

## Capítulo 8 Lanzamiento y control

*Un hombre con un reloj sabe la hora que es, uno con dos relojes no está tan seguro.*

Autor no identificado

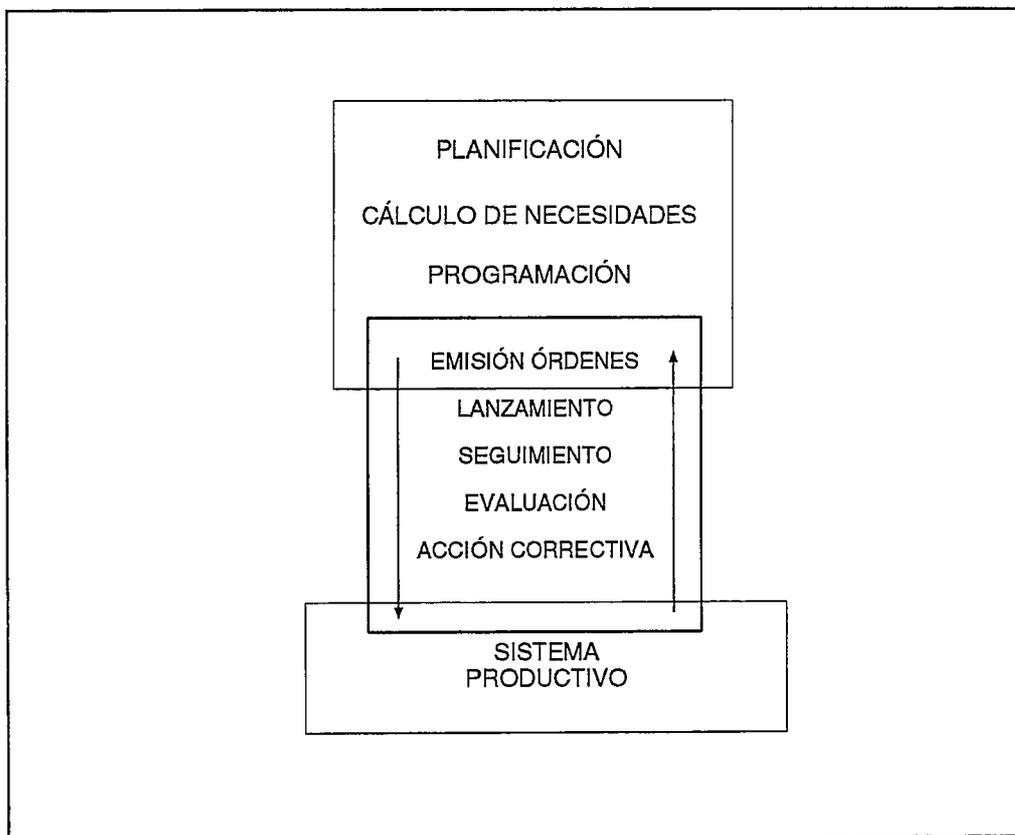
### 8.1 Conceptos

La misión fundamental de la función *lanzamiento y control* es la de conectar el sistema físico, en el que tienen lugar las operaciones productivas, con el sistema de gestión de producción, donde se planifica y se toman decisiones. Este enlace tiene un doble sentido, en el primero de ellos las decisiones se comunican al sistema físico para su ejecución, en el otro el sistema físico transmite información sobre el avance de la producción, con lo que cierra el bucle gestional. Esta información permite establecer una imagen de la situación real que puede analizarse y compararse con la situación prevista (planificada). Si se detectan diferencias significativas entre ambas situaciones, podrán adoptarse medidas correctoras. Sin este bucle de realimentación no podría hablarse propiamente de gestión. Gestionar es gobernar el comportamiento de los sistemas; limitarse a planificar y programar sin esforzarse en que los planes y programas se cumplan no es gestión, es dar consejos. Por tanto, la función lanzamiento y control es un elemento indispensable del sistema de gestión de la producción.

Resulta útil dividir en cinco categorías las actividades realizadas por esta función:

1. Emisión de órdenes y lanzamiento: iniciar el proceso productivo, poner en marcha la producción y mantenerla en movimiento.
2. Seguimiento y adquisición de datos: capturar, transmitir, almacenar, sintetizar y recuperar información sobre el sistema productivo y la producción (hechos reales que ocurren en el sistema productivo).
3. Evaluación de la ejecución: comparar los resultados reales con los esperados, y la ejecución con los estándares de ejecución.

4. Acción correctiva a corto plazo: adoptar las decisiones necesarias para resolver los problemas inmediatos; mantener la marcha de la producción dentro de los objetivos marcados.
5. Evaluación de las medidas de eficiencia y acción correctiva a largo plazo: mantener los registros acumulativos de ejecución sobre medidas de eficiencia relevantes del sistema, ajustar los parámetros pertinentes de los procesos de elaboración de decisiones e identificar las relaciones causa-efecto en las desviaciones significativas de los límites de control del sistema para modificar, en consecuencia, el sistema físico o el sistema gestional.



*Fig. 8.1.0.1 Situación de lanzamiento y control*

Uno de los problemas básicos de esta función es el diseño de un sistema de control que suministre las entradas a los diferentes elementos del sistema productivo, que controle los hechos a medida que se producen, que compare los resultados reales con los esperados razonablemente y que emprenda las acciones de ajuste necesarias a corto y largo plazo.

En este capítulo, tras unas consideraciones previas sobre el diseño del sistema de control, analizamos la gestión de colas en los centros de trabajo como paso previo a la emisión de órdenes. Se describen procedimientos de fijación de prioridades, adecuados especialmente en los sistemas con programación de operaciones jerarquizada en la que los últimos niveles de decisión son responsabilidad de los ejecutores.

La emisión de órdenes y lanzamiento constituye el primer eslabón de la cadena sistema físico/sistema de gestión, y en el apartado correspondiente estudiamos su problemática, especialmente informativa.

A continuación tratamos el seguimiento centrándonos en los tipos de información captados del sistema físico y su plasmación en informes. En evaluación de la ejecución distinguimos entre desviaciones significativas y no significativas, tema de evidente dificultad teórica y práctica.

Finalmente describimos las acciones correctivas a corto y a largo plazo, efectuando algunas consideraciones sobre las medidas de eficiencia.

### 8.1.1 Diseño del sistema de control

Como en casi todos los sistemas de control, existen dos principios antagónicos a los que deseamos que se ajuste el sistema de control de producción, y lograr el justo equilibrio entre ambos es tan difícil como importante. Por una parte el sistema de control debe reaccionar adecuadamente frente a las desviaciones significativas tanto de los resultados obtenidos respecto a los esperados como de la magnitud de las solicitudes exteriores (por ej. la demanda) respecto a la prevista. Pero también es conveniente que el sistema de control no reaccione innecesariamente frente a desviaciones no significativas, cuyo efecto se compensa a medio plazo. Aparece aquí una vez más la contraposición entre sensibilidad y estabilidad.

Previamente al establecimiento de las especificaciones detalladas de diseño del sistema de control de la producción es necesario definir algunos aspectos, los más importantes de los cuales se enumeran a continuación en forma de preguntas:

1. ¿Qué grado de centralización (o descentralización) debe tener el sistema?; la respuesta a esta pregunta definirá el tipo de sistema de control deseado y marcará sus especificaciones.
2. ¿En qué medida se establecen categorías de decisiones para las acciones correctivas a corto plazo, con asignaciones concretas de responsabilidad (se supone, dentro de la más estricta racionalidad, la utilización del principio de *gestión por excepción* para que las decisiones se tomen al nivel más bajo posible)?

3. ¿Qué tipo de sistema de prioridades hay que utilizar, si se utiliza alguno, para resolver conflictos de programación, en el caso de que la misma esté jerarquizada?
4. ¿Qué datos y con qué frecuencia deben recogerse, para disponer de información oportuna, tempestiva y eficaz para la toma de decisiones?
5. ¿Por qué medios específicos deben capturarse los datos, transmitirse, almacenarse, procesarse y recuperarse, teniendo en cuenta las tecnologías de la información disponibles?
6. ¿Qué tipos de informes, resúmenes y gráficos deben prepararse para reflejar la planificación, las variaciones admisibles y los hechos reales?
7. ¿Para qué variables aleatorias deben mantenerse distribuciones de probabilidad actualizadas?
8. ¿Con qué frecuencia deben actualizarse los parámetros utilizados en los procedimientos de toma de decisión?
9. ¿Qué medidas de eficiencia deben observarse?

No es ocioso insistir en que consideramos la información como un elemento necesario e imprescindible para la toma de decisión, pero subordinado a ella. Por consiguiente el diseño del sistema de decisión debe ser un paso previo al diseño del sistema de información.

### 8.1.2 Gestión de colas

La finalidad de las colas en un centro de trabajo (CT) es minimizar el tiempo muerto en el centro de trabajo debido a un fallo en el flujo de entrada. El objetivo de la gestión de las colas es minimizar el coste total, suma del coste del tiempo muerto y el de la obra en curso en la cola. En un taller *flow-shop* continuo es frecuente planificar colas de aproximadamente medio día de carga de trabajo para evitar discontinuidades en el proceso. En talleres *flow-shop* repetitivos, en los que ciertos procesos concretos están activos sólo pocas horas por semana, puede ser necesario programar todo el flujo de material correspondiente a una tarea para que llegue con un día o dos de adelanto a fin de garantizar su disponibilidad. En un *job-shop* el equilibrio de los objetivos fijados a la obra en curso y al plazo de realización puede conseguirse combinando equipos y colas de dos a cuatro días. En una situación operativa el primer paso debería ser el análisis de las colas en los centros de trabajo críticos o cuellos de botella, estableciendo objetivos concretos de niveles de cola y de rupturas por falta de material.

En el análisis histórico de las colas pueden producirse cuatro situaciones principales, ilustradas en las *figuras 18.1.2.1, 2, 3 y 4*.

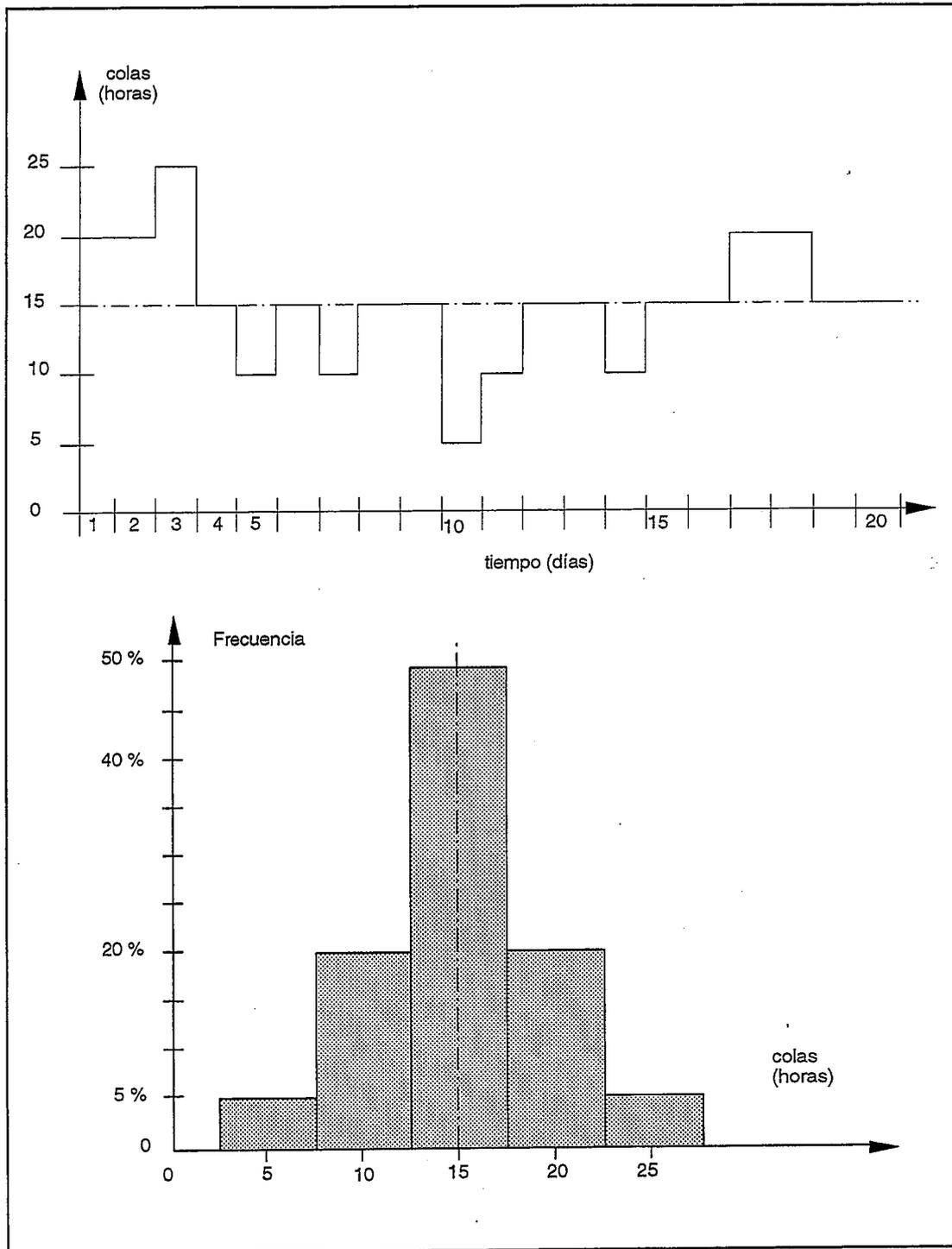


Fig. 18.1.2.1 Cola bajo control

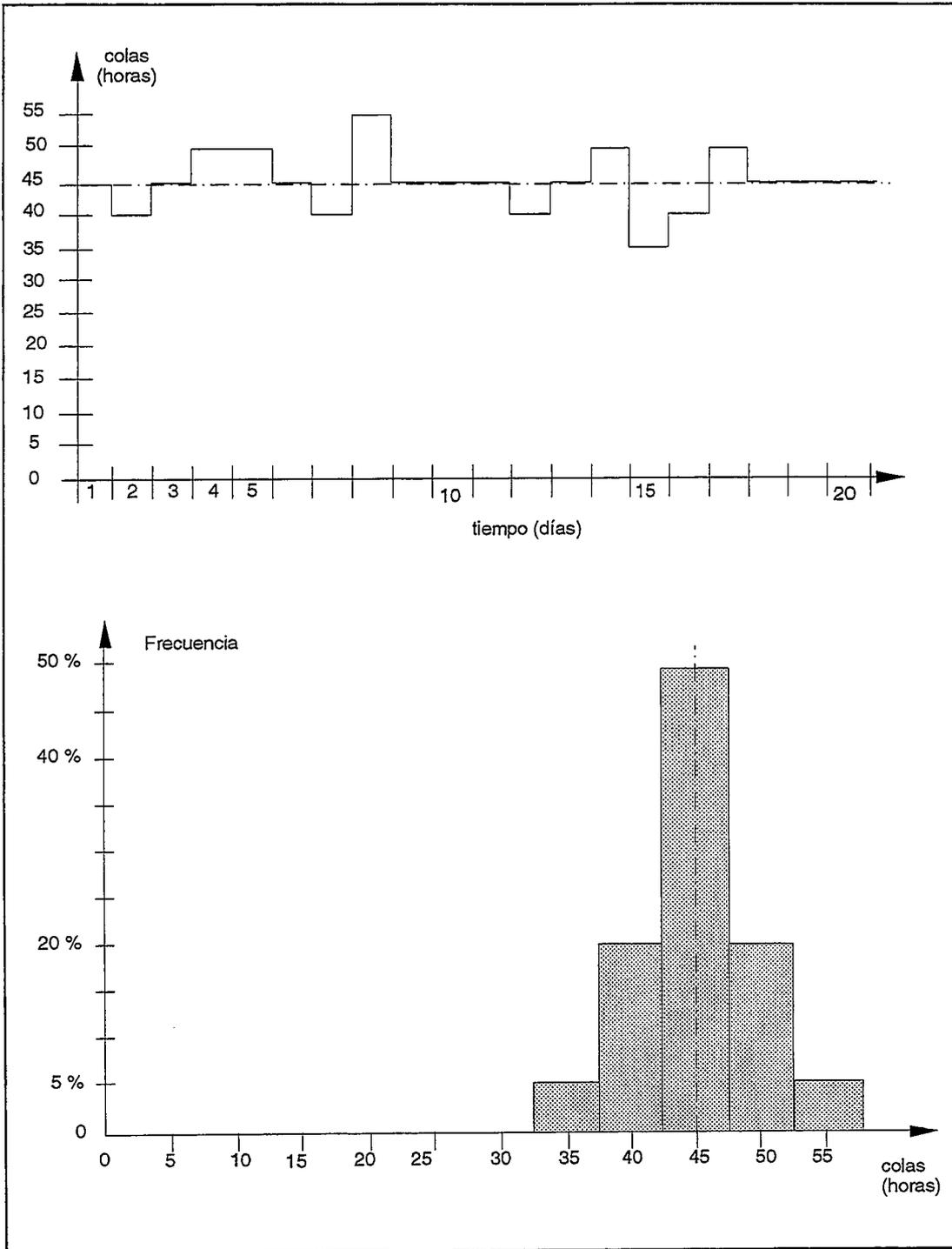


Fig. 18.1.2.2 Cola excesiva

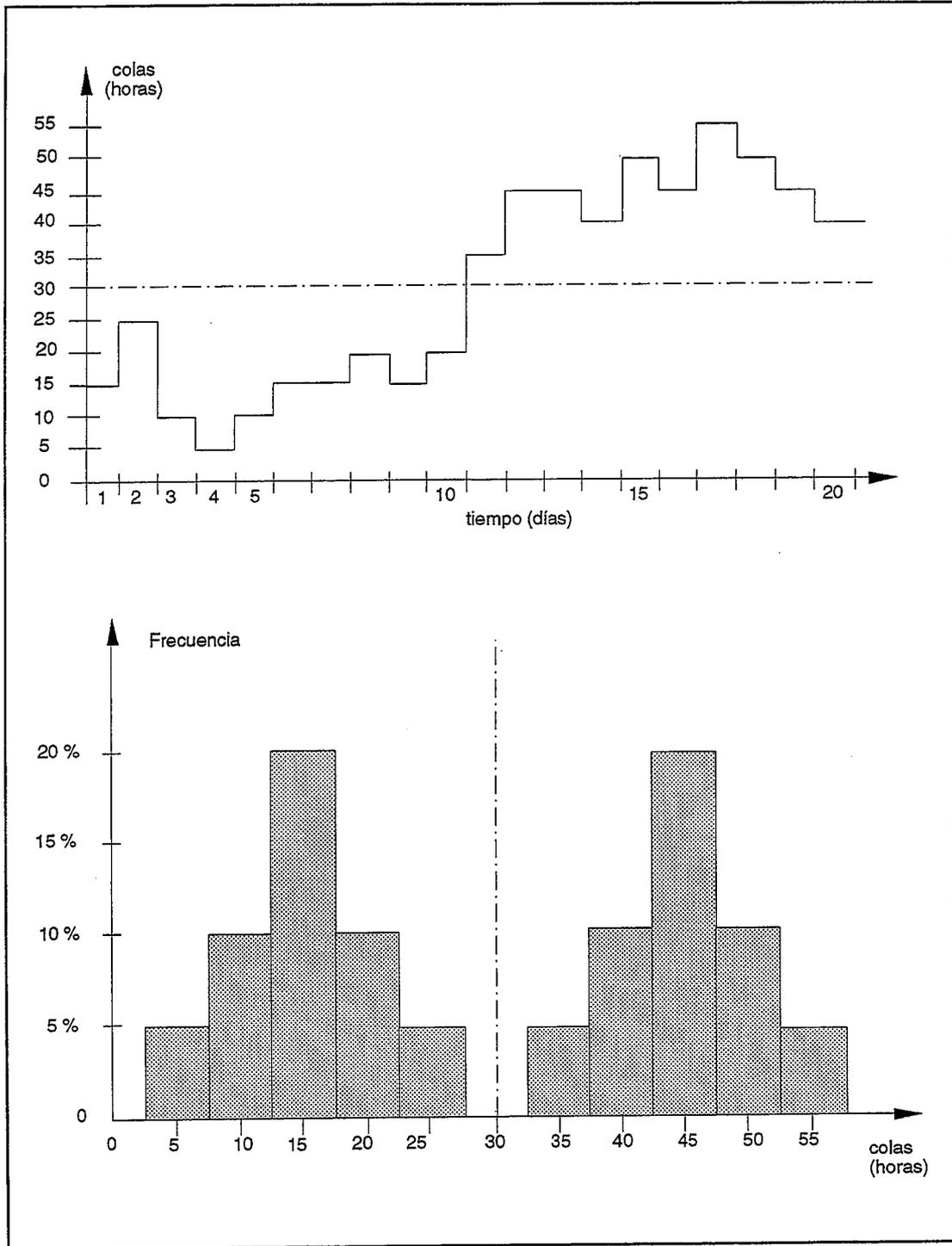


Fig. 18.1.2.3 Cola fuera de control

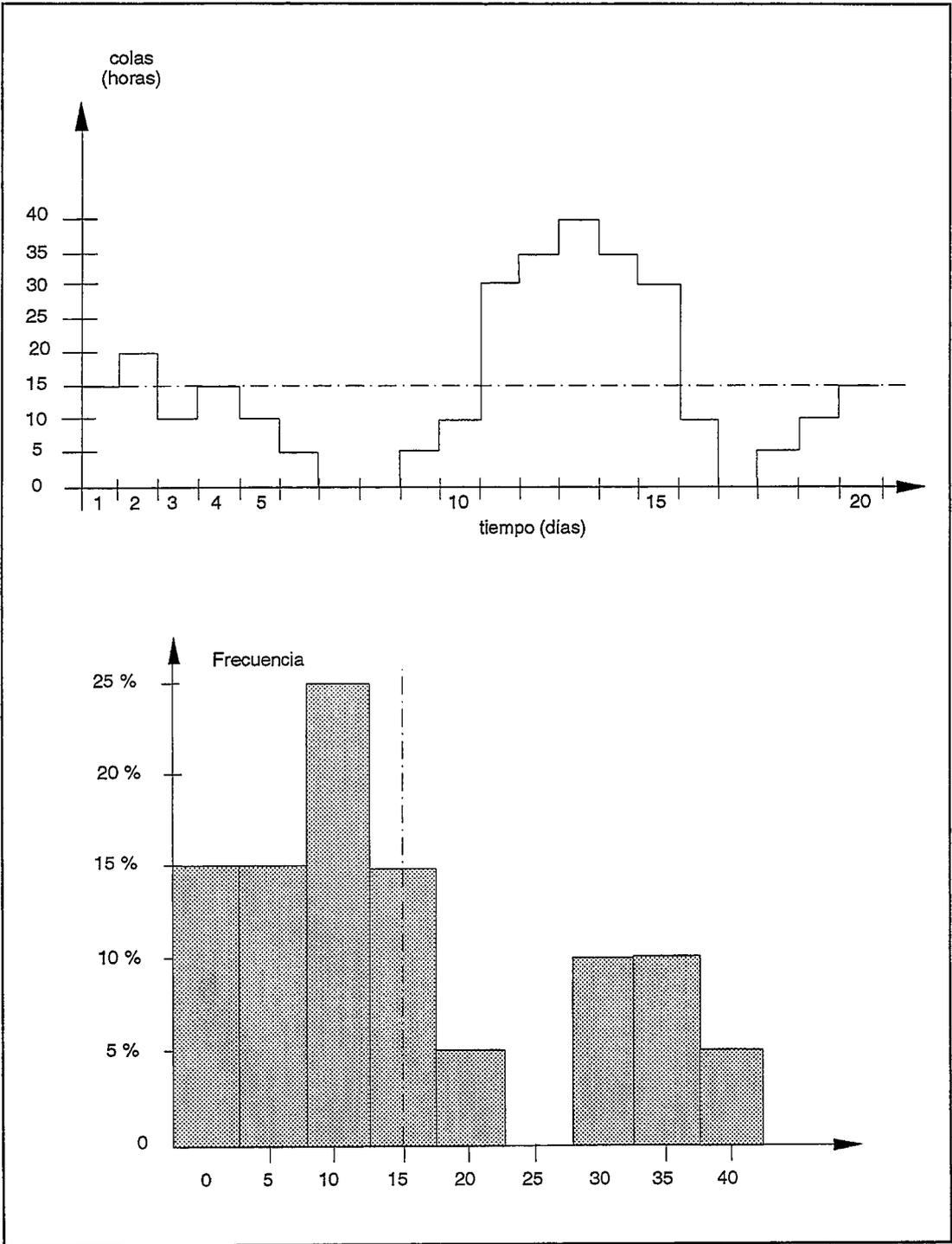


Fig. 18.1.2.4 Cola con tiempo muerto apreciable

La *figura 18.1.2.1* muestra una situación en la que la cola está controlada, y oscila alrededor de su valor medio (15 horas estándar de carga) en un intervalo estrecho (de 5 a 25 horas).

La *figura 18.1.2.2* muestra una cola también controlada pero excesiva, que oscila entre 35 y 55 horas en el entorno de su valor medio 45 horas. Puesto que dicha cola nunca es inferior (o igual) a 30 horas, podría reducirse en 30 horas sin afectar al tiempo muerto, lo que se lograría reduciendo la tasa de emisión de órdenes para este centro de trabajo durante cierto tiempo hasta que la cola se equilibrara en el entorno del valor deseado. Al ser la entrada inferior a la salida, la magnitud de la cola se reduciría progresivamente.

Una vía alternativa de fijar el valor objetivo de la cola media sería determinando el valor de la desviación tipo,  $\sigma$ , de la cola a partir de datos históricos tomados con un valor medio de la cola prefijado (y contando la pieza en máquina como perteneciente a la cola, lo que identifica la cola con la obra en curso). Si la longitud de la cola se distribuyese normalmente y el valor determinado fuese  $\sigma = 4,6$  horas, fijando una calidad de servicio del 999 por mil (aceptando rupturas y tiempo muerto en el 1 por mil de los casos) la oscilación máxima aceptable respecto a la media sería  $3,09 \cdot 4,6 = 14,2 h$ , lo que daría una cola mínima de  $45 - 14,2 = 30,8 h$ . Por tanto una disminución de 30 h sería tolerable.

Ninguno de los dos enfoques anteriores está completamente justificado, pues en el comportamiento de las colas intervienen otros numerosos factores no tenidos en cuenta, y por tanto deben aplicarse con mucha precaución (la distribución de la longitud de la cola raramente es normal, es difícil que los datos históricos hayan podido obtenerse en las condiciones que se exigen y, por si fuera poco, la reducción de la cola puede afectar la distribución, ya que puede influir en la tasa de salida, que puede disminuir). No obstante, ambos indican que la cola es demasiado larga, y en la mayoría de los casos puede procederse a una reducción gradual, revisando la situación periódicamente.

La reducción de la cola en un centro de trabajo puerta se logra a través de la planificación entrada/salida; en los centros de trabajo intermedios o finales es necesario seleccionar las órdenes apropiadas en los centros de trabajo anteriores.

La *figura 8.1.2.3* muestra un centro de trabajo con la cola incontrolada; esta situación puede darse en un centro de trabajo final con operaciones cuyas precedentes tienen lugar en dos o más centros de trabajo previos. Para lograr el equilibrio es necesario efectuar un análisis detallado de las causas que producen la disparidad en el tiempo de las tasas de entrada. Para paliar el problema deberá recurrirse, generalmente, a modificaciones en la secuenciación de las órdenes para evitar la aparición súbita de largas colas.

La *figura 8.1.2.4* muestra un centro de trabajo con tiempo muerto apreciable; esta situación es típica de un centro de trabajo con exceso de capacidad. Una solución apropiada, pero no siempre técnicamente posible, sería la de desviar a este centro de trabajo la carga de otros centro de trabajo saturados.

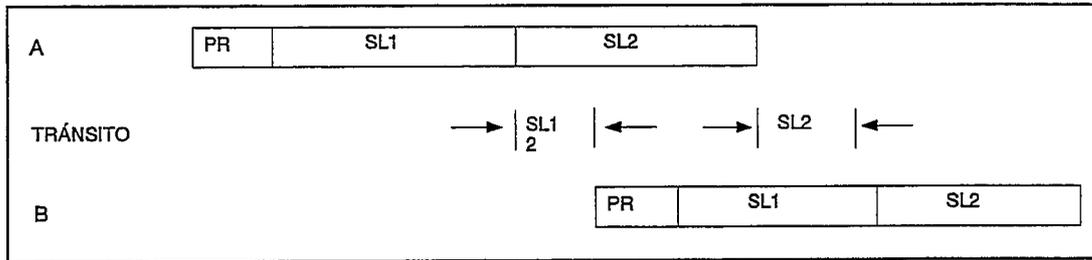


Fig. 8.1.2.5 Solape de operaciones

### 8.1.2.1 Solape de operaciones

Es una técnica utilizada para reducir el plazo (*lead time*, LT) total de una orden eliminando el efecto en dicho plazo del tiempo de cola y de tránsito entre dos operaciones sucesivas. Consiste en (fig. 8.1.2.5):

- dividir el lote de piezas en dos partes por lo menos (sublotes),
- tan pronto como se termina de realizar la primera operación, A, en el primer sublote, se transfiere a la segunda operación, B, para su ejecución inmediata,
- mientras la operación A se realiza en el segundo sublote, se realiza la operación B en el primero,
- cuando la operación A se ha terminado en el segundo sublote, éste se transfiere inmediatamente a la operación B.

Si la operación B requiere un tiempo menor por pieza que la operación A, el primer sublote deberá ser lo suficientemente grande para evitar tiempo muerto en la operación B. Calcular el tamaño mínimo de este sublote es fácil. Sea:

$Q$  tamaño total del lote,

$Q_1$  tamaño mínimo del primer sublote,

$Q_2$  tamaño máximo del segundo sublote,

$TP_B$  tiempo de preparación de la operación B,

$p_A$  tiempo unitario de la operación A,

$p_B$  tiempo unitario de la operación B,

$t_{AB}$  tiempo de tránsito entre la operación A y la operación B.

de donde:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 \cdot p_B + t_{AB} + TP_B \geq Q_2 \cdot p_A + t_{AB}$$

$$Q_1 \geq \frac{Q \cdot p_A - TP_B}{p_A + p_B}$$

Si la operación B puede prepararse previamente a la disponibilidad del primer sublote, entonces:

$$Q_1 \cdot p_B + t_{AB} \geq Q_2 \cdot p_A + t_{AB}$$

$$Q_1 \geq \frac{Q \cdot p_A}{p_A + p_B}$$

Es claro que en este segundo caso que si:

$$p_A \leq p_B = \frac{Q \cdot p_A}{p_A + p_B} \leq \frac{Q}{2}$$

y los dos sublotes pueden ser de igual tamaño (este resultado es generalizable a mayor número de sublotes).

En el caso que se deseen más de dos sublotes, primero se determina mediante las fórmulas anteriores el tamaño mínimo del primero y se fija éste,  $Q_1$ . El tamaño del segundo resulta de determinar su tamaño mínimo al utilizar  $Q-Q_1$ , en lugar de  $Q$  en las fórmulas (teniendo en cuenta que la operación B ha sido preparada anteriormente) y así sucesivamente.

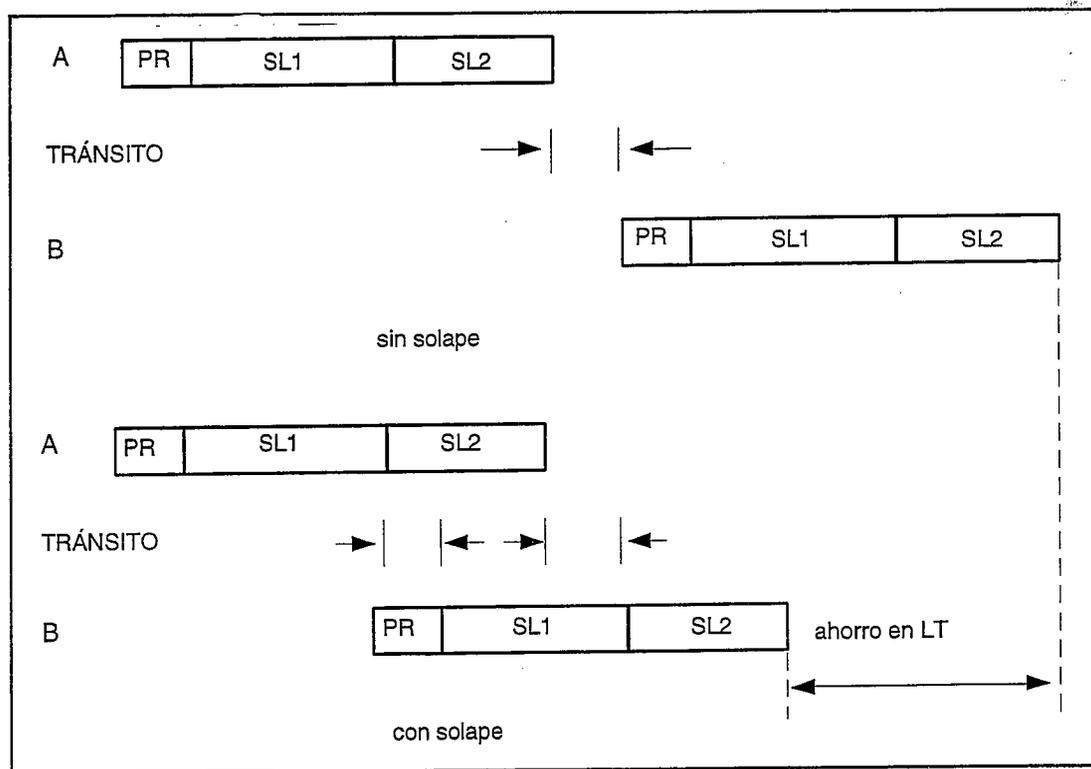


Fig. 8.1.2.6 Reducción del plazo debido al solape

El solape de operaciones tiene la ventaja de reducir el plazo total (*fig. 8.1.2.6*), a costa de aumentar la complejidad de la planificación y el control. Esta reducción se ve facilitada por el hecho de que cuando se facilita el solape ello significa habitualmente que la operación B está disponible de inmediato, y por tanto se soslaya la cola ante dicha operación.

**Ejemplo:** Consideremos los datos siguientes:

$$Q = 800 \text{ un} \quad p_A = 12 \text{ min/un} \quad p_B = 8 \text{ min/un} \quad TP_B = 50 \text{ min} \quad t_{AB} = 20 \text{ min}$$

por consiguiente, suponiendo la operación B preparada antes de la llegada del primer subrote:

$$Q_1 \geq \frac{800 \times 12}{12 + 8} = 480 \text{ un}$$

Para medir el efecto en el plazo supongamos  $Q_1 = 500 \text{ un}$ ,  $Q_2 = 300 \text{ un}$ ,  $TP_A = 75 \text{ min}$

sin solape:

$$75 + 800 \times 12 + 20 + 50 + 800 \times 8 = 16.145 \text{ min}$$

con solape y preparación previa de la operación B:

$$\max \{ 75 + 500 \times 12 + 20 + 800 \times 8, 75 + 800 \times 12 + 20 + 300 \times 8 \} = 12.495 \text{ min}$$

ahorro en plazo:

$$16.145 - 12.495 = 3.650 \text{ min}$$

(dado que en la partición en sublotes hemos supuesto la preparación previa de la operación B, sería más consecuente suponer lo mismo en el caso sin solapes, con lo que su plazo sería 16.095 min y el ahorro 3.600 min).

Supongamos que prescindimos de si existe o no tiempo muerto en la operación B al pasar de un subrote al otro y deseamos establecer dos sublotes de forma que se minimice el plazo total de realización de ambas operaciones (suponiendo la operación B preparada previamente a la llegada del primer subrote), es decir, buscamos:

$$\underset{Q_1, Q_2}{\text{MIN}} \left\{ \max \left\{ TP_A + Q_1 \cdot p_A + t_{AB} + Q \cdot p_B, TP_A + Q \cdot p_A + t_{AB} + Q_2 \cdot p_B \right\} \right\}$$

con la condición  $Q_1 + Q_2 = Q$  (y naturalmente  $Q_1, Q_2 \geq 0$ ).

Al eliminar los términos comunes a las dos expresiones entre llaves, tenemos:

$$\text{MIN}_{Q_1} \{ \max \{ Q_1 \cdot p_A + Q \cdot p_B, \quad Q \cdot (p_A + p_B) - Q_1 \cdot p_B \} \}$$

sometido a  $0 \leq Q_1 \leq Q$ .

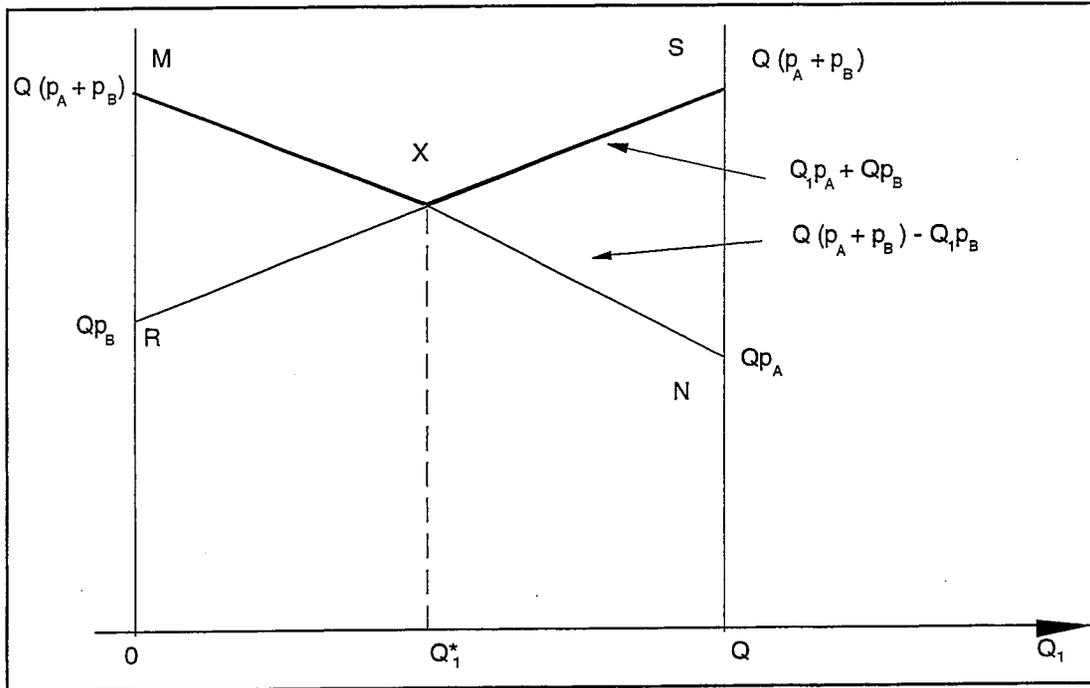


Fig. 8.1.2.7 Variación del plazo en función de  $Q_1$

Para deducir el valor buscado podemos apoyarnos en la representación de la *figura 8.1.2.7*. El eje de abscisas corresponde a los valores de  $Q_1$ , (comprendidos entre 0 y  $Q$ ). En las ordenadas representamos los tiempos. El segmento RXS corresponde a:

$$(Q_1 \cdot p_A + Q \cdot p_B)$$

y el segmento MXN a:

$$[Q \cdot (p_A + p_B) - Q_1 \cdot p_B].$$

Por consiguiente el máximo de las dos expresiones se obtiene en la línea segmento lineal MXN (representada de trazo más grueso). Podemos deducir, por tanto, que el mínimo buscado se obtiene en el punto X, en el que ambas expresiones entre llaves toman el mismo valor, es decir:

$$Q_1^* \cdot p_A + Q \cdot p_B = Q \cdot (p_A + p_B) - Q_1^* \cdot p_B$$

$$Q_1^* = \frac{Q \cdot p_A}{p_A + p_B}$$

valor idéntico a la cota inferior de  $Q$ , determinada anteriormente, con una finalidad distinta. Con los valores del ejemplo anterior, tomando  $Q_1 = 480$  y  $Q_2 = 320$  tendríamos un plazo total de 12.255 min, menor que el hallado con  $Q_1 = 500$ .

En forma análoga, si la preparación de la operación B no fuese previa, obtendríamos para minimizar el plazo total:

$$Q_1^* = \frac{Q \cdot p_A - TP_B}{p_A + p_B}$$

### 8.1.2.2 Partición de operaciones

Otra técnica para reducir el plazo total consiste en realizar la misma operación en varias máquinas, dividiendo el lote a realizar en dos o más sublotes que se procesan simultáneamente en paralelo. Ello reduce el impacto del tiempo de operación en el plazo (no en la carga) a costa de mayor número de preparaciones. Para que sea eficiente la partición es necesario que la razón entre el tiempo de operación y el tiempo de preparación tenga un valor apreciable. Exige la existencia de equipo y/o mano de obra duplicados y disponibles, aunque en algunos casos, cuando el tiempo de intervención del operador es poco importante respecto al de operación de una pieza, el mismo operario puede atender más de una máquina (*fig. 8.1.2.8*).

### 8.1.2.3 Gestión de prioridades

En el capítulo 6, al referirnos a la programación de operaciones, ya hemos tratado de la definición de prioridades y de su utilización en la secuenciación. No obstante en algunos casos la programación se realiza en forma jerarquizada y algunas decisiones se delegan, tomándose en la emisión de las órdenes y en la ejecución. En dichas circunstancias la definición de prioridades es fundamental para decidir qué órdenes de trabajo se emiten, y una vez emitidas y en cola en un centro de trabajo para determinar la secuencia de proceso. Por dicha causa insistimos nuevamente en el tema.

Una regla de prioridad es estática si la prioridad asignada a una orden no cambia a lo largo del tiempo a pesar de que cambien las condiciones. Una regla dinámica revisa las prioridades de las órdenes a medida que se producen los cambios en las condiciones. En la mayoría de los casos el sistema de control tiene la habilidad de registrar los acontecimientos que producen los cambios y revisar las prioridades dinámicamente.

Algunos criterios utilizados para asignar prioridades a las órdenes están basados en:

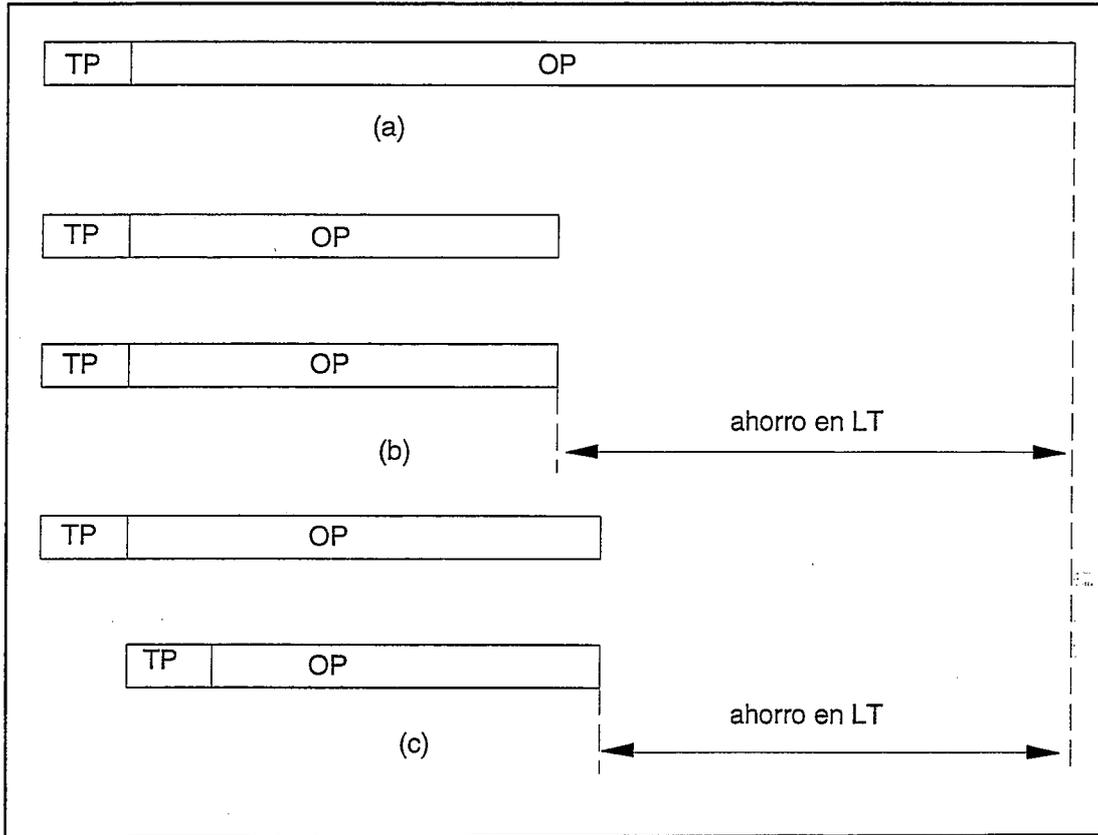


Fig. 8.1.2.8 Partición de operaciones; (a) sin partición; (b) partición con preparación simultánea; (c) partición con preparación en secuencia

- tipo de cliente (grande, pequeño, mediano),
- rentabilidad del artículo,
- clasificación del artículo,
- utilización de las máquinas,
- valor relativo del artículo,
- existencia disponible del artículo,
- fecha de vencimiento,
- fecha programada de iniciación,
- tiempo de espera o cola previsible en las operaciones restantes
- duración de las operaciones,

y para establecer la secuencia:

- FCFS (*first come first served*, se sigue el orden de llegada),
- operación más corta,
- menor fecha de vencimiento,
- menor fecha de inicio (fecha de vencimiento menos el plazo de realización),
- menor margen (diferencia entre el plazo disponible hasta la fecha de vencimiento y el tiempo de proceso restante),
- menor margen por operación,
- menor fracción crítica (plazo disponible hasta la fecha de vencimiento dividido por el plazo restante, LT),
- menor fracción de cola (margen restante en el programa dividido por el margen planificado restante),
- LCFS (*last come first served* se ejecuta primero la última orden llegada, se aplica frecuentemente por omisión pues cuando llega la orden se coloca encima de la pila y el operario ejecuta habitualmente la orden superior),
- orden aleatorio (los operarios o los encargados seleccionan la orden que les gusta),
- realizar primero aquella orden cuya siguiente operación está asignada a un centro de trabajo descargado,

para órdenes con retraso:

- realizar primero aquella orden que tiene mayor número de días fuera de programa más plazo de fabricación remanente,
- realizar primero aquella orden que tiene mayor número de días fuera de programa más tiempo de proceso remanente.

#### 8.1.2.4 Técnica de la fracción crítica

La fracción crítica, FC, es un índice de la prioridad relativa de una orden, se basa en un cociente, dinámico en el tiempo, en el que el numerador mide la disponibilidad real de tiempo en un momento dado y el denominador la carga en tiempo planificada; por ejemplo, el numerador puede ser el número de días que quedan hasta la fecha de vencimiento de la orden y el denominador el plazo de elaboración, LT, restante. Puede aplicarse a todo el proceso (varias operaciones) o bien a una operación específica.

$$FC = \frac{\text{fecha de vencimiento} - \text{fecha actual}}{\text{LT restante}}$$

En principio el significado de FC será:

FC > 1 orden adelantada respecto al programa,

FC = 1 orden ajustada al programa(en programa),

FC < 1 orden retrasada.

Cuanto menor sea FC mayor es la prioridad.

ORDEN	FECHA VENCIMIENTO	DÍAS DISPONIBLES (días laborables)	LT RESTANTE (días)	FC
123A	135	35	25	1,4
148X	130	30	32	0,9
153F	123	23	23	1,0

Fig. 8.1.2.9 Fracción crítica para órdenes (día actual: 100, sólo se numeran los días laborables)

En el caso de la *figura 8.1.2.10* tenemos, considerando que para las operaciones el tiempo restante consiste en terminar cada una de ellas según lo que está programado (por consiguiente hemos deducido de los 30 días disponibles el tiempo necesario para la realización de las operaciones anteriores y los movimientos, pero no el de espera, excepto en la operación 50, realizada en un taller exterior, en la que el tiempo de cola puede estar incluido en los 4,0 días, sobre el que normalmente no podremos ejercer acción alguna):

$$FC \text{ de todo el proceso} = \frac{30}{8,2 + 7,2 + 5,0 + 4,6 + 6,9} = 0,94$$

$$FC \text{ (operación 30)} = \frac{30 - (7,2 + 5,0 + 4,6 + 6,9)}{8,2} = 0,77$$

$$FC \text{ (operación 40)} = \frac{(30 - 5,7) - (5,0 + 4,6 + 6,9)}{7,2} = 1,08$$

$$FC \text{ (operación 50)} = \frac{(30 - 5,7 - 5,7) - (4,6 + 6,9)}{5,0} = 1,42$$

$$FC \text{ (operación 60)} = \frac{(30 - 5,7 - 5,7 - 5) - 6,9}{4,6} = 1,46$$

$$FC \text{ (operación 70)} = \frac{30 - 5,7 - 5,7 - 5 - 3,1}{6,9} = 1,52$$

CT	NÚMERO OPERACIÓN	TIEMPO PROCESO (prep. + operac.)	TIEMPO TRÁNSITO	TIEMPO COLA	TIEMPO TOTAL	FC
1	10	2,2	0,5	1,5	4,2	terminada
3	20	1,5	0,5	2,0	4,0	terminada
5	30	5,2	0,5	2,5	8,2	0,77
8	40	4,7	1,0	1,5	7,2	1,08
9	50	4,0	1,0	-	5,0	1,42
7	60	2,6	0,5	1,5	4,6	1,46
6	70	3,9	0,5	2,5	6,9	1,52
	total	24,1	4,5	11,5	40,1	

Fig. 8.1.2.10 Fracción crítica por operación para la orden 148X (quedan 30 días hasta la fecha de vencimiento, todos los tiempos en días)

Puesto que la mayoría de órdenes consumen algún tiempo de espera en cola antes de cada operación, un valor FC inferior a 1 puede deberse a una espera normal antes del proceso. Un valor 0,94 para todo el proceso y 0,77 para la operación 30 señalan, según lo establecido que estamos fuera de programa, pero esto es engañoso. Por ejemplo, una orden procesada tal como se indica en la tabla no debería entrar en el centro de trabajo 5 hasta transcurridos 8,2 días del inicio, y entonces pasaría 2,5 días en la cola. Así, la operación 30 no está planificada para empezar hasta 29,4 días antes ( $5,2 + 0,5 + 7,2 + 5,0 + 4,6 + 6,9$ ) de la fecha de vencimiento o de terminación planificada de la orden. Por tanto cuando quedan 30 días para dicha fecha no es alarmante que no haya comenzado la operación 30.

#### Fracción de cola (*queue ratio*)

Un refinamiento de la FC propuesto por A. Putnam (1971) permite tener en cuenta estos hechos a través de la fracción de cola, FQ, que se define como:

$$FQ = \frac{\text{margen restante en el programa de la operación}}{\text{tiempo de espera en cola planificado de la operación}}$$

que en el caso considerado conduce a:

$$FQ (\text{operación } 30) = \frac{(30 - 23,7) - 5,2 - 0,5}{2,5} = 0,24$$

Un valor FQ mayor que cero para una orden en cola en el centro de trabajo indica la proporción del tiempo de espera que queda (respecto a lo planificado), y por tanto que la orden todavía está en programa. Cuando FQ se reduce a cero el proceso debe iniciarse o la orden quedará fuera de programa. Por tanto la prioridad de la orden, para una operación concreta, aumenta a medida que FQ se reduce.

#### Aplicación a las órdenes retrasadas

La técnica de la FC no puede utilizarse para establecer la prioridad de las órdenes retrasadas, como puede deducirse de la *figura 8.1.2.11*. Las órdenes 123 y 124 tienen el mismo valor de FC, pero es evidente que 123 está más retrasada y por tanto que es más prioritaria. Por otra parte 125 tiene FC = -0,6 que es menor que FC = -0,4 de 126, y, sin embargo, 126 está más retrasada que 125.

ORDEN	FECHA VENCIMIENTO	TIEMPO DISPONIBLE	LT DE FABRIC. RESTANTE	FC	DÍAS DE ADELANTO O RETRASO (resp. programa)
122	75	10	5	2,0	+5
123	65	0	8	0,0	-8
124	65	0	6	0,0	-6
125	60	-5	8	-0,6	-13
126	60	-5	12	-0,4	-17

*Fig. 8.1.2.11 FC para órdenes retrasadas (excepto la 122 que no está retrasada, fecha actual 65)*

En este caso la consideración del retraso o tiempo fuera de programa conduce a un índice de prioridad más apropiado; el retraso puede medirse respecto al plazo (LT) restante total o bien respecto al tiempo de proceso restante total, que puede ser más indicativo (en una orden con alta prioridad los tiempos de espera se reducirán al mínimo). En la *figura 8.1.2.12* podemos observar (con los valores allí indicados) que la orden 124 es más prioritaria que la 123, contrariamente a lo que se deducía utilizando LT en la *figura 8.1.2.10*.

ORDEN	FECHA VENCIMIENTO	TIEMPO DISPONIBLE	TIEMPO DE PROCESO RESTANTE	DÍAS DE RETRASO (resp. programa)	RANGO
123	65	0	3	3	4
124	65	0	4	4	3
125	60	-5	5	10	2
126	60	-5	7	12	1

Fig. 8.1.2.12 Rango de prioridades de órdenes retrasadas basado en los días de retraso teniendo en cuenta el tiempo de proceso restante (fecha actual: 65)

#### Variante de la FC

En algunos casos la determinación del numerador y/o denominador de la FC puede realizarse indirectamente. Supongamos unos productos producidos por lotes que no están disponibles hasta terminar el lote completo. La emisión de la orden de producción se realiza cuando las existencias de cada producto se reducen al punto de pedido. En un momento determinado, con una orden lanzada y habiendo consumido parte del plazo la existencia del artículo alcanza un valor conocido (inferior al punto de pedido). En este caso:

$$FC = \frac{A}{B}$$

donde:

$$A = \frac{\text{existencia disponible}}{\text{punto de pedido}}$$

$$B = \frac{\text{plazo restante}}{\text{plazo total}}$$

Por ejemplo, si el punto de pedido es de 600 unidades y el plazo total de 4 semanas, si una semana después de la emisión de la orden las existencias se han reducido a 400 unidades tendremos:

$$A = \frac{400}{600} = 0,67 \quad B = \frac{3}{4} = 0,75 \quad FC = \frac{0,67}{0,75} = 0,889$$

El valor de FC indica que las existencias se consumen a una tasa ligeramente superior al plazo relativo transcurrido, lo cual probablemente no es preocupante si la orden sigue su curso normal. Como ya se ha indicado el valor FC es relativo y por tanto está indicado para definir prioridades relativas entre órdenes.

#### 8.1.2.5 Técnica de la suma de dígitos

La técnica de suma de dígitos es útil para resolver conflictos de prioridades en centros de

trabajo basándose en dos factores (independientes) relativos a las órdenes de producción, por ejemplo:

- el tipo de artículo de la orden,
- la situación de la orden respecto al programa.

Para cada factor se establece un sistema de codificación numérico para cada uno de los factores (en las *figuras 8.1.2.13* y *8.1.2.14* se presentan unos ejemplos típicos). Los números altos indican baja prioridad. Se asigna a cada orden que está en la cola del centro de trabajo un código respecto a cada factor, y se suman dichos códigos. La orden con menor suma es la más urgente y pueden secuenciarse las órdenes por prioridad creciente. Se trata de un procedimiento dinámico, cada día deben recalcularse los códigos. En caso de empate debe recurrirse a otro criterio (por ejemplo al de la operación más corta).

La técnica de la suma de dígitos podría utilizar más de dos factores, siempre que representasen aspectos significativos de la prioridad y fuesen razonablemente independientes entre sí. No obstante un gran número de factores tienden a compensarse entre sí, lo que da lugar a sumas de valores muy parecidos, con lo que la utilidad del procedimiento decrece.

DÍGITO	TIPO DE ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN
9	Alto volumen, producción rápida	Poca urgencia, elevado stock de seguridad
7	Producción por lotes	Poca urgencia, menor stock de seguridad
5	Artículo fabricado una sola vez	Está pedida la cantidad exacta, más flexibilidad en fecha de vencimiento
4	Pieza de servicio o de repuesto	Se requiere por necesidad inmediata del cliente
3		Existencia inferior a 15 días, autorización del jefe control de producción
2		Existencia inferior a 10 días, autorización del jefe de departamento
1	(Máxima prioridad)	Existencia inferior a 5 días, autorización del jefe de taller

*Fig. 8.1.2.13 Dígito correspondiente al tipo de artículo*

DIGITO	DESCRIPCION
9	4 o más días de adelanto respecto a programa
8	3 días de adelanto respecto a programa
7	2 días de adelanto respecto a programa
6	1 día de adelanto respecto a programa en programa
5	1 día de retraso respecto a programa
4	2 días de retraso respecto a programa
3	3 días de retraso respecto a programa
2	4 días de retraso respecto a programa
1	5 o más días de retraso respecto a programa
0	

*Fig. 8.1.2.14 Dígito correspondiente a la situación respecto al programa*

#### 8.1.2.6 Control entrada/salida

La planificación y control de entrada/salida es un proceso integrado que incluye:

- la planificación de los intervalos aceptables de las tasas de entrada y salida por período en cada centro de trabajo,
- la medición y el almacenamiento de las tasas de entrada y salida reales,
- la corrección de las situaciones fuera de control.

La planificación fue analizada en el capítulo 6. Las situaciones fuera de control típicas son las siguientes:

1. Las colas exceden los límites superiores. Entre las posibles causas están las averías de los equipos, las ineficiencias del proceso y el exceso de entrada. Los únicos remedios son disminuir la entrada o aumentar la salida (*fig. 8.1.2.15*).
2. La salida está por debajo del límite inferior. Las causas posibles incluyen averías del equipo, entrada inadecuada o entrada equivocada en un centro de trabajo de montaje. Los remedios son mejorar la eficiencia del equipo y procurar que la entrada sea la adecuada, no sólo en cantidad.
3. Se utiliza ineficientemente el equipo debido a entrada y cola insuficiente. El remedio consiste en aumentar y adecuar la entrada (*fig. 8.1.2.16*).

Las averías y las ineficiencias de los procesos son problemas de ingeniería, la entrada inadecuada, excesiva o errónea son problemas de gestión que deben ser rectificadas mediante el lanzamiento. El control entrada/salida es esencial en los centros de trabajo críticos tanto si son *puerta, intermedios o finales*.

CT A122 - fresado							
SEMANA	ENTRADA PLANIF.	ENTRADA REAL	DESV. ACUM.	SALIDA PLANIF.	SALIDA REAL	DESV. ACUM.	OBRA EN CURSO
12	85	83	-2	85	77	-8	56
13	85	90	+3	85	73	-20	73
14	85	87	+5	85	78	-27	82
15	85	79	-1	85	72	-40	89

Fig. 8.1.2.15 Informe entrada/salida de una cola fuera de control (entradas y salidas en horas, obra en curso inicial de 50 horas; se considera, con un cierto abuso del lenguaje, que la cola comprende toda la obra en curso)

CT A122 - fresado							
SEMANA	ENTRADA PLANIF.	ENTRADA REAL	DESV. ACUM.	SALIDA PLANIF.	SALIDA REAL	DESV. ACUM.	OBRA EN CURSO
12	85	70	-15	85	80	-5	40
13	85	65	-35	85	85	-5	20
14	85	75	-45	85	75	-15	20
15	85	80	-50	85	60	-40	40

Fig. 8.1.2.16 Informe entrada/salida de una entrada y de una cola fuera de control (entradas y salidas en horas, obra en curso inicial de 50 horas; se considera, con un cierto abuso del lenguaje, que la cola comprende toda la obra en curso)

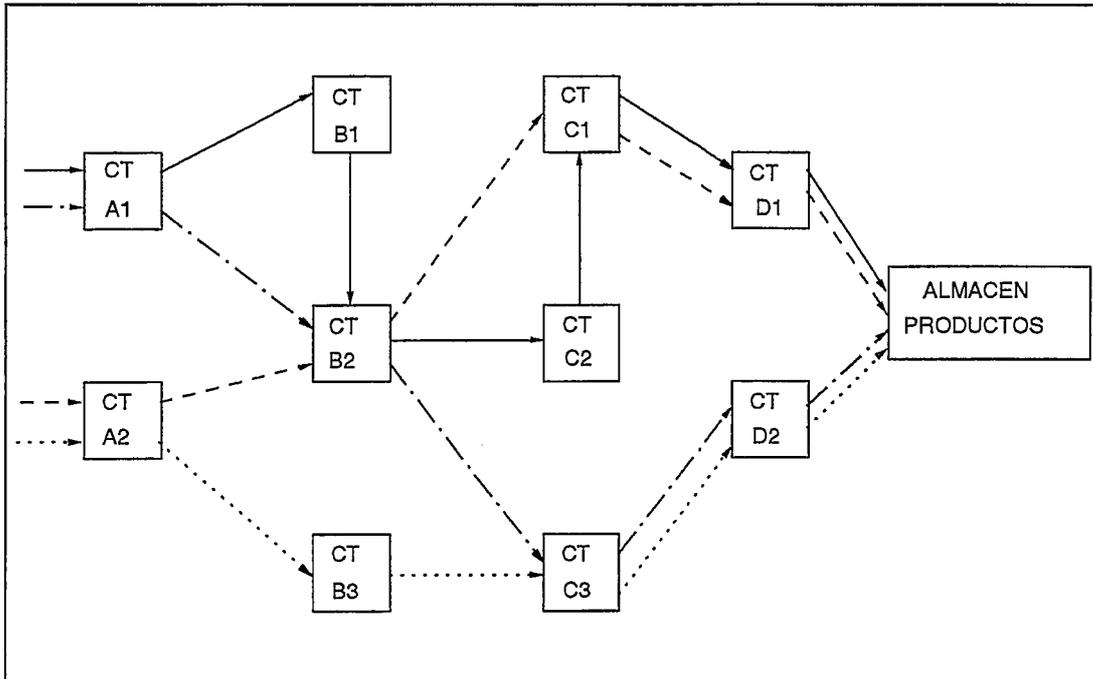


Fig. 8.1.2.17 Estructura del flujo de órdenes en un taller "job-shop"

En la *figura 8.1.2.17* vemos la estructura del flujo de órdenes en un taller, los centros de trabajo A1 y A2 son puerta, los B1, B2, B3, C1, C2 y C3 son intermedios y los D1 y D2 son finales.

En los centros de trabajo puerta basta controlar la emisión de órdenes para gobernar la entrada y la cola. Si el centro de trabajo funciona homogéneamente también se gobernarán la salida. La entrada en los centros de trabajo puerta también influye en las entradas en otros centros de trabajo. Hay pocas razones para tener una cola larga en un centro de trabajo puerta; mantener las colas en su nivel mínimo permite utilizar la última información disponible al establecer las prioridades de las órdenes; por tanto, da flexibilidad a la emisión y al lanzamiento de órdenes, lo que reduce la obra en curso y las urgencias.

La entrada en los centros de trabajo intermedios se controla mediante la secuenciación de órdenes en los centros de trabajo situados en posición anterior en el flujo del proceso. Si con la estructura de la *figura 8.1.2.17* el centro de trabajo C3 está falto de trabajo mientras existe una cola larga en C2, B2 debe dar prioridad a las órdenes que tienen la siguiente operación en C3. Ello requiere que la emisión de órdenes tenga en cuenta tanto las

necesidades de los centros de trabajo intermedios como las de los centro de trabajo puerta.

La salida de los centros de trabajo finales influye en las expediciones, en la facturación, en las cuentas a cobrar y en los ingresos. La salida final habitualmente es una de las medidas dominantes del rendimiento de la gestión de la producción. Es necesario controlar la entrada de los centros de trabajo finales para lograr la salida deseada. Ello implica coordinar el flujo de piezas, componentes y subconjuntos requeridos por el montaje final. Lanzamiento también tiene la responsabilidad de gobernar el volumen y la naturaleza de la entrada en los centros de trabajo finales.

### 8.1.3 Emisión de órdenes y lanzamiento

Emisión de órdenes inicia la fase de ejecución de la producción (y del aprovisionamiento). *Las órdenes planificadas se transforman en órdenes emitidas; a corto plazo seguirá el inicio de la fabricación.* Hasta el momento de la emisión puede continuar la actividad de planificación de órdenes. La autorización para emitir una orden debe estar basada en su prioridad, la disponibilidad de materiales y herramientas, y las cargas en los centros de trabajo. La emisión de una orden conlleva la emisión de:

1. Asignación de materiales necesarios para la orden; si algunos no se precisan de inmediato y no han sido reservados previamente se reservan ahora.
2. Documentación de orden de producción al taller, que usualmente incluye un conjunto de planos o esquemas de ingeniería y especificaciones de fabricación, y una hoja de ruta.
3. Asignación de las herramientas precisas para un primer período (una semana); el resto para operaciones posteriores se reserva, si no lo está ya, para el período apropiado.

El tiempo requerido para preparar y entregar la documentación de una orden de producción está incluido en el plazo normal planificado para la orden. Una vez se ha emitido una orden, se añade a la lista de lanzamientos.

Lanzamiento informa a los encargados de las prioridades de las órdenes emitidas. Para cada centro de trabajo prepara una lista de lanzamientos, actualizada con la frecuencia apropiada adecuada al tiempo típico de proceso de las órdenes en dicho centro de trabajo. En un entorno de proceso continuo es suficiente una sola lista que indique qué órdenes deben empezarse, dado que toda la línea de producción puede considerarse como un centro de trabajo único.

PLANTA 01      DEPARTAMENTO 15      CT M3      CAPACIDAD 85 horas/día					
FECHA 02/10/95					
CÓDIGO	NÚMERO ORDEN	CANTIDAD	HORAS EST. POR UNIDAD	HORAS EST. TOTALES	PRIORIDAD FC
M7345	O-3754	200	0,3	60	0,6
H3122	O-3785	100	0,8	80	1,0
C3754	O-3812	120	1,5	180	1,3
A1771	O-3813	150	0,6	90	1,4

*Fig. 8.1.3.1 Lista de lanzamientos*

La lista de lanzamientos identifica la fecha, la planta y el centro de trabajo, incluye la capacidad del centro de trabajo, la lista de las órdenes, sus cantidades, su carga y su prioridad. Las órdenes se listan habitualmente de mayor a menor prioridad. El planificador determina la posición de la orden en la lista (su prioridad) en función de varios criterios que pueden ser la FC, la fecha programada de inicio, la fecha de vencimiento, la disponibilidad de herramientas, la situación de las entradas en centros de trabajo intermedios, la situación de otras piezas que deben coordinarse, etc. Por ejemplo, si la siguiente operación de las órdenes O-3754 y O-3785 correspondiese a centros de trabajo sobrecargados con órdenes de alta prioridad mientras que la siguiente operación de O-3812 correspondiese a un centro de trabajo libre, debería listarse O-3812 la primera, aunque su FC o su fecha programada de comienzo no fuesen las prioritarias.

Pocas decisiones de lanzamiento pueden automatizarse. Un ordenador puede suministrar ayuda almacenando una imagen fiel de la situación de las órdenes. Sin embargo, el lanzamiento requiere un juicio equilibrado entre los costes operativos y el servicio al cliente para la determinación de la prioridad final de las órdenes.

El lanzamiento puede organizarse en forma centralizada o descentralizada. Existe lanzamiento centralizado cuando las decisiones se toman en un único lugar y se comunican a los encargados del taller. El lanzamiento centralizado facilita el seguimiento del avance de las órdenes, la coordinación de las prioridades de las órdenes que deben confluir a un mismo montaje y la mejor comunicación entre los diversos responsables del lanzamiento.

Existe lanzamiento descentralizado cuando las decisiones de secuenciación de órdenes se toman en los departamentos; tiene la ventaja de las decisiones tomadas cerca del

fenómeno real, el responsable tiene un mejor conocimiento de la situación y la secuenciación puede ser más eficiente.

Los avances de los dispositivos informáticos soportan la adopción del lanzamiento centralizado mientras que la política gestional de incrementar la responsabilidad de los mandos de taller impulsa el lanzamiento descentralizado. Ambas consideraciones conducen en ocasiones a adoptar un sistema híbrido: centralizadamente se dispone de información sobre la situación de las órdenes con recomendaciones relativas a su prioridad y los encargados de taller poseen la autoridad de alterar las secuencias de ejecución de las órdenes dentro de ciertos límites para lograr la eficiencia de producción.

Las fechas de vencimiento y las prioridades pueden cambiar en el tiempo debido a acontecimientos tales como revisión de las previsiones, cancelación de pedidos y aparición de defectos en un lote del mismo artículo en un estadio posterior del proceso productivo. El responsable del lanzamiento debe ejercitar su juicio al informar al encargado de taller de las prioridades revisadas.

Si, por ejemplo, el cliente, posteriormente al establecimiento de la lista de lanzamientos del 2 de octubre, ha cancelado el pedido correspondiente a la orden O-3754 de la pieza M7345 y dicha orden está ya en proceso o acabada, no hay forma de retocar su prioridad en el centro de trabajo M3; en todo caso se podrá hacer en el centro de trabajo siguiente.

En cambio si la fecha de vencimiento de la orden O-3785 de la pieza H3122 se ha diferido una semana debido al retraso en la recepción de otras piezas necesarias para efectuar un montaje común, con lo que dicha orden ha perdido prioridad, es posible retocar dicha prioridad en la lista de lanzamientos.

Así mismo, si la fecha de vencimiento de la orden O-3813 de la pieza A1771 se ha adelantado una semana para hacer frente a las necesidades y compensar el gran número de defectuosos que otra orden de la misma pieza tuvo en una operación posterior, con la idea de reunir ambas órdenes en un solo lote para las siguientes operaciones, puede retocarse su prioridad.

Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que la revisión continua de las prioridades destruirá la credibilidad de las mismas y, como consecuencia, de las listas de lanzamientos. Por tanto es conveniente limitar al máximo las modificaciones de las prioridades, efectuándolas sólo en casos excepcionales.

Las listas de lanzamientos también pueden incluir órdenes que deben llegar de inmediato al departamento considerado, tal como se indica en la *figura 8.1.3.2*, lo que permitirá que los encargados dispongan de un mayor horizonte y que tengan en cuenta dichas órdenes en sus previsiones.

PLANTA 01      DEPARTAMENTO 15      CT M3      CAPACIDAD 85 horas/día					
FECHA 02/10/95					
CÓDIGO	NÚMERO ORDEN	CANTIDAD	HORAS EST. POR UNIDAD	HORAS EST. TOTALES	PRIORIDAD FECHA VENC.
M7345	O-3754	200	0,3	60	28/09
H3122	O-3785	100	0,8	80	02/10
C3754	O-3812	120	1,5	180	05/10
A1771	O-3813	150	0,6	90	06/10
ÓRDENES QUE LLEGARÁN MAÑANA					
F2345	O-3817	50	0,7	35	04/10
G6571	O-3825	120	0,4	48	09/10

*Fig. 8.1.3.2 Lista de lanzamientos con información indicativa*

#### 8.1.4 Seguimiento

La función seguimiento tiene por objeto captar una imagen fidedigna de la situación real de la producción (actividades del sistema productivo). Esta imagen, convenientemente analizada, suministrará las informaciones necesarias para el control del sistema productivo, entendido éste como la adopción de las medidas correctivas adecuadas. Sólo es posible dar la respuesta adecuada a condiciones cambiantes si se toman las decisiones oportunas en el instante preciso, y ello requiere disponer previamente de una información, sobre la situación, tempestiva, precisa y adaptada a los objetivos de la decisión.

Las informaciones que se deben captar del sistema productivo pueden clasificarse en dos grandes categorías:

1. Información sobre hechos planificados: estimación del porcentaje de realización de las operaciones que se han iniciado pero no terminado, instante en que se produce un hecho planificado (inicio o terminación de una operación), etc.
2. Información sobre hechos no planificados: pequeños fallos, paradas cortas de trabajo, tiempos de preparación fuera de norma, etc.

El entorno productivo condiciona el diseño del sistema de seguimiento. En un sistema productivo continuo este diseño puede basarse exclusivamente en la información por excepción (incluyendo la desviación por debajo de cierto límite de la tasa de salida). Todos los sistemas de seguimiento deben incorporar la capacidad de información por excepción para indicar a los responsables incidencias tales como averías de máquina, faltas de material, etc. que pueden poner en peligro la salida planificada. Pero en la mayoría de sistemas productivos además son necesarias informaciones regulares.

El control de la fabricación de piezas en un taller dispuesto por procesos (*job-shop*) requiere mayor información que en un proceso continuo o repetitivo, en los que una vez iniciado el proceso continuará en forma regular salvo si se producen incidencias tales como averías de máquinas, absentismo, defectuosos, falta de material o ineficiencias de producción. El flujo de materiales en un *job-shop* es más complejo, las estimaciones sobre el avance de las órdenes son menos fiables, por lo que se requiere, para el control, información sobre:

- emisión de órdenes,
- inicio y terminación de operaciones,
- movimiento de órdenes,
- disponibilidad de herramientas y material,
- colas en los centros de trabajo.

La captura de datos consiste en medir y almacenar el avance de la producción. Los datos que se necesitan son:

- avance de las órdenes lanzadas: operaciones terminadas, órdenes terminadas, número o porcentaje de desechos, duraciones reales de las operaciones,
- situación de los centros de trabajo: tamaño de las colas, averías en las instalaciones y herramientas, tiempo muerto de operarios y máquinas, desechos por centro de trabajo y reprocesos, número de preparaciones,
- situación de los operarios: absentismo, disponibilidad de especialidades particulares, productividad.

El procedimiento concreto utilizado depende del tipo de producción, del tamaño de la empresa y de la sofisticación de su sistema de control, acorde con la tecnología disponible. Los sistemas *on-line* capturan los datos de los acontecimientos cuando ocurren a través de un terminal u otros dispositivos capaces de transmitir los datos a una estación centralizada de almacenamiento. Esta información se llama en tiempo real puesto que los

registros se actualizan instantáneamente. Depende de la situación el que un sistema productivo requiera información en tiempo real o bien sea suficiente para el control disponer de información periódica (por turno, por día, por semana).

En algunos casos el operario comunica la iniciación o terminación de una operación, movimiento de una orden, etc. mediante un terminal o rellenando un estadillo de información de operaciones, incluido en la documentación suministrada con la orden. En otros casos es el encargado, o un empleado específico para esta labor, quien tiene la responsabilidad de transmitir esta información. La información típica comprende:

- nº de orden
- nº operación
- código artículo
- cantidad
- departamento/centro de trabajo
- nº operario
- instante de comienzo
- instante de terminación
- cantidad defectuosos
- nº encargado

Las decisiones sobre la emisión y el lanzamiento de órdenes, como se ha indicado, requieren conocimiento sobre la situación de la obra en curso, disponibilidad de stock, colas en los centros de trabajo y carga en los mismos. En un sistema *on-line* con capacidad de establecer resúmenes a partir de la solicitud de los responsables, éstos pueden obtener instantáneamente información sobre la situación actual, bien sea en pantalla bien en impresora. Si no existe esta capacidad, en la mayoría de los casos se requerirán informes diarios de situación. En todos los casos son necesarios informes periódicos de consolidación para evaluar el rendimiento productivo.

La información que debería estar disponible para los responsables bien en forma continua bien en forma periódica es:

1. Situación de las órdenes emitidas (*fig. 8.1.4.1*). Este informe indica la situación de cada orden emitida físicamente (lanzada) al taller, incluyendo código, descripción, cantidad, fecha de emisión de la orden, fecha de vencimiento, operaciones finalizadas, ubicación de la orden, cantidad de defectuosos y cantidad aceptada.

FECHA 03-10-1995 (185)										
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	Nº ORDEN	CANTIDAD DE LA ORDEN	CANTIDAD FABRICADA	PLANIFICADO		REAL		SITUACIÓN (CT)	PLAZO DE FABRICACIÓN RESTANTE (días)
					FECHA EMISIÓN	FECHA VENCIMIENTO	FECHA EMISIÓN	FECHA FIN		
M7345	perno	O-3754	200	—	170	183	170	—	M3	3
B3068	guía	O-3755	150	—	175	196	177	—	B2	10
X7206	engranaje	O-3756	80	—	176	194	176	—	C4	12

Fig. 8.1.4.1 Informe de situación de órdenes emitidas

FECHA 03-10-1995 (185)							PLANIFICADO		CAUSA
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	Nº ORDEN	TIPO DE ORDEN	CANTIDAD DE LA ORDEN	FECHA EMISIÓN	FECHA VENCIMIENTO	FECHA EMISIÓN	FECHA VENCIMIENTO	
F2345	válvula	O-3817	F	50	184	186	184	186	FCO
B5067	soporte	O-3819	F	120	180	195	180	195	SCT
C0573	engranaje	O-3823	C	300	183	203	183	203	IPR
H8607	conjunto	O-3824	F	100	170	190	170	190	HND

Fig. 8.1.4.2 Informe de situación de órdenes no emitidas

2. Situación de las órdenes no emitidas (fig. 8.1.4.2). Este informe describe todas las órdenes cuya fecha de emisión se ha sobrepasado, indicando las causas de que se hayan diferido, p. ej. la existencia de una cola importante con órdenes de alta prioridad en el centro de trabajo puerta, falta de herramientas, falta de material, etc.
3. Lista de lanzamientos (figs. 8.1.3.1 y 8.1.3.2). Este informe lista, por prioridad decreciente, todas las órdenes en cada centro de trabajo, más aquellas cuya llegada al mismo se producirá en breve plazo, incluyendo la carga de la orden.
4. Situación entrada/salida de cada centro de trabajo (semanal).
5. Informes por excepción, diseñados de acuerdo con las necesidades del sistema productivo. Algunos muy frecuentes son: informe sobre defectuosos, informe sobre reprocesos e informes sobre órdenes retrasadas.
6. Informe de rendimiento global, que indica el número y porcentaje de órdenes terminadas en programa durante un período especificado (una semana o un mes) y el retraso (máximo y medio) de las órdenes retrasadas.

Se han propuesto y se pueden encontrar en la bibliografía sobre el tema muchos otros tipos de informes, y con imaginación se pueden diseñar muchísimos más. Como otros aspectos, los informes adecuados dependen del sistema productivo y de los objetivos de su sistema de gestión; demasiados informes impedirán concentrar los esfuerzos en los puntos importantes.

### 8.1.5 Evaluación de la ejecución

A partir del conocimiento de la situación real del sistema productivo puede procederse a su comparación con la situación planificada, detectar las desviaciones significativas y determinar las acciones de control apropiadas.

Puede ser útil imaginar un diagrama (que puede materializarse como tal en muchos casos), con el tiempo representado en el eje de abscisas, en el que se indican los valores reales y los planificados de los distintos fenómenos considerados. En dichos diagramas, se habrá dispuesto una banda alrededor de los valores ideales, siendo las fronteras de dicha banda los límites de control. Un valor real dentro de la banda no indica desviación significativa aunque no coincida exactamente con el valor planificado, un valor real fuera de la banda señala una desviación significativa que puede aconsejar una intervención correctora. Los valores representados en los diagramas pueden corresponder a un instante (stock u obra en curso, etc.) o a un intervalo (producción semanal, tiempo muerto diario, etc.); también puede ser útil emplear valores acumulados (producción acumulada desde principio de año o de mes).

Tomando como base este esquema, las preguntas clave en la evaluación de la ejecución son:

- si un acontecimiento real fuera de los límites de control (fuera del campo de variación esperada) es una cuestión puramente aleatoria o un acontecimiento significativo que indica un cambio permanente,
- si varios hechos consecutivos en el mismo sentido dentro de los límites de control indican un cambio,
- ¿cuál es la causa de los cambios anteriores?
- si las condiciones han cambiado lo suficiente como para retocar los límites de control.

Algunas de las variables que se deben tener en cuenta en la evaluación de la ejecución pueden ser:

- estado de avance de las órdenes (utilizando un diagrama de Gantt en ciertos casos), margen de las órdenes no terminadas (global o por centros de trabajo), número de órdenes retrasadas,
- valor del stock en materiales de procedencia exterior, valor del stock en productos terminados, valor de la obra en curso, colas en los centros de trabajo,
- producción realizada (global o por centros de trabajo)
- tiempo muerto (global o por instalación), número de preparaciones y reajustes por máquina, número de herramientas rotas (global y por máquina),
- cantidad de horas extra realizadas (global o por centro de trabajo).

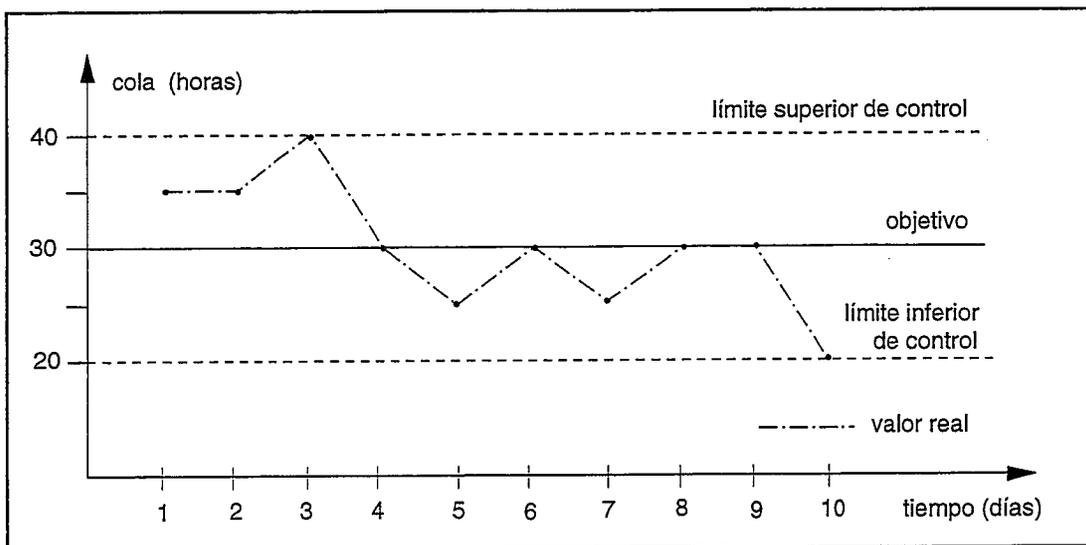


Fig. 8.1.5.1 Diagrama relativo a la cola en un centro de trabajo

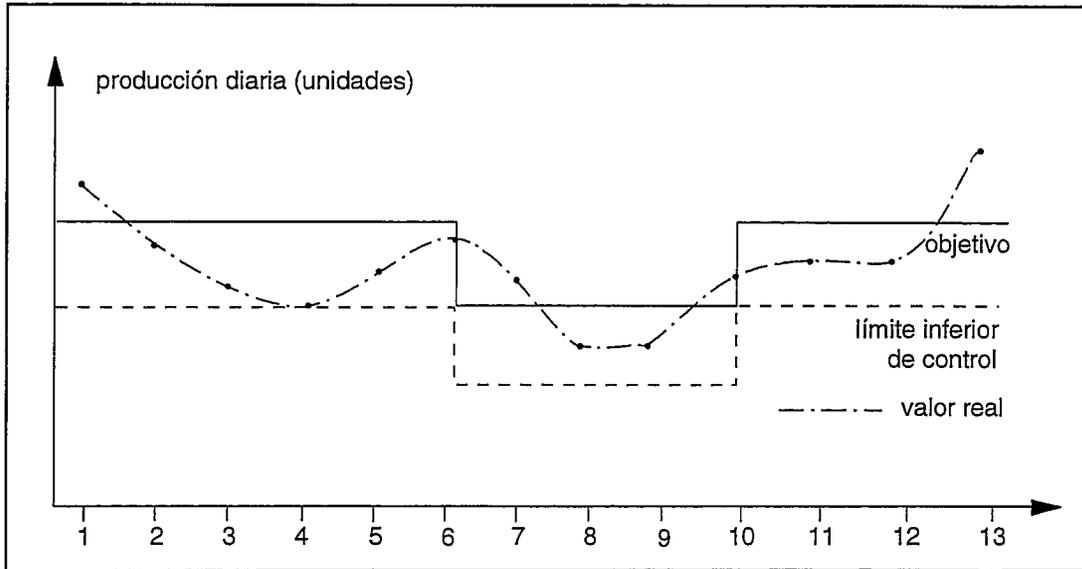


Fig. 8.1.5.2 Diagrama relativo a la producción diaria de un centro de trabajo

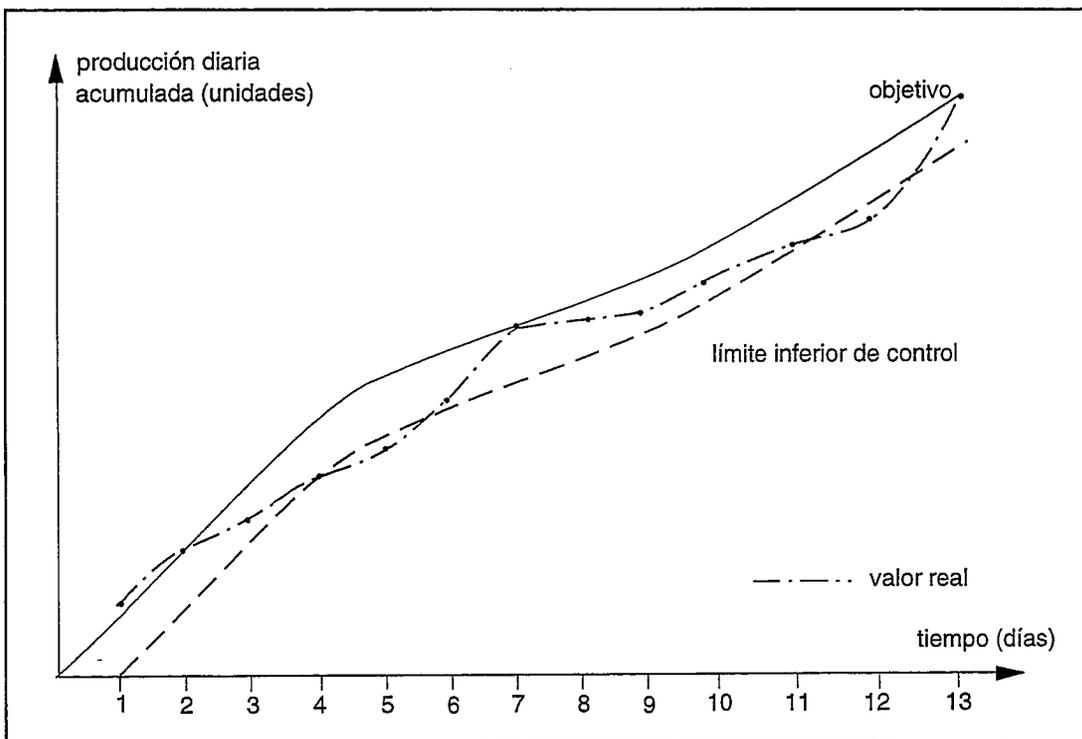
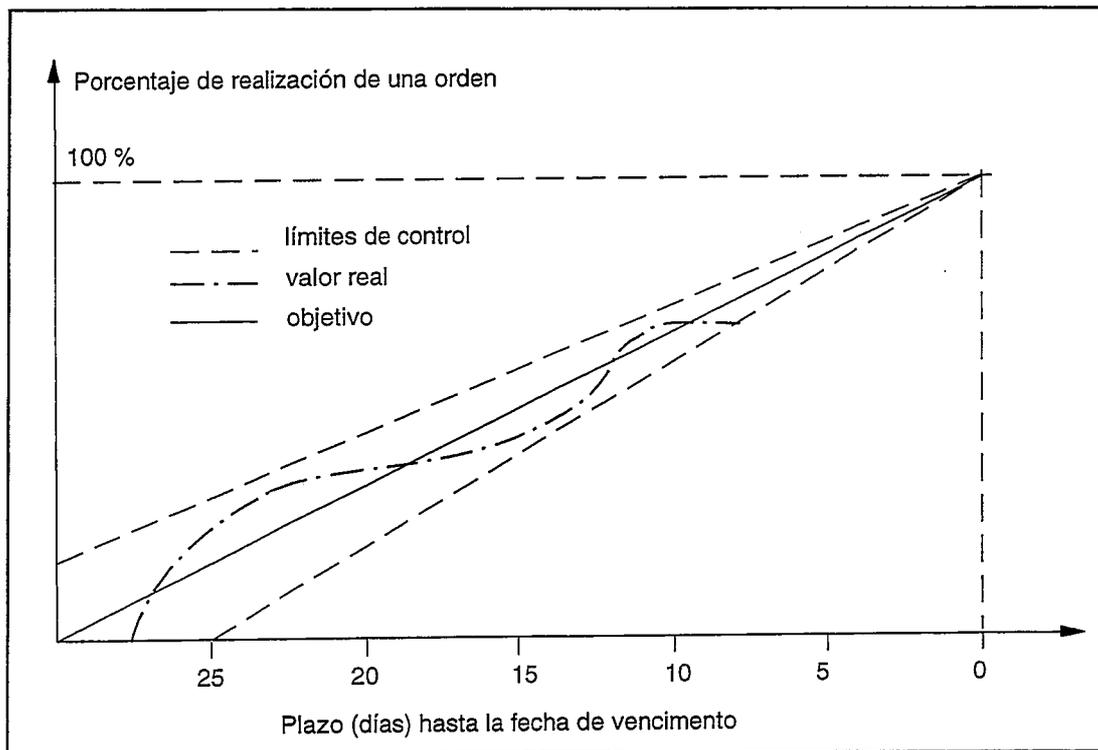


Fig. 8.1.5.3 Diagrama relativo a la producción diaria acumulada de un centro de trabajo



*Fig. 8.1.5.4 Diagrama relativo al porcentaje de realización de una orden en función del plazo restante hasta la fecha de vencimiento*

### 8.1.6 Acción correctiva a corto plazo

Dentro de esta categoría consideraremos todas las actividades que tienen por objetivo corregir las eventuales diferencias entre la imagen ideal diseñada por los procedimientos de planificación y programación y la fotografía de la realidad que nos devuelve el seguimiento. Estas actividades pueden involucrar acciones concretas para modificar la realidad, ajustándola a la imagen ideal en un plazo más o menos largo, con lo que la desviación detectada quedará en mera anécdota, o bien la aceptación de la desviación como un hecho consumado y la modificación de los planes y de los programas para paliar en lo posible sus efectos negativos. Entre ambos extremos caben muchas posiciones intermedias.

Dejamos para el apartado siguiente las actuaciones correctivas sobre el propio sistema de gestión o sobre el diseño del sistema productivo.

Una vez aceptada la existencia de una desviación significativa entre lo planificado y lo real,

es preciso aplicar una acción correctiva. En este punto estamos más preocupados por *qué ocurrió y qué hacemos para remediarlo* que por determinar las causas. Muchos problemas se resuelven informalmente mediante acciones correctivas tomadas por los ejecutores inmersos en las actividades operativas. Si una pieza necesaria para las operaciones inmediatas no ha sido suministrada por el proveedor dentro del plazo establecido, el responsable de aprovisionamiento se pondrá en contacto con dicho proveedor para acelerar la entrega. Si una máquina o instalación no funciona adecuadamente, el responsable de producción requerirá la actuación de mantenimiento. Si los problemas se resuelven dentro de un plazo razonable es posible que no se produzca traza informativa sobre los mismos, lo que tal vez impida conocer su aparición recurrente que podría llevar a acciones correctivas sobre las causas.

Otras situaciones requieren la intervención formal de los niveles de planificación del sistema de gestión, modificando las prioridades, los lanzamientos, los programas o los planes. En algunas circunstancias extremas ello puede llevar a reprogramar o replanificar sin haber cubierto el ciclo del programa o del plan anterior. Entre las acciones que entran dentro de este contexto cabe señalar:

- decidir la utilización de horas extraordinarias, de turnos adicionales, subcontratación, compra de artículos que usualmente son de fabricación interior, etc. para corregir retrasos en la producción,
- encargar a expedidores de perseguir y apresurar ciertas órdenes a lo largo de la planta,
- retrasar órdenes, comunicándolo al cliente,
- modificar el programa de acuerdo a la situación existente, reconsiderar la asignación de prioridades,
- rechazar pedidos.

Una actuación que entra en esta categoría y que se realiza de forma regular es la consideración de la situación real de partida al inicio de cualquier ciclo de planificación, de cálculo de necesidades o de programación. Esta consideración permite que cada versión actualizada del plan o del programa tenga un punto de coincidencia con la realidad.

### **8.1.7 Evaluación de medidas de eficiencia y acción correctiva a largo plazo**

Si no se hace un examen a fondo de las causas de las desviaciones se desperdicia mucha información que puede llevar a actuar sobre las mismas impidiendo la repetición de muchos problemas y mejorando la eficiencia de los procesos de planificación y programación. Normalmente en el seguimiento se registran, además de las incidencias, sus causas inmediatas (por ejemplo, en los paros de máquina si se debe a avería, falta de trabajo, falta

de material, falta de instrucciones, ausencia del operario, espera del encargado de mantenimiento o del encargado de inspección, etc.). Estas causas inmediatas pueden no ser las causas primarias, pero están ligadas con ellas y constituyen un primer indicio para su detección. En general, como es habitual, pocas causas son responsables de muchos problemas.

Como se ha indicado las acciones correctivas a largo plazo pueden actuar sobre el sistema de gestión o sobre el sistema físico.

Detectada una desviación recurrente entre lo que ocurre en la realidad y lo planificado, la causa final consistirá en una diferencia entre algún aspecto del sistema físico y su representación en el sistema de gestión. Para corregir este defecto se deberá proceder a modificar el sistema físico, el sistema de gestión o ambos. Las modificaciones del sistema de gestión, generalmente las más sencillas, pueden consistir en:

- corrección de alguno de los parámetros deterministas utilizados en la toma de decisiones, tales como los plazos, las capacidades de máquinas o instalaciones, las cantidades o la estructura de la lista de materiales, etc.
- modificación de alguno de los parámetros de las leyes de probabilidad supuestas en la toma de decisiones, tales como tasa de defectuosos, distribución de la demanda, estacionalidad o tendencia en las previsiones, etc.
- modificación de algún procedimiento, por ejemplo el de establecimiento de prioridades,
- modificación de alguno de los modelos, implícitos o explícitos, utilizados en el sistema de gestión,
- modificación global del sistema de gestión; esta situación, que podría parecer inusual, suele producirse cuando se adquiere un paquete informático de gestión de producción.

Hemos incluido la posibilidad de modificaciones del sistema físico, dado que tras la irrupción de la filosofía JIT no debe considerarse un elemento inamovible. En algunas circunstancias puede ocurrir que los procedimientos concretos utilizados en algún sector del sistema físico se hayan desviado de los normativos establecidos y tenidos en cuenta en el sistema de gestión. Después de analizar la pertinencia de la norma, podrán tomarse las medidas oportunas para garantizar su cumplimiento. Un caso más conflictivo se presentará cuando la modificación del sistema físico tenga por objeto casi exclusivo la adaptación a un sistema de gestión más sencillo y coherente; paradójicamente esta situación también suele producirse cuando el sistema de gestión se modifica globalmente al adquirir un paquete informático. Creemos que el sistema físico debe estar dispuesto de forma que dé las mejores prestaciones; para ello debe ser gestionable y por tanto no vemos ninguna objeción a que deba modificarse en función del sistema de gestión.

En cualquier caso es necesario que el sistema físico y el modelo del mismo, integrado en el sistema de gestión, sean coherentes. El modelo debe representar lo que es el sistema físico, no lo que debería ser o lo que desearían que fuese sus responsables.

La actividad productiva es extremadamente compleja, como hemos indicado repetidamente. En ella intervienen gran número de factores, algunos de difícil medición. Las interrelaciones entre estos factores no son totalmente conocidas. Por consiguiente, no disponemos de un modelo perfecto del sistema productivo, que nos indique el efecto concreto de cada actuación del sistema de gestión. Además existe la influencia de factores incontrollables, cuya evolución no es fácilmente previsible, en el corto o largo plazo, a lo que se añade la multiplicidad de criterios al juzgar la calidad del comportamiento del sistema. Por tanto, tampoco existe un modelo ideal del sistema de gestión. No estamos en condiciones de intentar una evolución por autoaprendizaje automático, en la que los modelos irían adaptándose a partir de la información suministrada por la realimentación del sistema de control.

Lo mejor que podemos hacer es asociar a cada función del sistema de gestión y a su globalidad distintas medidas de eficiencia y procurar que sus valores se mantengan dentro de ciertos márgenes. Para una función particular, una medida de eficiencia puede definirse considerando el comportamiento que debería desarrollar el sistema si el desempeño de dicha función fuese eficaz y eficiente.

Si la función planificación realizara correctamente su misión las unidades producidas coincidirían con las planificadas. Una medida de eficiencia de la función podría ser el porcentaje de cumplimiento del plan; para que la medida fuera utilizable deberíamos concretar la forma de medirla o calcularla. En este caso deberíamos definir la unidad de medida de la producción (unidades, toneladas, pesetas, etc.); el desfase entre planificación y realización (por ejemplo, se tomará la cantidad planificada en el plan más cercano a la realización); la extensión de la medida (por ejemplo, el último año o las últimas 10 semanas); cómo se consideran, en el caso de agrupar productos, las diferencias de calidad, etc. Un valor de esta medida notablemente inferior al 100% indicará que la función planificación no cubre sus objetivos.

Una medida de la eficiencia global (del sistema productivo y del sistema de gestión conjuntamente) es la productividad definida como la relación entre las salidas y las entradas del sistema:

$$\text{productividad} = \frac{\text{resultados alcanzados}}{\text{recursos consumidos}}$$

Suponiendo que numerador y denominador se miden en la misma unidad, un cociente inferior a uno indicaría ineficiencia, pero uno superior no podría considerarse satisfactorio hasta que no se hubiese contrastado con la productividad de otros sistemas similares.

	fábricas japonesas		f. americanas	f. europeas
	en Japón	en USA	en USA	
productividad horas/unidad	16,8	21,2	25,1	36,2
calidad defectos/100 unid.	60,0	65,0	82,3	97,0
superficie pie <sup>2</sup> /un-año	5,7	9,1	7,8	7,8
superficie retoques % superficie total	4,1	4,9	12,9	14,4
stocks, en días, para una muestra de 8 piezas	0,2	1,6	2,9	2,0

*Fig. 8.1.7.1 Medidas de eficiencia comparativas; fabricación de automóviles (fuente IMPV World Assembly Plant Survey, 1989 y J. D. Power Initial quality survey, 1989 reproducido en Womack, Jones & Roos, La máquina que cambió el mundo, McGraw-Hill, 1992)*

En muchas circunstancias las unidades utilizadas en el numerador y el denominador son diferentes y persiste la necesidad de contraste. En la *figura 8.1.7.1* se han reproducido unas cifras correspondientes al sector automovilístico en las que queda puesto de manifiesto esta idea. Globalmente las fábricas japonesas instaladas en el Japón tienen valores mejores (dado que los cocientes son del tipo recursos/resultados) pero siempre queda la pregunta pendiente ¿son dichas fábricas eficientes o simplemente son menos ineficientes que las demás? (esta duda no la tienen las otras fábricas, son claramente ineficientes).

## 8.2 Bibliografía

[01] FOGARTY, D. W; HOFFMANN, TH. R. *Production and inventory management*. Chicago, South-Western Publishing Co., 1983.

[02] MIZE, J. H; WHITE, C. R; BROOKS, G .H. *Operations planning and control*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1971.

[03] VOLLMANN, TH. E; BERRY, W. L; WHYBARK, D. C. *Manufacturing planning and control systems*. Homewood, Dow Jones-Irwin, 1988.

[04] WOMACK, J. P; JONES, D.T; ROOS, D. *La máquina que cambió el mundo*. Madrid, McGraw-Hill, 1992.

### **Comentarios**

En la exposición del presente capítulo, hemos utilizado ampliamente el esquema de [02], válido en sus líneas generales pero que hemos actualizado considerablemente en cuanto a los detalles. Algunas ideas provienen del capítulo 5 de [03]. Para la gestión de colas en los centros de trabajo nos hemos inspirado en [01] (**capítulo 12**).

### 8.3 Enunciados

#### 8.4.1 Simulación del problema Remonden

##### Propósito

Se trata de construir un programa que simule la siguiente situación (en formato similar a un juego):

- Por una línea de montaje circulan unidades de 5 tipos diferentes: A, B, C, D, E.
- En ciertas posiciones de la línea se montan unos componentes a dichas unidades, en nuestro caso 4, denominadas *a*, *b*, *c*, *d*.
- Cada unidad tiene un consumo diferente de los componentes dado por una lista de materiales.
- Los componentes se llevan a las líneas en contenedores de 20 unidades, cada uno con su correspondiente kanban (del tipo kanban único).
- Cuando se toma un contenedor para montar piezas se deja su kanban en un casillero.
- El kanban es llevado al taller de fabricación de las piezas (existiendo un plazo de transporte), el cual las realiza tan pronto como puede; está definido el plazo de fabricación de cada contenedor de piezas aunque si el taller está congestionado pueden existir tiempos de espera).
- Un taller realiza las piezas *a* y *d*, y otro las *b* y *c*.
- Cuando un taller ha fabricado un contenedor éste es llevado al lado de la línea (existe un plazo de transporte).
- Se conoce el número de unidades de cada clase a montar un día determinado (por ejemplo un total de 480, una cada dos minutos); el ciclo de la cadena de montaje constituye la unidad de medida de tiempos.
- El sistema está equilibrado, es decir, los talleres tienen suficiente capacidad para atender las necesidades de piezas *globalmente* a lo largo del día.

##### Formato

- La pantalla tendrá una parte que corresponderá a un trozo de la línea de montaje, en la que la sucesión A, ..., E mostrará la secuencia de unidades que se irá desplazando de

- izquierda a derecha; aparecerán unas 40 unidades.
- Estarán indicadas las posiciones en las que se montan los componentes (p. ej. la 10, 18, 25 y 33); cuando una unidad pasa por dicha posición consume el número de componentes que indica la lista de materiales.
  - En cada posición se indicarán los contenedores llenos que existen, las piezas restantes del contenedor en uso y, eventualmente, los kanbans.
  - En otra parte de la pantalla se representarán los talleres, en los cuales se indicará si está activo o no; en el primer caso qué pieza está haciendo, y los kanbans pendientes de cumplimentación.
  - Entre las posiciones de la línea y los talleres se mostrará el flujo de kanbans y de contenedores llenos.
  - En otra parte de la pantalla aparecerá el número de unidades de cada tipo pendientes de lanzar a la línea.
  - El operador, tecleando A, B, ..., E (mayúsculas o minúsculas), indicará al programa el tipo de unidad que lanza; este tecléo será el que creará el movimiento del reloj (indicado en otra parte de la pantalla).
  - Cuando una unidad no pueda recibir el componente que necesita debido a que no hay contenedores llenos en el punto de montaje, la simulación se interrumpirá, indicando las circunstancias).
  - Existirán unos valores por defecto de los parámetros, pero el usuario podrá modificarlos (después de las modificaciones se efectuará un cálculo de coherencia, indicando las anomalías, en su caso).

### **Realización**

- El programa se realizará en alguna variante de Basic (por ejemplo Quick-Basic) y se entregará la fuente, el compilado y el manual del usuario.
- Se emplearán las posibilidades de la pantalla en color, aunque el programa será utilizable en bicolor.