades en la semana 3, el inventario al final de esa semana será:

$$150 \text{ (liberación planificada del pedido)} - 20 \text{ (requerimientos netos)} = 130 \text{ unidades}$$

Y continuando se llegaría a:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos .....			70	100		80	110	
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	50	50	50	130	30	30	100	140
Requerimientos netos .....				20			50	10
Liberación planificada del pedido .....		150			150	150		

Se pasa al siguiente nivel en la lista de materiales: D.

.../...

.../...

Viendo la lista de materiales se observa que para cada unidad de C que se fabrica, se necesitan 2 unidades de D. Por tanto, los requerimientos brutos de D serán igual a 2 veces la liberación de pedidos planificados de C.

Se añade también la disponibilidad, así como las recepciones programadas si las hubiera.

**Elemento D; disponibilidad: 110; tiempo de espera: 2 semanas; lote = 350**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos .....		300			300	300		
Recepciones programadas .....		200						
Proyección de disponibilidad .....	110							
Requerimientos netos .....								
Liberación planificada del pedido .....								

Hay que ir rellenando la proyección de disponibilidad (inventario a final del periodo); cuando no haya, lo que falte serán los requerimientos netos de esa semana. Finalmente se llegaría a:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos .....		300			300	300		
Recepciones programadas .....		200						
Proyección de disponibilidad .....	110	110	10	10	10	60	110	110
Requerimientos netos .....						290	240	
Liberación planificada del pedido .....			350	350				

Se pasa al artículo pendiente en la lista de materiales: B.

Viendo la lista de materiales se observa que para cada unidad de A que se fabrica, se necesita 1 unidad de B.

Por otro lado, por cada unidad de C, se necesitan 3 unidades de B.

Por tanto, los requerimientos brutos de B serán igual a la suma de:

.../...

.../...

- 1 vez la liberación de pedidos planificados de A.
- 3 veces la liberación de pedidos planificados de C.
  - Semana 2:  $1 \times 0 + 3 \times 150 = 450$ .
  - Semana 3:  $1 \times 35 + 3 \times 0 = 35$ .
  - Semana 4:  $1 \times 50 + 3 \times 0 = 50$ .
  - Semana 5:  $1 \times 0 + 3 \times 150 = 450$ .
  - Semana 6:  $1 \times 40 + 3 \times 150 = 490$ .
  - Semana 7:  $1 \times 55 + 3 \times 0 = 55$ .

Se añade también la disponibilidad, así como las recepciones programadas si las hubiera.

**Elemento B; disponibilidad: 40; tiempo de espera: 1 semana; lote = 500**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos .....	450	35	50	450	490	55		
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....   40								
Requerimientos netos .....								
Liberación planificada del pedido .....								

Hay que ir rellenando la proyección de disponibilidad (inventario a final del periodo); cuando no haya, lo que falte serán los requerimientos netos de esa semana.

Y continuando se llegaría a:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos .....	450	35	50	450	490	55		
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....   40	40	90	55	5	55	65	10	10
Requerimientos netos .....		410			445	435		
Liberación planificada del pedido .....	500			500	500			

### EJEMPLO 2. Con stock de seguridad

En la mayoría de las ocasiones, las empresas para evitar imprevistos disponen de un inventario o *stock* de seguridad para cada uno de los elementos. Ese *stock* de seguridad es la cantidad mínima que debe haber de ese elemento; por lo tanto, cuando se desarrolla el método MRP, al final de cada periodo la proyección de disponibilidad debe reflejarlo.

Al ejemplo anterior, se van a añadir los siguientes *stocks* de seguridad (SS):

Elemento	Disponibilidad	Tiempo de espera (semanas)	Tamaño del lote	Recepciones programadas	SS
A	75	1	Lote a lote	50, semana 1	10
B	40	1	500		20
C	50	1	150		25
D	110	2	350	200, semana 2	10

**Elemento A; disponibilidad: 75; tiempo de espera: 1 semana; lote a lote; SS = 10**

El *stock* de seguridad de 10 unidades implica que la proyección de disponibilidad de A para cada periodo debe ser como mínimo de 10 unidades.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....	100		60	50		40	55	
Recepciones programadas .....	50							
Proyección de disponibilidad .....	75	125	25	25	10	10	10	10
Requerimientos netos .....				45	50		40	55
Liberación planificada del pedido .....			45	50		40	55	

- Semana 1. Proyección de disponibilidad = 75 (inventario inicial) + 50 (recepções programadas) = 125 unidades, que es mayor que el *stock* de seguridad.
- Semana 2. Proyección de disponibilidad = 125 (inventario inicial) – 100 (requerimientos brutos) = 25 unidades, que es mayor que el *stock* de seguridad.
- Semana 3. Proyección de disponibilidad = 25 (inventario inicial) – 0 (requerimientos brutos) = 25 unidades, que es mayor que el *stock* de seguridad.

.../...

.../...

- Semana 4. Proyección de disponibilidad = 25 (inventario inicial) – 60 (requerimientos brutos) = -35 → como el stock de seguridad es de 10 unidades, implica que esa semana se van a tener unos requerimientos netos de 35 + 10 = 45 unidades.

El inventario al final de esta semana será:

$$\text{Inventario inicial (25)} + \text{Liberación planificada del pedido (45)} - \\ - \text{Requerimiento bruto (60)} = 10$$

- Semana 5. Proyección de disponibilidad = 10 (inventario inicial) – 50 (requerimientos brutos) = -40 → como el stock de seguridad es de 10 unidades, implica que esa semana se van a tener unos requerimientos netos de: 40 + 10 = 50 unidades.

El inventario al final de esta semana será:

$$\text{Inventario inicial (10)} + \text{Liberación planificada del pedido (50)} - \\ - \text{Requerimiento bruto (50)} = 10$$

Y así para el resto de semanas que quedan.

#### **Elemento C; disponibilidad: 50; tiempo de espera: 1 semana; lote = 150; SS = 25**

Viendo la lista de materiales se observa que para cada unidad de A que se fabrica, se necesitan 2 unidades de C. Por tanto, los requerimientos brutos de C serán 2 veces la liberación de pedidos planificados de A:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....			90	100		80	110	
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....   50	50	50	110	160	160	80	120	120
Requerimientos netos .....			65	15			55	
Liberación planificada del pedido .....		150	150			150		

- Semanas 1 y 2. Proyección de disponibilidad = 50 (inventario inicial) – 0 (requerimientos brutos) = 50 unidades, que es mayor que el stock de seguridad.
- Semana 3. Proyección de disponibilidad = 50 (inventario inicial) – 90 (requerimientos brutos) = -40 → como el stock de seguridad es de 25 unidades, implica que esa semana se van a tener unos requerimientos netos de: 40 + 25 = 65 unidades.

.../...

.../...

El tamaño del lote para C es de 150 unidades. Como el tiempo de espera para C es de 1 semana, en este caso habrá una liberación planificada del pedido en la semana 2 de 150 unidades. Como van a llegar las 150 unidades en la semana 3, el inventario al final de esa semana será:

$$\begin{aligned} \text{Inventario inicial (50)} &+ \text{Liberación planificada del pedido (150)} - \\ &- \text{Requerimiento bruto (90)} = 110 \end{aligned}$$

- Semana 4. Proyección de disponibilidad = 110 (inventario inicial) – 100 (requerimientos brutos) = 10 → como es menor que el stock de seguridad de 25 unidades, implica que esa semana se van a tener unos requerimientos netos de: 25 – 10 = 15 unidades.

El tamaño del lote para C es de 150 unidades. Como el tiempo de espera para C es de 1 semana, en este caso habrá una liberación planificada del pedido en la semana 3 de 150 unidades. Como van a llegar las 150 unidades en la semana 4, el inventario al final de esa semana será:

$$\begin{aligned} \text{Inventario inicial (110)} &+ \text{Liberación planificada del pedido (150)} - \\ &- \text{Requerimiento bruto (100)} = 160 \end{aligned}$$

Y así para el resto de semanas que quedan.

#### **Elemento B; disponibilidad: 40; tiempo de espera: 1 semana; lote = 500; SS = 20**

Viendo la lista de materiales se observa que para cada unidad de A que se fabrica, se necesita 1 unidad de B. Por otro lado, por cada unidad de C, se necesitan 3 unidades de B.

Por tanto, los requerimientos brutos de B serán igual a la suma de:

- 1 vez la liberación de pedidos planificados de A.
- 3 veces la liberación de pedidos planificados de C.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....		450	495	50		490	55	
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	40	40	90	95	45	45	55	500
Requerimientos netos .....			430	425			465	20
Liberación planificada del pedido .....	500	500			500	500		

.../...

.../...

- Semana 1. Proyección de disponibilidad = 40 (inventario inicial) – 0 (requerimientos brutos) = 40 unidades, que es mayor que el *stock* de seguridad.
- Semana 2. Proyección de disponibilidad = 40 (inventario inicial) – 450 (requerimientos brutos) = -410 → como el *stock* de seguridad es de 20 unidades, implica que esa semana se van a tener unos requerimientos netos de:  $410 + 20 = 430$  unidades.

El tamaño del lote para B es de 500 unidades. Como el tiempo de espera para B es de 1 semana, en este caso habrá una liberación planificada del pedido en la semana 1 de 500 unidades. Como van a llegar las 500 unidades en la semana 2, el inventario al final de esa semana será:

$$\begin{aligned} \text{Inventario inicial (40)} &+ \text{Liberación planificada del pedido (500)} - \\ &- \text{Requerimiento bruto (450)} = 90 \end{aligned}$$

- Semana 3. Proyección de disponibilidad = 90 (inventario inicial) – 495 (requerimientos brutos) = -405 → como el *stock* de seguridad es de 20 unidades, implica que esa semana se van a tener unos requerimientos netos de:  $405 + 20 = 425$  unidades.

El tamaño del lote para B es de 500 unidades. Como el tiempo de espera para B es de 1 semana, en este caso habrá una liberación planificada del pedido en la semana 2 de 500 unidades. Como van a llegar las 500 unidades en la semana 3, el inventario al final de esa semana será:

$$\begin{aligned} \text{Inventario inicial (90)} &+ \text{Liberación planificada del pedido (500)} - \\ &- \text{Requerimiento bruto (495)} = 95 \end{aligned}$$

- Semana 4. Proyección de disponibilidad = 95 (inventario inicial) – 50 (requerimientos brutos) = 45 unidades, que es mayor que el *stock* de seguridad.

Y así para el resto de semanas que quedan.

#### **Elemento D; disponibilidad: 110; tiempo de espera: 2 semanas; lote = 350; SS = 10**

Viendo la lista de materiales se observa que para cada unidad de C que se fabrica, se necesitan 2 unidades de D. Por tanto, los requerimientos brutos de D serán igual a 2 veces la liberación de pedidos planificados de C:

.../...

.../...

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....		300	300			300		
Recepciones programadas .....		200						
Proyección de disponibilidad .....	110	110	10	60	60	60	110	110
Requerimientos netos .....				300			250	
Liberación planificada del pedido .....	350			350				

- Semana 1. Proyección de disponibilidad = 110 (inventario inicial) – 0 (requerimientos brutos) = 110 unidades, que es mayor que el *stock* de seguridad.
- Semana 2. Proyección de disponibilidad = 110 (inventario inicial) + 200 (recepciones programadas) – 300 (requerimientos brutos) = 10 → que es justo el *stock* de seguridad.
- Semana 3. Proyección de disponibilidad = 10 (inventario inicial) – 300 (requerimientos brutos) = -290 → como el *stock* de seguridad es de 10 unidades, implica que esa semana se van a tener unos requerimientos netos de: 290 + 10 = 300 unidades.

El tamaño del lote para D es de 350 unidades. Como el tiempo de espera para D es de 2 semanas, en este caso habrá una liberación planificada del pedido en la semana 1 de 350 unidades. Como van a llegar las 350 unidades en la semana 3, el inventario al final de esa semana será:

$$\begin{aligned} \text{Inventario inicial (10)} &+ \text{Liberación planificada del pedido (350)} - \\ &- \text{Requerimiento bruto (300)} = 60 \end{aligned}$$

- Semana 4. Proyección de disponibilidad = 60 (inventario inicial) – 0 (requerimientos brutos) = 60 → que es mayor que el *stock* de seguridad.

Y así para el resto de semanas que quedan.

## 4. EL MODELO JUST IN TIME

El *just in time*, también conocido como JIT o justo a tiempo, es más una filosofía productiva que una metodología. Taiichi Ohno, que fue su creador, lo implantó en Toyota (Japón), en la década de los setenta del siglo XX. Se puede definir como «producir justo las unidades necesarias en el momento justo». En ella producir una unidad de más es igual de malo que producir una unidad de menos.

Los objetivos que persigue son una disminución de inventario a la par que se incrementa la calidad, y se elimina todo desperdicio o acción innecesaria. El inventario oculta los diversos problemas que se pueden tener. Lo que hay que hacer es detectar los problemas subyacentes y eliminarlos. Si se logran estos objetivos se reducen los tiempos de suministro, lo que permite reaccionar de manera rápida a los cambios de la demanda. Debe involucrarse en el mismo también a los proveedores para que funcione.

En el JIT se asume que todo ítem producido debe ser correcto, que toda máquina necesaria está operativa en todo momento, y se debe cumplir con todos los plazos de entrega. Por tanto no hay lugar para ningún porcentaje de productos defectuosos, y deben existir unos programas de mantenimiento preventivo muy rigurosos.

La eliminación de todo desperdicio incluye los tiempos, debiendo reducir los tiempos de tránsito o transporte, de preparación y de procesamiento del lote. Para lograrlo se necesita una adecuada distribución en planta (*layout*), cambios en la preparación de los lotes, y un aumento de la eficiencia productiva. También implica eliminar todos aquellos tiempos de espera del proceso productivo. Normalmente los lotes de producción se reducen al reducirse los costes de preparación o *setup*.

Una de las técnicas que revolucionó los tiempos de preparación de un lote fue SMED. SMED son las siglas provenientes de *single minute exchange of die*. Originariamente con esta herramienta se buscaba que los tiempos de preparación o de cambio de una maquinaria para procesar el siguiente pedido fuesen menores de 10 minutos. Esto ha evolucionado hasta lograr unos tiempos de cambio en muchos casos menores de 1 minuto. Es otra técnica que proviene de Japón, y que empieza en Mazda en los años cincuenta.

Se identifican dos tipos de operaciones a realizar cuando se habla de los tiempos de preparación o cambio:

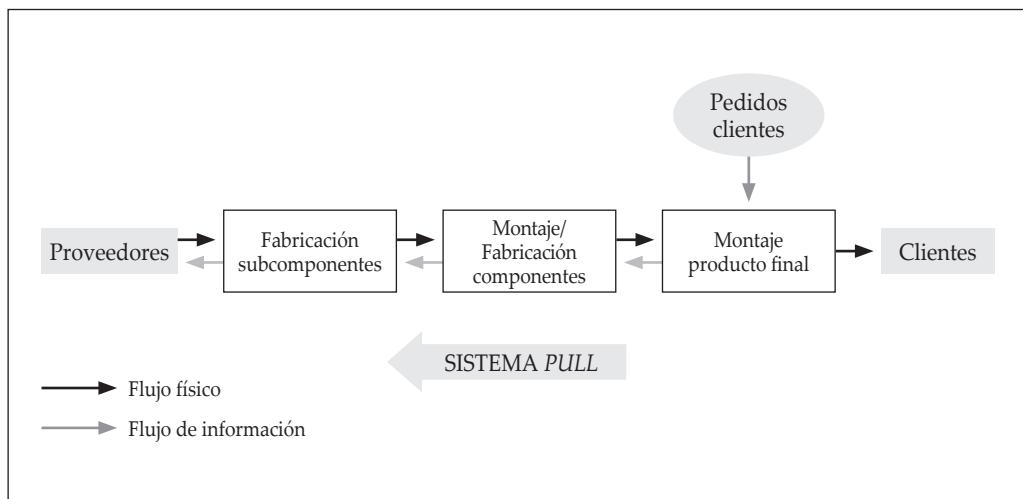
- **Operaciones internas.** Son aquellas que se deben realizar con la máquina parada.
- **Operaciones externas.** Son aquellas que se pueden realizar con la máquina en funcionamiento.

Las etapas que sigue la herramienta SMED son las siguientes:

- Identificar todas las operaciones internas y externas a realizar en la preparación.
- Convertir todas las operaciones que se pueda de internas a externas. Las operaciones externas, al realizarse con la máquina en funcionamiento, no afectan al tiempo total de producción.

- Mejorar las operaciones internas, con el enfoque puesto en simplificar y facilitar su realización.
- Mejorar de igual manera las operaciones externas.

El JIT es un método *pull* o de arrastre, ya que el final de la línea de montaje es el que solicita ítems a los pasos anteriores del proceso.



Normalmente se utiliza una distribución en planta celular o de tecnología de grupo, que requiere flexibilidad en el puesto de trabajo de los operarios. También destaca la creación de círculos de calidad, donde grupos de trabajadores se reúnen periódicamente para discutir problemas y soluciones.

El JIT utiliza unas tarjetas que son conocidas como *kanban*. Las tarjetas *kanban* están pegadas a un contenedor y asociadas a un centro de trabajo. Un contenedor solo puede llevar pegada una tarjeta *kanban*. Existen principalmente dos tipos de tarjetas:

- **Kanban de producción.** Se ubican en los centros de trabajo donde se va a realizar la producción.
- **Kanban de transporte.** Para poner en los contenedores que se utilizan para transportar los productos, subproductos o ítems desde un centro de trabajo a otro. El transporte se realizará siempre con el contenedor lleno. Cada centro de trabajo constará de una zona para los *inputs* y otra para los *outputs*.

Figura 3. Ejemplo de *kanban* de producción

<i>Kanban</i> de producción	
Código del artículo	PR0745
Descripción .....	75 × 35 × 12
Cantidad .....	500
Número de tarjeta	2/5
Punto almacenaje ..	B23

Figura 4. Ejemplo de *kanban* de transporte

<i>Kanban</i> de transporte	
Código del artículo .....	PR0745
Descripción .....	75 × 35 × 12
Cantidad del contenedor	500
Origen .....	B23
Destino .....	B24
Número de tarjeta .....	1/5

#### 4.1. CINCO CEROS DEL JUST IN TIME

Para lograr que la filosofía productiva del JIT tenga éxito, se deben lograr los siguientes «cinco ceros»:

- **Cero defectos.** La producción efectuada debe tener cero defectos, buscando la «calidad total». Al lograr este objetivo, se consigue una gran cantidad de beneficios:
  - Evitar reprocesos innecesarios.
  - Aumentar la capacidad de la planta productiva, ya que el tiempo que se empleaba en los productos defectuosos, ahora se emplea en producción libre de defectos.
  - Menores costes asociados, ya que en los productos defectuosos se empleaban recursos tanto humanos como materiales.
  - Mayor satisfacción del cliente.
- **Cero averías.** El objetivo de este «cero» es lograr que todo el tiempo sea productivo, y no haya paradas del proceso debidas a averías en la maquinaria. Para poder lograr esto una de las prioridades será tener un programa de mantenimiento preventivo adecuado.

- **Cero inventario o stock.** Como ya se ha comentado los inventarios sirven en ocasiones para ocultar problemas del proceso productivo. Si se consigue que el nivel de inventario necesario sea nulo, el proceso productivo estará optimizado.
- **Cero plazos.** Este «cero» busca erradicar todos aquellos tiempos que no son imprescindibles para la fabricación del producto o la prestación del servicio. Tiempos de transporte, tiempos de espera y de preparación del lote deben ser minuciosamente analizados para ver cuáles pueden ser eliminados o, en el peor de los casos, mejorados.
- **Cero papel.** También conocido como **cero burocracia**, lo que busca es eliminar todos aquellos pasos de la gestión que realmente no aporten valor al producto. La ayuda de sistemas de información, con sus bases de datos asociadas, es imprescindible para conseguir este objetivo.

## 4.2. LEAN MANUFACTURING

Es ir un poco más allá que el JIT. También llamada producción esbelta, flexible, ágil o ajustada. Su objetivo es la eliminación de toda fuente de desperdicio. Para ello se basa en la eliminación de todas aquellas actividades del proceso productivo que no aportan valor al producto, es decir, aquellas que el cliente considera que no tienen un valor monetario por el que deba pagar. Su origen, como el de la mayoría de estas metodologías, está en Japón, en concreto en Toyota.

El *lean manufacturing* se basa en tres pilares fundamentales:

- **JIT.** Ya comentado en un epígrafe anterior.
- **TQC (total quality control).** El control total de la calidad busca que todos los departamentos y personas de la organización estén involucrados en el control de la calidad, así como que esté siempre presente en todos los ámbitos de la organización.
- **Kaizen.** Mejora continua. A través del *kaizen* se busca eliminar los despilfarros gracias a la mejora continua de los procesos. No es sinónimo de innovación, ya que esta implica un gran salto de mejora, sino que se centra en las pequeñas pero continuas mejoras que debe sufrir un proceso entre innovación e innovación.

Dentro de las herramientas que se usan en el *lean manufacturing*, las más destacadas son las 5S, *jidoka* y la técnica SMED antes comentada.

El término 5S viene de las cinco palabras japonesas que se utilizan en esta herramienta:

- **Eliminar (seiri).** Se basa en eliminar todo elemento que realmente no sea necesario para realizar la operación analizada. Se pretende que, cuando se esté trabajando, sean fácilmente identificables y accesibles los elementos de trabajo. Se suelen marcar con una tarjeta roja los elementos susceptibles de ser eliminados.
- **Ordenar (seiton).** Consiste en que estén siempre ordenados y en su sitio los elementos que se van a usar en la realización de la operación analizada, de cara a poder ser localizados con facilidad y rapidez.
- **Limpieza (seiso).** El entorno de trabajo debe estar siempre limpio, eliminando toda suciedad.
- **Estandarizar (seiketsu).** La estandarización se basa en procedimentar cómo y cuándo se deben realizar todas las tareas referentes a eliminar, ordenar y limpiar.
- **Disciplina (shitsuke).** Debe existir una fuerte disciplina en la ejecución de las otras 4S.

**Jidoka** es una herramienta de origen japonés, cuya traducción podría ser «automatización con un toque humano». Su objetivo es que la producción tenga cero defectos, detectando de manera automática en cada paso del proceso cualquier posible anomalía. El sistema deberá parar por sí solo, y avisar a los operarios.



## CONCEPTOS BÁSICOS

- 5S.
- Archivo maestro de materiales.
- Cero averías.
- Cero defectos.
- Cero inventario.
- Cero papel.
- Cero plazos.
- Coste mínimo unitario.
- Demanda dependiente.
- Demanda independiente.
- *Jidoka*.
- JIT (*Just in time*).
- *Kanban*.
- *Kanban* de producción.
- *Kanban* de transporte.
- Liberaciones planificadas de pedidos.
- Lista de materiales.
- Lote a lote.
- Método *pull*.
- Método *push*.
- MRP (*material requirements planning*).
- Proyección de disponibilidad.
- Recepciones programadas.
- Requerimientos brutos.
- Requerimientos netos.
- SMED (*single minute exchange of die*).
- *Stock* de seguridad (SS).



## ACTIVIDADES DE AUTOCOMPROBACIÓN

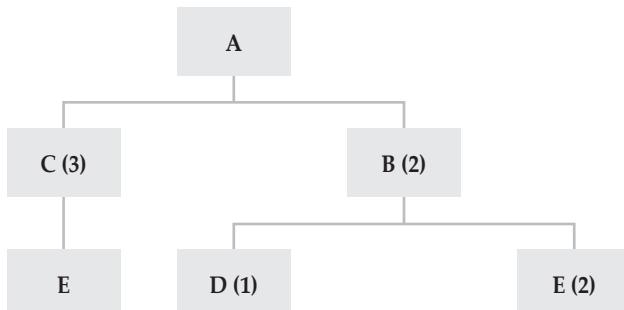
### Enunciado 1

Realizar el MRP con los siguientes datos de partida:

Elemento	Disponibilidad	Tiempo de espera (semanas)	Tamaño del lote	Recepciones programadas
A	25	2	Lote a lote	30, semana 2
B	10	1	Lote a lote	
C	25	1	220	
D	10	1	200	
E	20	1	500	

La lista de materiales es la siguiente:

Figura 5. Lista de materiales



Los requerimientos brutos del elemento A son:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....			30		30	60	20	10
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	25							
Requerimientos netos .....								
Liberación planificada del pedido .....								

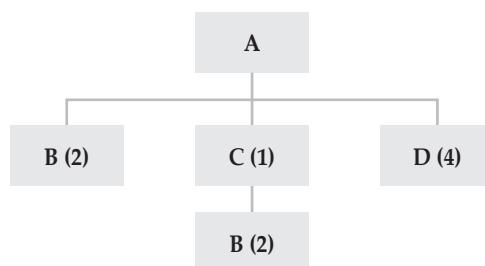
## Enunciado 2

Realizar el MRP con los siguientes datos de partida:

Elemento	Disponibilidad	Tiempo de espera (semanas)	Tamaño del lote	Recepciones programadas
A	15	1	100	
B	200	2	475	300, semana 2
C	30	1	125	80, semana 1
D	150	1	500	

La lista de materiales es la siguiente:

Figura 6. Lista de materiales



Los requerimientos brutos del elemento A son los siguientes:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....			50	70	40		90	
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....								
Requerimientos netos .....								
Liberación planificada del pedido .....								

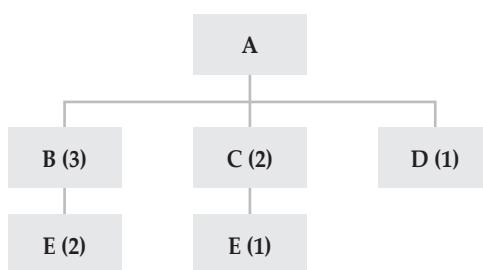
### Enunciado 3

Realizar el MRP con los siguientes datos de partida:

Elemento	Disponibilidad	Tiempo de espera (semanas)	Tamaño del lote	Recepciones programadas
A	30	1	175	20, semana 2
B	100	1	600	
C	50	1	500	
D	40	2	200	30, semana 1
E	200	1	2.500	

La lista de materiales es la siguiente:

Figura 7. Lista de materiales



Los requerimientos brutos del elemento A son los siguientes:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....				100	150		125	90
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....								
Requerimientos netos .....								
Liberación planificada del pedido .....								

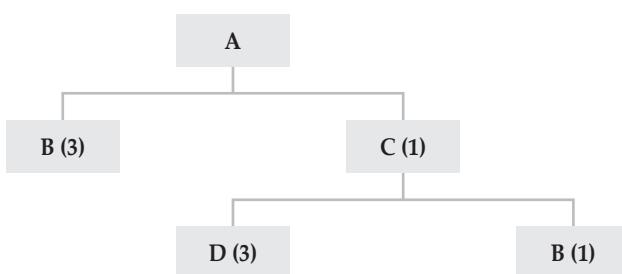
#### Enunciado 4

Realizar el MRP con los siguientes datos de partida:

Elemento	Disponibilidad	Tiempo de espera (semanas)	Tamaño del lote	Recepciones programadas
A	140	1	110	
B	245	1	690	20, semana 2
C	70	1	260	
D	105	2	930	60, semana 1

La lista de materiales es la siguiente:

Figura 8. Lista de materiales



Los requerimientos brutos del elemento A son:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....	0	0	60	65	75	65	70	50
Recepciones programadas .....								
Disponibilidad .....								
Requerimientos netos .....								
Liberación planificada del pedido .....								

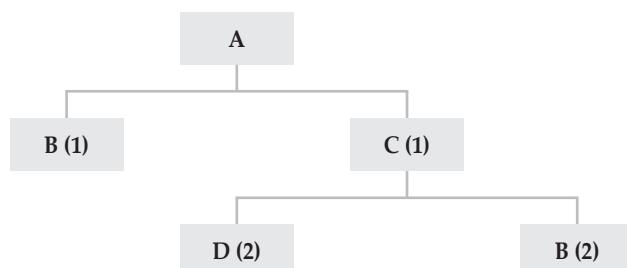
## Enunciado 5

Realizar el MRP con los siguientes datos de partida:

Elemento	Disponibilidad	Tiempo de espera (semanas)	Tamaño del lote	Recepciones programadas
A	100	1	80	
B	240	2	440	20, semana 3
C	105	1	130	60, semana 2
D	160	2	510	

La lista de materiales es la siguiente:

Figura 9. Lista de materiales



Los requerimientos brutos del elemento A son:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....	0	0	65	65	65	70	40	65
Recepciones programadas .....								
Disponibilidad .....								
Requerimientos netos .....								
Liberación planificada del pedido .....								

## Solución 1

**Elemento A; disponibilidad: 25; tiempo de espera: 2 semanas; lote a lote**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....			30		30	60	20	10
Recepciones programadas .....		30						
Proyección de disponibilidad .....	25	25	55	25	25	0	0	0
Requerimientos netos .....					5	60	20	10
Liberación planificada del pedido .....			5	60	20	10		

**Elemento C; disponibilidad: 25; tiempo de espera: 1 semana; lote = 220**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....			15	180	60	30		
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	25	25	25	10	50	210	180	180
Requerimientos netos .....					170	10		
Liberación planificada del pedido .....			220	220				

**Elemento B; disponibilidad: 10; tiempo de espera: 1 semana; lote a lote**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....			10	120	40	20		
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	10	10	10	0	0	0	0	0
Requerimientos netos .....					120	40	20	
Liberación planificada del pedido .....			120	40	20			

**Elemento D; disponibilidad: 10; tiempo de espera: 1 semana; lote = 200**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....			120	40	20			
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	10	10	10	90	50	30	30	30
Requerimientos netos .....				110				
Liberación planificada del pedido .....		200						

**Elemento E; disponibilidad: 20; tiempo de espera: 1 semana; lote = 500**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....	0	0	460	300	40	0	0	0
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	20	20	20	60	260	220	220	220
Requerimientos netos .....				440	240			
Liberación planificada del pedido .....		500	500					

Con stock de seguridad:

**Elemento A; disponibilidad: 25; tiempo de espera: 2 semanas; lote a lote; SS = 5**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....			30		30	60	20	10
Recepciones programadas .....		30						
Proyección de disponibilidad .....	25	25	55	25	25	5	5	5
Requerimientos netos .....						10	60	20
Liberación planificada del pedido .....			10	60	20	10		

**Elemento C; disponibilidad: 25; tiempo de espera: 1 semana; lote = 220; SS = 20**

Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....				30	180	60	30		
Recepciones programadas .....									
Proyección de disponibilidad .....	25	25	25	215	35	195	165	165	165
Requerimientos netos .....				25		45			
Liberación planificada del pedido .....			220		220				

**Elemento B; disponibilidad: 10; tiempo de espera: 1 semana; lote a lote; SS = 10**

Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....				20	120	40	20		
Recepciones programadas .....									
Proyección de disponibilidad .....	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Requerimientos netos .....				20	120	40	20		
Liberación planificada del pedido .....			20	120	40	20			

**Elemento D; disponibilidad: 10; tiempo de espera: 1 semana; lote = 200; SS = 5**

Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....			20	120	40	20			
Recepciones programadas .....									
Proyección de disponibilidad .....	10	10	190	70	30	10	10	10	10
Requerimientos netos .....			15						
Liberación planificada del pedido .....		200							

**Elemento E; disponibilidad: 20; tiempo de espera: 1 semana; lote = 500; SS = 15**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....	0	260	240	300	40	0	0	0
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	20	20	260	20	220	180	180	180
Requerimientos netos .....		255		295				
Liberación planificada del pedido .....	500		500					

## Solución 2

**Elemento A; disponibilidad: 15; tiempo de espera: 1 semana; lote = 100**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....			50	70	40		90	
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	15	15	15	65	95	55	55	65
Requerimientos netos .....				35	5			35
Liberación planificada del pedido .....		100	100				100	

**Elemento C; disponibilidad: 30; tiempo de espera: 1 semana; lote = 125**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....		100	100			100		
Recepciones programadas .....	80							
Proyección de disponibilidad .....	30	110	10	35	35	35	60	60
Requerimientos netos .....				90			65	
Liberación planificada del pedido .....		125			125			

**Elemento D; disponibilidad: 150; tiempo de espera: 1 semana; lote = 500**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....		400	400			400		
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	150	150	250	350	350	350	450	450
Requerimientos netos .....		250	150			50		
Liberación planificada del pedido .....	500	500			500			

**Elemento B; disponibilidad: 200; tiempo de espera: 2 semanas; lote = 475**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....	0	450	200	0	250	200	0	0
Recepciones programadas .....		300						
Proyección de disponibilidad .....	200	200	50	325	325	75	350	350
Requerimientos netos .....				150			125	
Liberación planificada del pedido .....	475			475				

**Solución 3****Elemento A; disponibilidad: 30; tiempo de espera: 1 semana; lote = 175**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....				100	150		125	90
Recepciones programadas .....		20						
Proyección de disponibilidad .....	30	30	50	50	125	150	150	25
Requerimientos netos .....					50	25		65
Liberación planificada del pedido .....			175	175			175	

**Elemento B; disponibilidad: 100; tiempo de espera: 1 semana; lote = 600**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....			525	525			525	
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	100	100	100	175	250	250	250	325
Requerimientos netos .....				425	350			275
Liberación planificada del pedido .....		600	600			600		

**Elemento C; disponibilidad: 50; tiempo de espera: 1 semana; lote = 500**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....			350	350			350	
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....	50	50	50	200	350	350	350	0
Requerimientos netos .....				300	150			
Liberación planificada del pedido .....		500	500					

**Elemento D; disponibilidad: 40; tiempo de espera: 2 semanas; lote = 200**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....			175	175			175	
Recepciones programadas .....	30							
Proyección de disponibilidad .....	40	70	70	95	120	120	120	145
Requerimientos netos .....				105	80			55
Liberación planificada del pedido .....	200	200			200			

**Elemento E; disponibilidad: 200; tiempo de espera: 1 semana; lote = 2.500**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....		1.700	1.700			1.200		
Recepciones programadas .....								
Proyección de disponibilidad .....   200	200	1.000	1.800	1.800	1.800	600	600	600
Requerimientos netos .....		1.500	700					
Liberación planificada del pedido .....	2.500	2.500						

## Solución 4

**Elemento A; disponibilidad 140; tiempo de espera: 1 semana; lote = 110**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....	0	0	60	65	75	65	70	50
Recepciones programadas .....	0							
Proyección de disponibilidad .....   140	140	140	80	15	50	95	25	85
Requerimientos netos .....					60	15		25
Liberación planificada del pedido .....				110	110		110	

**Elemento C; disponibilidad 70; tiempo de espera: 1 semana; lote = 260**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....	0	0	0	110	110	0	110	0
Recepciones programadas .....		0						
Proyección de disponibilidad .....   70	70	70	70	220	110	110	0	0
Requerimientos netos .....				40				
Liberación planificada del pedido .....			260					

**Elemento B; disponibilidad 245; tiempo de espera: 1 semana; lote = 690**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....	0	0	260	330	330	0	330	0
Recepciones programadas .....		20						
Proyección de disponibilidad .....	245	245	265	5	365	35	35	395
Requerimientos netos .....				325			295	
Liberación planificada del pedido .....			690			690		

**Elemento D; disponibilidad 105; tiempo de espera: 2 semanas; lote = 930**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....	0	0	780	0	0	0	0	0
Recepciones programadas .....	60							
Proyección de disponibilidad .....	105	165	165	315	315	315	315	315
Requerimientos netos .....				615				
Liberación planificada del pedido .....	930							

**Solución 5****Elemento A; disponibilidad 100; tiempo de espera: 1 semana; lote = 80**

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....	0	0	65	65	65	70	40	65
Recepciones programadas .....	0							
Proyección de disponibilidad .....	100	100	100	35	50	65	75	35
Requerimientos netos .....				30	15	5		30
Liberación planificada del pedido .....			80	80	80		80	

**Elemento C; disponibilidad 105; tiempo de espera: 1 semana; lote = 130**

Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....		0	0	80	80	80	0	80	0
Recepciones programadas .....			60						
Proyección de disponibilidad .....	105	105	165	85	5	55	55	105	105
Requerimientos netos .....						75		25	
Liberación planificada del pedido .....				130		130			

**Elemento B; disponibilidad 240; tiempo de espera: 2 semanas; lote = 440**

Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....		0	0	80	340	80	260	80	0
Recepciones programadas .....				20					
Proyección de disponibilidad .....	240	240	240	180	280	200	380	300	300
Requerimientos netos .....					160		60		
Liberación planificada del pedido .....			440		440				

**Elemento D; disponibilidad 160; tiempo de espera: 2 semanas; lote = 510**

Semana		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimiento bruto .....		0	0	0	260	0	260	0	0
Recepciones programadas .....		0							
Proyección de disponibilidad .....	160	160	160	160	410	410	150	150	150
Requerimientos netos .....					100				
Liberación planificada del pedido .....			510						



## EJERCICIOS VOLUNTARIOS

1. ¿Qué es la lista de materiales?
2. ¿Cuáles son los cinco ceros del JIT?



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Básica

- Chapman, S. N. *Planificación y control de la producción*, México, Pearson Education, 2006.
- Domínguez Machuca, J. A. et al. *Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*, Madrid, McGraw-Hill, 1995.
- Goldratt, E. M. y Cox, J. *The goal: a process of ongoing improvement*, North River Press, 1992.
- Mababu Mukuri, R. *Organización y métodos de trabajo*, Madrid, CEF, 2010.
- Peña Esteban, F. D. de la. *Dirección de la producción*, Madrid, CEF, 2011.
- Rajadell, M. y Sánchez, J. L. *Lean manufacturing. La evidencia de una necesidad*, Madrid, Ediciones Díaz de Santos, 2010.

### En la red

- <<http://ingenieriametodos.blogspot.com>>
- <<http://www.goldrattconsulting.com>>
- <<http://www.leanmanufacturing.org>>

### Avanzada

- CEF. *Dirección de operaciones*, del Máster en Dirección de Negocios Internacionales, Madrid, CEF, 2010.
- Davis, M. M.; Aquilano, N. J. y Chase, R. B. *Fundamentals of operations management*, International Edition, McGraw-Hill, 1999.
- . *Administración de producción y operaciones. Manufactura y servicios*, Santa Fe de Bogotá, McGraw-Hill, 2000.
- Gaither, N. y Frazier, G. *Administración de producción y operaciones*, México, Thomson Editores, 2000.
- Heizer, J. y Render, B. *Dirección de la producción. Decisiones operativas*, Madrid, Pearson Education, 2001.