

# **SIMPRO AVANZADO**



**Simulación de  
Gerencia de Operaciones**

**Manual Avanzado del Participante**

## INDICE

<b>I. EFICIENCIA DEL OPERADOR DE MAQUINA .....</b>	<b>3</b>
Medida de Eficiencia de un Operador .....	3
Predicción de la Eficiencia del Operador .....	4
La Decisión de Entrenar .....	8
La Decisión de Despedir y Reemplazar .....	14
Costos de Despido y Reemplazo .....	15
Ahorros al Reemplazar a un Trabajador.....	15
<b>II CONTROL Y PLANEAMIENTO DE PRODUCCION .....</b>	<b>21</b>
Planeamiento y Control para la Fabricación de Productos Terminados.....	21
Determinación de las Necesidades para cada Período de Demanda .....	23
Programación de la Producción (Producto Acabado).....	24
Reglas de Decisión para la Programación de Producción .....	28
Planeamiento para los Ciclos Siguietes .....	35
Control de Producción de Productos Terminados .....	35
Planeamiento y Control de Producción en Proceso .....	42
Determinación de las Necesidades Diarias de Producción .....	42
Programación de Productos en Proceso .....	44
Reglas de Decisión para la Programación de Producción .....	45
Control de Producción .....	50
Establecimiento de Niveles de Inventario Deseado .....	50
<b>III. ADQUISICIÓN DE INSUMOS (MATERIALES) .....</b>	<b>55</b>
Costos Relevantes en la Adquisición de Insumos (Materiales).....	55
Costo de la Orden.....	55
Costos de Inventarios .....	56
Costo de Adquisición de Insumos .....	58
Relaciones de Costos y Minimización de Costos Totales .....	61
Ordenes Expedidas .....	66
Stock de Seguridad .....	67
El Sistema de Ciclo de Ordenes (Pedidos) .....	69
Determinación de la Duración del Ciclo.....	69
Procedimiento para Determinar la Cantidad de Pedidos.....	71
<b>IV CONTROL DE CALIDAD .....</b>	<b>78</b>
MÉTODO PARA MANEJAR EL PROBLEMA DE CONTROL DE CALIDAD.....	80
Determinación de los Costos Totales de Rechazos .....	82
Determinación de Costos Totales en Control de Calidad.....	84
<b>V. MANTENIMIENTO DE PLANTA.....</b>	<b>86</b>
Costos Involucrados en el Mantenimiento de Planta.....	86
Estimación de las Probabilidades de parada de máquinas .....	88
Determinación de los Costos Totales Esperados por Paralizaciones .....	93
Determinación de los Costos Totales de Mantenimiento de Planta .....	93
Apéndice B .....	96

## I. EFICIENCIA DEL OPERADOR DE MAQUINA

En cada período, el ejecutivo de SIMPRO toma cuatro decisiones básicas con respecto a sus operadores de máquina:

- 1) Debe decidir cuál de los trabajadores trabajará o no.
- 2) Debe decidir cuál máquina será asignada a cada uno.
- 3) Debe determinar cuál de los hombres trabajará con o sin entrenamiento.
- 4) Finalmente, debe decidir cuál de los hombres será retenido por la firma o despedido y será reemplazado por, esperamos, un operador más eficiente.

Como indicamos en el Capítulo II, el despido de un operador de SIMPRO es efectuado suspendiéndolo por tres días consecutivos.

Dos de estas decisiones--separando a un hombre por menos de tres días consecutivos sin una intención de despedirlo-- no tienen como objetivo incrementar la eficiencia del trabajador. Más bien, ello puede servir como medio para ayudar a la firma a minimizar sus costos de producción; y esto será discutido en el Capítulo dedicado a examinar el problema de programación de SIMPRO.

El propósito de este capítulo es concentrar la atención en las otras dos decisiones sobre operadores de máquinas SIMPRO, diseñados para incrementar la eficiencia: entrenamiento del trabajador y/o despido o reemplazo.

En la primera sección de este capítulo indicaremos cómo la eficiencia de cada trabajador puede medirse. Luego, presentaremos algunas técnicas analíticas que pueden ser aplicadas por el ejecutivo de SIMPRO para tomar sus decisiones de entrenamiento y despido.

### **Medida de Eficiencia de un Operador**

Un paso importante inicial de análisis es determinar cuál era la eficiencia de los operadores de máquinas existentes en el período 1 de simulación. Tal determinación le permitirá estimar en cuánto la eficiencia y habilidad de cada trabajador incrementará con días adicionales de trabajo y entrenamiento -- como lo indicaremos más tarde-- y allí estará la base para decidir cuántos días de entrenamiento serán dados a cada operador, si fuera necesario.

Adicionalmente, estimaciones de la eficiencia del operador en futuros períodos, permitirá que el ejecutivo efectúe mejores estimaciones de cuantas horas de trabajo se programarán cada día para alcanzar la demanda de la firma.

Es relativamente simple medir para un período determinado, la eficiencia o habilidad para cada operador, por ejemplo, su producción actual como porcentaje del estándar horario de producción para el producto que él trabaja. En la Línea 1, la eficiencia de cada trabajador (E) puede hallarse como sigue:

$$E = \frac{UP}{HPT * SHP}$$

UP = Número de unidades producidas por el operador

HPT = Número de horas productivas que ha trabajado

SHP = Estándar Horario de producción para el producto que esté trabajando, es decir, 50 unidades para X', 40 para Y' y 30 para una Z'

Las horas productivas, como se indicó en el Capítulo II, representan las horas programadas menos las horas que el trabajador perdió debido a reparaciones de máquinas, puesta en marcha y ajuste de máquinas o falta de materiales.

Para ilustrar la determinación de la eficiencia del operador, examinaremos la producción alcanzada por el operador 4 en la máquina 4 en la línea 1 en el período 1 (ver Fig. 2-5). El operador 4 fue asignado a la producción de X' por 8 horas, trabajó 8 horas productivas y totalizó 268 unidades de X'. Su eficiencia fue:  $E=268/8 \times 50$ ; o, 67% del estándar horario.

La eficiencia del operador en la Línea 2 se determina de una manera similar. Sin embargo, el número de rechazos debe ser agregado a la producción del trabajador (de piezas buenas) para encontrar su eficiencia. Esto es:

$$E = \frac{UP + R}{HPT + SHP}$$

R = Unidades Rechazadas

De la figura 2-5 y aplicando la fórmula mencionada, observamos que la eficiencia que el operador 6 del producto Y en el período 1 en la máquina 2 en la línea 2 es igual a 91%. Como se podrá observar, la eficiencia del Operador 6 fue considerablemente mayor que la del Operador 4. Cómo se compara la eficiencia del Operador 6 con la del Operador 4 en días futuros, sin embargo, aún no podrá determinarse sin otro análisis, ya que, como se indicó en el Capítulo II, la eficiencia de cada operador es en función de su "potencial" y el número de días que ha trabajado previamente con o sin entrenamiento. A continuación veremos el análisis para predecir los niveles de eficiencia futuros.

### **Predicción de la Eficiencia del Operador**

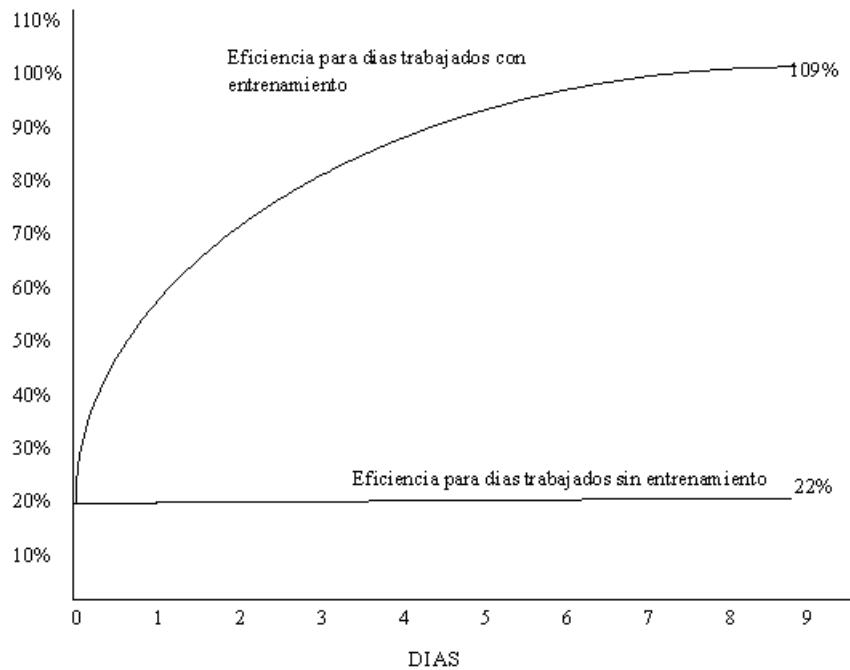
Como se indicó previamente, la eficiencia del operador aumenta generalmente más rápido con entrenamiento que sin él. Además, los operadores con gran potencial o habilidad innata aprenderán más rápido y comenzarán a ser más hábiles que aquellos con menor potencial. Análisis previos han indicado que el operador promedio aquellos, cuyo potencial definiremos como 1.00 por conveniencia, se han dado como resultados lo siguiente:

1) Sin entrenamiento aprenderá muy lentamente y nunca alcanzará a ser muy eficiente.

2) Si la persona recibe entrenamiento diario, conseguiremos que aprenda rápidamente y después de 5 días alcanzará un nivel de 100%.

Las curvas de aprendizaje del trabajador promedio con días de entrenamiento versus el trabajador sin entrenamiento están ilustradas en la Fig. 4-1. De los datos de esta curva de aprendizaje se han desarrollado los niveles de eficiencia aproximados del trabajador promedio con varias combinaciones sobre nueve días previos de trabajo y entrenamiento.

Fig 4-1 Curva de aprendizaje para un trabajador promedio



La Fig. 4-2 contiene estos datos. Por ejemplo, si un trabajador promedio con un día de trabajo previo con y sin entrenamiento es contratado en el período 2, entrenando en los períodos 2 y 3 trabaja sin entrenamiento los períodos 4 y 5, su nivel de eficiencia será aproximadamente como en la Fig. 4-3.

Hay 3 observaciones con relación a la Fig. 4-2. Primero, la eficiencia del operador continuará mejorando cada día con más de 9 días de entrenamiento y/o trabajo sin entrenamiento; sin embargo, tal incremento comenzará a decaer por cada día adicional de entrenamiento o trabajo. Segundo, es importante reconocer que dada una particular combinación de días previos de trabajo y entrenamiento, la eficiencia aproximada del trabajador será la misma que si invertimos la secuencia de entrenamiento previo y trabajo.

Finalmente, las investigaciones hechas por otro ejecutivo previamente, han indicado que la eficiencia del operador de SIMPRO, cuyo potencial es mayor o menor que el promedio (1.00), podrá incrementarla en aproximadamente en proporción a lo que alcance el operador promedio con cada día adicional de entrenamiento o de trabajo sin entrenamiento.

**Figura 4-2**  
**EFICIENCIA DE UN OPERADOR PROMEDIO DE SIMPRO CON UN POTENCIAL DE 1.00**

		<b>Días Previos Trabajados con Entrenamiento</b>									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Días Previos Trabajados sin Entrenamiento</b>	0	0.20	0.61	0.79	0.89	0.96	1.00	1.03	1.06	1.08	1.09
	1	0.21	0.63	0.81	0.91	0.98	1.03	1.06	1.09	1.11	1.12
	2	0.21	0.64	0.82	0.93	1.00	1.04	1.08	1.10	1.12	1.14
	3	0.21	0.64	0.83	0.94	1.01	1.06	1.09	1.12	1.14	1.16
	4	0.21	0.65	0.84	0.95	1.02	1.07	1.10	1.13	1.15	1.17
	5	0.22	0.66	0.85	0.96	1.03	1.08	1.11	1.14	1.16	1.18
	6	0.22	0.66	0.85	0.96	1.03	1.08	1.12	1.15	1.17	1.18
	7	0.22	0.66	0.86	0.97	1.04	1.09	1.12	1.15	1.17	1.19
	8	0.22	0.67	0.86	0.97	1.04	1.09	1.13	1.16	1.18	1.20
	9	0.22	0.67	0.87	0.98	1.05	1.10	1.13	1.16	1.18	1.20

**Figura 4-3**  
**ILUSTRACION DE AUMENTO DE EFICIENCIA CON DIAS ADICIONALES DE ENTRENAMIENTO**

Período	Entrenamiento o Trabajo	Días previos trabajados sin Entrenamiento	Días previos trabajados con entrenamiento	Eficiencia
2	Entrenamiento	1	1	63%
3	Entrenamiento	1	2	81%
4	Trabajo	1	3	91%
5	Trabajo	2	3	93%
6	-----	3	3	94%

Tres observaciones deben de hacerse sobre los datos de la Figura 4-2. En primer lugar, la eficiencia del trabajador continuará aumentando cada día más allá de los nueve días con o sin entrenamiento. Sin embargo, dichos incrementos serán cada vez menores por cada día adicional de trabajo o entrenamiento. En segundo lugar, es importante enfatizar que la eficiencia aproximada de un trabajador será la misma en cualquier día no importe cual haya sido la secuencia del entrenamiento o trabajo previo. Por ejemplo, la eficiencia del trabajador promedio en el ejemplo de arriba seguiría siendo aproximadamente 94 % en el Periodo 6 si trabajara sin entrenamiento en el Periodo 2 y 3 y fuera entrenado en los Periodos 4 y 5, o si trabajar sin entrenamiento en los Periodos 2 y 4 y fuera entrenado en los periodos 3 y 5.

Finalmente, investigación realizada por anterior ejecutivos en Simpro ha revelado que la eficiencia de cada trabajador, cuyo potencial es mayor o menor al promedio (1.00) aumentará aproximadamente en proporción al del trabajador promedio con cada día adicional de entrenamiento o de trabajo sin entrenamiento. Por ejemplo, si el potencial del trabajador de nuestro último ejemplo haya sido 1.10 en vez de 1.00, su eficiencia hubiera sido aproximadamente 110 % de aquella mostrada en la Figura 4-3, es decir 63 %, ó 69.3 % en el Periodo; 81 % (1.10) ó 89.1 % en el Periodo 3....etc.

Sabiendo todo esto, es posible para el ejecutivo de SIMPRO (1) determinar el potencial aproximado de cada uno de sus operadores y, (2) estimar cuál será la eficiencia a alcanzar en cada período futuro para ambos con o sin entrenamiento.

Consideremos al Operador 4, cuya eficiencia en el período 1 fue de 67%. De la Fig. 2-3; el Operador 4 tuvo antes del período 1, 4 días de trabajo sin entrenamiento y 1 día con entrenamiento. La eficiencia de un trabajador promedio con esos 4 días de trabajo y uno de entrenamiento es de 65%

Luego, el potencial del trabajador 4 es ligeramente mayor que el promedio, es decir  $67\%/65\% = 1.03$ .

Conociendo que el potencial aproximado del Operador 4, podemos predecir la eficiencia que alcanzará en cada período futuro, dependiendo del número de días que se le programará para trabajo simplemente o para trabajo con entrenamiento. Este operador no fue entrenado en el período 1, Fig. 2-4 y así en el período 2 tendría 5 días de trabajo previo sin entrenamiento y uno con entrenamiento. La Fig. 4-2 indica que con estos días de trabajo y entrenamiento, su eficiencia en el período 2 será aproximadamente 1.03 (0.66) ó 68%. De la Fig. 4-2 podemos también ver que si el ejecutivo decide no entrenar en el período 2, éste con 1 día de entrenamiento y 6 días trabajados permanecerá en alrededor del 68%, en el período 3 mientras que si fuera entrenado en el período 2, habrá tenido 2 días de entrenamiento y 5 días de entrenado en el período 3, y su eficiencia será alrededor de 1.03(0.85), o aproximadamente 88%. En consecuencia, la eficiencia del trabajador será alrededor de un 20% mayor que en el período 3 si ha sido entrenado en el período 2. Si dicho entrenamiento fuese sin costo, el ejecutivo obviamente decidiría entrenar al Operario 4 en el período 2. Sin embargo, entrenar a un trabajador SIMPRO cuesta 40 Dólares diarios y la decisión de entrenar o no debe basarse en un análisis económico que responda a la pregunta: "¿Los retornos marginales de entrenar a un trabajador SIMPRO en un día determinado serán mayores que el costo marginal del entrenamiento?". Será este tipo de análisis el que ocupará ahora nuestra atención.

## La Decisión de Entrenar

En comparación con los costos de entrenamiento, los cuales son siempre \$ 20 día/operario, el valor del incremento de la eficiencia del operario es más difícil de medir. Hay 3 formas básicas en las cuales el incremento de la eficiencia puede ser valorizado por la empresa. Primero, si la eficiencia del trabajador aumenta deberá ser programado para trabajar menos horas en promedio para alcanzar un nivel de producción deseado. Cada una de esas horas producirá un ahorro para la empresa del orden de \$ 2 (tiempo normal) ó \$ 6 (sobre-tiempo) a menos de que el aumento en eficiencia signifique que el trabajador será programado por menos de 4 horas de trabajo en un día, en cuyo caso el trabajador debe recibir el pago de 4 horas.

Habrá además un ahorro de \$ 10 en costo de uso de equipo. Segundo, con una eficiencia mayor del operario, la empresa puede alcanzar más fácilmente la producción comprometida y tener menores costos en satisfacer órdenes atrasadas. Finalmente, al mejorar la eficiencia del trabajador, el ejecutivo SIMPRO puede obtener mayor flexibilidad en su programación de producción, que le permitirá reducir costos de preparación y ajuste así como almacenaje e inventario.

Al determinar el valor de la mayor eficiencia del operario debido al entrenamiento, se sugiere que el ejecutivo en SIMPRO limite su atención sólo a los ahorros en salarios y uso de equipo que acarreará dicho entrenamiento. Tal análisis le asegurará que la eficiencia del trabajador será incrementada en forma suficiente (si su potencial lo permite) permitiendo a la empresa satisfacer la demanda, ya que la curva de aprendizaje para trabajadores SIMPRO se incrementa en forma aguda en los primeros días de entrenamiento como se ilustra en la Fig. 4-1 y 4-2. Recomendamos ignorar la tercera ventaja que un entrenamiento adicional puede proveerle -- mayor flexibilidad en programación de producción-- ya que esta ventaja podría ser muy difícil de medir. Vamos a ilustrar cómo un análisis de salarios y costo de uso de equipo pueden realizarse.

En un análisis del ahorro en salarios y uso de equipos los cuales resultarán del entrenamiento del operario, deberán tomarse en consideración dos factores:

- (1) Cuánto aumentará la eficiencia con el entrenamiento, y
- (2) Cuántas horas deberán programarse al nivel más alto de eficiencia.

Como ambos factores se relacionan se puede ilustrar como sigue. Suponga a una empresa que planea producir 550 unidades del Producto X en una máquina particular en un día determinado. Suponga también que la eficiencia del operario que es asignado a la máquina y no fue entrenado el día anterior es de 100%. A esta tasa de productividad (50 unidades/hora), le tomará al operario 11 horas y voltear las 550 unidades si no ocurrieran problemas técnicos. El salario total y uso de equipo serían como siguen:

Uso o Desgaste de Equipo:	11 horas \$	10 hora =	110
Salario normal:	8 horas \$	2 hora =	16
Sobre-tiempo:	3 horas \$	3 hora =	$\frac{9}{\$ 135}$

Ahora, suponga que la eficiencia de este operario ha sido incrementada entrenándolo el día anterior de 100% a 110%. En ese caso, el trabajador podrá ser capaz de terminar 55 unidades/hora, y tendría que ser programado sólo 10 horas de trabajo en lugar de 11, para lograr las 550 unidades programadas. Si ese fuera el caso el costo total del salario y desgaste-uso de equipo sería de \$ 122, o sea \$ 13 menos, y por lo tanto los resultados inmediatos del día previo de entrenamiento serían \$ 13.

Estos ahorros no serían los únicos obtenidos del día de entrenamiento, ya que la eficiencia del operario continuaría incrementándose con el entrenamiento en todos los futuros períodos de simulación. Los ahorros en cada período futuro sin embargo, no serían exactamente los mismos (\$ 13 en el ejemplo) por dos razones.

Primero, aparte de que un operario reciba entrenamiento en el futuro, la diferencia en su eficiencia dada por cualquier día de entrenamiento, en oposición a trabajar simplemente, no permanecerá igual en cada futuro período.

Segundo, el trabajador probablemente no será programado para producir la misma cantidad de unidades en días futuros, debido a variaciones en la demanda de los productos de la empresa. Es posible que el trabajador de nuestro ejemplo sea programado para producir digamos sólo 275 unidades de X, en lugar de 550 unidades en algunos períodos futuros. En tal caso, el tendrá que ser programado para un promedio de sólo 5 horas de trabajo a un nivel de eficiencia de 110% comparado a 5.5 horas a un nivel del 10% y los ahorros diarios de la empresa serían de sólo \$ 6.

Una buena aproximación a los futuros ahorros que se lograrían por cualquier día de entrenamiento se podrían obtener en:

1. Suponer que el incremento de eficiencia resultante del entrenar en cualquier día será el mismo en cualquier período futuro, y
2. Tomando una cifra promedio para los requerimientos de producción para cada operario en futuros períodos.

Una cifra promedio de la producción requerida para cada operario puede ser determinada como sigue:

1. Obtenga de su instructor información sobre: (a) ¿Cuál de las predicciones de demanda alternativas serían aplicables a sus operaciones, en esta versión de SIMPRO, y (b) El número aproximado de períodos que estará gerenciando su empresa simulada.

2. Para cada producto, añada la actual demanda para el período 3, la demanda estimada para todos los períodos futuros por los que será responsable. Luego, reste el número de unidades del producto final que ya ha producido en el período 1 de esta simulación. Esto le dará el número total de unidades requeridas en el futuro para alcanzar la demanda estimada de acuerdo a los pronósticos.

3. Para cada producto, divida su demanda requerida entre la producción estándar horaria 50 para X, 40 para Y y 30 para Z. Esto le dará el número total de horas estándar de producción necesarias para cada producción en el futuro.

4. Sume las horas estándar necesarias para cada producto para dar el número total de horas estándar necesarias para todos los productos en el futuro.

5. Dividida esta suma por el número de días operativos por los que será responsable. Esto le dará un promedio del total de horas estándar de producción necesarias por día.

6. Finalmente, dividiendo el resultado entre cuatro --ya que dispondrá de cuatro máquinas (y operarios) para la producción en cada línea por día-- le darán en promedio, el número de hora s estándar de producción que deben cumplirse por cada operario al día.

La Fig. 4-4 ilustra estos cálculos y se denomina: Cálculo de Requerimientos de Producción para un Operador Promedio.

Existen otras observaciones con relación a este punto. Primero, en el análisis anterior se ha enfocado únicamente la producción de productos finales X, Y y Z y se ha ignorado completamente la producción de productos intermedios. En cualquier día de la simulación, el número de unidades requeridas a ser producidas por la Línea 1 es posible que no sea el requerido en la Línea 2, porque la producción intermedia no puede ser usada en la producción del producto final sino hasta en futuros períodos.

**Figura 4-4**  
**CALCULO DE REQUERIMIENTOS DE PRODUCCION PARA**  
**UN OPERADOR PROMEDIO**

(1) <u>Demanda actual y pronosticada</u>	Demanda			
	<u>del Período</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>
	3	1,209	1,137	1,020
	6	1,800	900	1,500
	9	1,700	1,200	2,300
	12			
	15			
	18			
	21			
	24			
	27			
	30			
	33			
	36			
<hr/>				
(2) Demanda Total		4,709	3,237	4,820
(3) Menos productos finales producidos en Período 1		<u>-413</u>	<u>-288</u>	<u>-323</u>
(4) Total de requerimientos necesarios		4,296	2,949	4,497
(5) Tasa estándar de pago por hora		50	40	30
(6) Total de horas estándar requeridas (4)/(5)		85.9	+ 73.7	+ 149.9=
				309.5
(7) Días de producción disponibles *				<u>8</u>
(8) Horas/Día estándar requeridas (6)/(7)				38.7
(9) Máquinas disponibles				4
(10) Horas/Día/Trabajador estándar requeridas (8)/(9)				9.7
(11) Ajustado por Rechazos: H = (10) x (Factor de Rechazo)			9.7 x 1.05 =	10.19
hrs.				

\* El número de días disponibles siempre será igual al número de días en el período de demanda utilizado menos 1. Esto se debe a que el Período 1 de la simulación ya ha sido completado, y por lo tanto no está disponible para producción.

Sin embargo, en el largo plazo, el número de unidades de productos intermedios requeridos debería ser aproximadamente igual al número de unidades de productos finales necesarios y que deben ser programados y es bajo esta hipótesis que se ha basado en el análisis anterior.

Segundo, los operadores de ambas líneas serán requeridos a producir más unidades que la demanda actual, porque algunas unidades acabadas en la Línea 2 tendrán que ser rechazadas. Por lo tanto, el ejecutivo querrá añadir a su análisis un factor que cubra estos rechazos. El porcentaje de rechazos que se pueden presentar en cada período en la simulación no puede ser determinado en el Período 2. Lo que sugerimos es que el ejecutivo incremente sus horas/días/operador estándar requerido al que llegó en el análisis más arriba aplicando algún estimado razonable (Ej. 5-10%). Como observarán hemos usado 5% de ajuste por rechazo en la Fig. 4-4.

El número de horas que le tomaría a cualquier operador SIMPRO para alcanzar las metas de producción en cualquier día igual a H/E en donde H representa el promedio estándar de horas días (como será calculado en el Cálculo de requerimientos Promedio); y E, su eficiencia. Además, el número de horas menos que serán requeridos por cualquier operario para alcanzar su programa

si su eficiencia se ha incrementado como resultado de entrenamiento en el día anterior será igual a:

$$\frac{H}{E_w} - \frac{H}{E_t} = \frac{H(1 - E_t)}{E_w}$$

en donde  $E_t$  representa la eficiencia del operador si hubiera recibido entrenamiento el día anterior; y  $E_w$  su eficiencia si no hubiese sido entrenado.

Usando los ahorros en desgaste de equipo y ahorro en salarios de \$ 13 / hora como se vió antes, el total de ahorros en cada período resultante de cada día de entrenamiento podría ser aproximadamente:

$$A = \$ 13 H \left( \frac{1}{E_w} - \frac{1}{E_t} \right)$$

Para ilustrar, consideremos nuevamente al Operario 4. Como se mostró previamente, el potencial de este operario es de aproximadamente 103%, y su eficiencia estaría en alrededor del 88% en el período 3, si es entrenado en el Período 2, pero sólo 68% si trabaja únicamente en el Período 2. Usando la fórmula de arriba y dejando que  $H$  sea igual a 10 horas, el ahorro en desgaste de equipo y salarios a obtenerse en cada período futuro con entrenamiento sería aproximadamente para el Operador 4 en el Período 2:

$$\begin{aligned} A &= (\$ 13) (10) \left( \frac{1}{.68} - \frac{1}{.88} \right) \\ &= \$ 130 (1.47 - 1.14) \\ &= \$ 42.90 \end{aligned}$$

Este análisis indica que conviene claramente entrenar al Operador 4 en el período 1, ya que los ahorros logrados para cada futuro período comenzando con el período 3 de \$ 42.90 son considerablemente mayores que los \$ 20 logrados en el Período 2.

Existen otras dos observaciones en este punto. Se provee de una Tabla de Recíprocas en la Fig. 4-5, dando valores  $1/E$  para aquellos valores  $E$  que pueden ser hallados en la simulación. Recurrir a estos valores simplificará los cálculos requeridos por el gerente al usar la fórmula de arriba al evaluar sus decisiones. Segundo, sugerimos que antes de realizar sus decisiones para el Período 2, evalúe el valor de entrenar a todos sus operarios no sólo en el período 2, así como también en futuros períodos. Una evaluación para el operario 4 para períodos 2-8 se ilustra en la Fig. 4-6. Los montos logrados en la Fig. 4-6 fueron desarrollados usando la ecuación dada más arriba. La decisión

de entrenar en cada período se arribó respondiendo a la pregunta: "¿Serán los ahorros totales resultantes del entrenamiento en todos los períodos futuros de simulación superiores al costo de \$ 20 por entrenamiento?".

**Figura 4-5**  
TABLA DE HABILIDADES RECÍPROCAS PARA EVALUAR ENTRENAMIENTO

P	1/P	P	1/P	P	1/P
0.2	5.00	0.64	1.56	1.08	0.93
0.21	4.76	0.65	1.54	1.09	0.92
0.22	4.55	0.66	1.52	1.1	0.91
0.23	4.35	0.67	1.49	1.11	0.9
0.24	4.17	0.68	1.47	1.12	0.89
0.25	4.00	0.69	1.45	1.13	0.88
0.26	3.85	0.70	1.43	1.14	0.88
0.27	3.70	0.71	1.41	1.15	0.87
0.28	3.57	0.72	1.39	1.16	0.86
0.29	3.45	0.73	1.37	1.17	0.85
0.3	3.33	0.74	1.35	1.18	0.85
0.31	3.23	0.75	1.33	1.19	0.84
0.32	3.13	0.76	1.32	1.2	0.83
0.33	3.03	0.77	1.3	1.21	0.83
0.34	2.94	0.78	1.28	1.22	0.82
0.35	2.86	0.79	1.27	1.23	0.81
0.36	2.78	0.80	1.25	1.24	0.81
0.37	2.70	0.81	1.23	1.25	0.8
0.38	2.63	0.82	1.22	1.26	0.79
0.39	2.56	0.83	1.2	1.27	0.79
0.4	2.50	0.84	1.19	1.28	0.78
0.41	2.44	0.85	1.18	1.29	0.78
0.42	2.38	0.86	1.16	1.3	0.77
0.43	2.33	0.87	1.15	1.31	0.76
0.44	2.27	0.88	1.14	1.32	0.76
0.45	2.22	0.89	1.12	1.33	0.75
0.46	2.17	0.90	1.11	1.34	0.75
0.47	2.13	0.91	1.1	1.35	0.74
0.48	2.08	0.92	1.09	1.36	0.74
0.49	2.04	0.93	1.08	1.37	0.73
0.5	2	0.94	1.06	1.38	0.72
0.51	1.96	0.95	1.05	1.39	0.72
0.52	1.92	0.96	1.04	1.4	0.71
0.53	1.89	0.97	1.03	1.41	0.71
0.54	1.85	0.98	1.02	1.42	0.7
0.55	1.82	0.99	1.01	1.43	0.7
0.56	1.79	1	1	1.44	0.69
0.57	1.75	1.01	0.99	1.45	0.69
0.58	1.72	1.02	0.98	1.46	0.68
0.59	1.69	1.03	0.97	1.47	0.68
0.6	1.67	1.04	0.96	1.48	0.68
0.61	1.64	1.05	0.95	1.49	0.67
0.62	1.61	1.06	0.94	1.5	0.67
0.63	1.59	1.07	0.93		

Por ejemplo , entrenar al Operador 4 en el Período 3 podría resultar en un ahorro diario aproximado de \$ 16.90 comenzando en el período 4, de tal modo que para el período 5 el total de ahorros sería aproximadamente \$ 33.80 ó \$ 13.80 mayores que el costo de entrenamiento.

Si se da entrenamiento a este operario en el período 8, por otro lado, resultaría en ahorros diarios de sólo \$ 1.30 y la suma de estos ahorros no excederían los costos de entrenamiento hasta el período 24. Basándonos en que sólo efectuaremos operaciones simuladas en 20 períodos, la decisión fue no entrenar al operario 4 en el período 8, toda vez que los costos de entrenamiento no serían totalmente recuperados aun en el período 20.

Una vez que el ejecutivo ha decidido sobre el entrenamiento que dará a cada uno de sus trabajadores; podrá conociendo su futuro nivel de eficiencia, estar en una mejor posición para determinar qué operarios, si existen, deben ser despedidos y reemplazados con posibles mejores trabajadores. Ahora nos dedicaremos a la decisión de despedir y reemplazar.

### La Decisión de Despedir y Reemplazar

Como se indicó en el Capítulo 2, el ejecutivo SIMPRO puede reemplazar a cualquiera de sus operarios regulares (1-8) con cualquiera de los Operarios 9-28 del pool de trabajadores disponibles. Más adelante, cualquiera de estos nuevos operarios puede a su vez ser reemplazado si su performance prueba no ser satisfactorio.

Al momento de decidir si cualquiera de sus operarios regulares debe ser despedido y reemplazado, el ejecutivo SIMPRO debe determinar si los ahorros acumulados excederán, en forma rápida, los costos en que incurrirá al tomar dicha decisión. Primero veremos los costos involucrados al reemplazar a cualquier trabajador SIMPRO.

Fig. 4-6 FORMATO DE ANALISIS DE AHORROS POR ENTRENAMIENTO

Operador Nro. :4 Potencial H = 10 horas

Período	Días Prev. Trab. con entren.	Días Prev. Trab. sin entren.	Efic. Período sgte. Si no se ha entren. En el período	Efic. Período sgte. Si se ha entren. En el período	I	I	Horas ahorradas por día $H(I/P_w - I/P_t)$
					$P_w$	$P_t$	
2	1	5	0.68	0.88	1.47	1.14	3.3
3	2	5	0.88	0.99	1.14	1.01	1.3
4	3	5	0.99	1.06	1.01	0.94	0.7
5	4	5	1.06	1.11	0.94	0.90	0.4
6	5	5	1.11	1.14	0.90	0.88	0.2
7	6	5	1.15	1.17	0.87	0.85	0.2
8	7	5	1.18	1.19	0.85	0.84	0.1

\* El día de trabajo con entrenamiento (período 3-8) y el agregado sin entrenamiento (período 9) está basado en la decisión de la empresa - entrenar o no entrenar del período previo.

Período	\$ ahorrados diarios Horas ahorradas por \$ 13	Número de días requeridos para que ahorros totales exceda costo entrenamiento \$ 20	Periodo en el que ahorros totales excederán costos de entrenamiento	Decisión
2	\$ 42.90	1	3	Entrenar
3	16.90	2	5	Entrenar
4	9.10	3	7	Entrenar
5	5.20	4	9	Entrenar
6	2.60	8	14	Entrenar
7	2.60	8	15	Entrenar
8	1.30	16	24	No entrenar

### Costos de Despido y Reemplazo

La empresa que decida despedir y reemplazar a un operario incurrirá en tres costos directos como se indica en el Capítulo 2.

- 1) Tomar a un nuevo operario cuesta \$ 50.
- 2) Despedir a un operario existente trae como consecuencia separarlo por 3 días consecutivos y durante el tiempo cuesta:
  - a) \$ 8 por los dos primeros días y
  - b) \$ 25 por despido en el tercer día.

Sumando estos costos nos da \$ 91 como monto total involucrado cada vez que un operario SIMPRO es despedido y reemplazado.

### Ahorros al Reemplazar a un Trabajador

Se usarán los mismos tipos de ahorros básicos que logrará el ejecutivo de SIMPRO cuando reemplaza a un operador con otro más eficiente, que cuando él mejora la eficiencia de un operario actual al darle entrenamiento, p.e., ahorros logrados al evitar costos de ordenar lo mismo, de una mayor flexibilidad en el programa de producción y al reducir sus costos en salarios y desgaste de equipo. Al evaluar los ahorros obtenidos al reemplazar a un trabajador asumiremos que (1) No supondremos la existencia de los primeros 2 de los ahorros y (2) Tomaremos los mismos ahorros de salarios y desgaste de equipo que tomamos en nuestra discusión previa de entrenamiento. Esto es, asumiremos que el total de ahorros resultantes al reemplazar a un operario actual con uno nuevo en cualquier período podría resultar de:

$$(\$ 13) (A) \left( \frac{1}{E_n} - \frac{1}{E_c} \right)$$

En donde  $E_c$  representa la eficiencia del operador actual y  $E_n$  representa la eficiencia del nuevo operario en ese día.

Para determinar estos ahorros, necesitamos conocer cuál será la eficiencia de ambos operarios actual y el de cualquier otro trabajador considerado para reemplazar no sólo en el período actual, sino también en futuros períodos. La eficiencia de los operadores actuales por varios períodos puede conocerse si el ejecutivo los ha evaluado entrenándolos como se explicó arriba. Estimando la eficiencia potencial de los nuevos empleados (operadores 9-28) es más difícil, sin embargo y como se indicó en el Capítulo 2, sólo un estimado de sus potenciales se ha dado al ejecutivo SIMPRO. Estos estimados serán precisos dentro de los límites a continuación:

1) Los potenciales de estos trabajadores indicados como "excelente" serán siempre entre 108% y 120%, inclusive, los del operador "promedio" el cual, con un potencial de 1.00, como se indicó antes, alcanzará 100% de eficiencia después de 5 días de entrenamiento.

2) Los potenciales de aquellos trabajadores designados como "buenos" serán siempre de 102-112% de promedio; los potenciales de los "promedios" de 95-105% y aquellos "regulares" de 87-97% y aquel los considerados como "pobres" de 80-90% inclusive.

No existe información sobre la distribución dentro del rango 108-120% de los potenciales de aquellos trabajadores sindicados como excelentes, de aquellos indicados como "buenos" dentro del rango 102-112%, etc.

El ejecutivo SIMPRO puede aproximarse en la predicción de futuros niveles de eficiencia de los operarios 9-28 en diferentes formas. Por ejemplo, puede asumir en forma optimista que cualquier operador sindicado como "excelente" tendrá el potencial más alto posible en su categoría (120%) o, en el extremo opuesto, puede aplicar un criterio pesimista y asumir que todos los operadores con ese tipo de puntaje pueden tener el potencial más bajo posible --108%. Probablemente la forma más realista es suponer que el potencial actual de cualquier nuevo trabajador podría ser igual a la media del rango de potenciales posibles p.e., podemos suponer que:

- 1) Un potencial de 11% para todos los operadores excelentes.
- 2) Uno de 107% para aquellos "buenos".
- 3) Uno de 100% para el "promedio".
- 4) Uno de 92% para el regular
- 5) Un potencial del 85% para aquellos "pobres".

Para ilustrar cómo decisiones de despedir y reemplazar pueden hacerse usando tal suposición, supongamos que el ejecutivo SIMPRO en el período 2 está considerando despedir al Operador 4 y reemplazarlo con un nuevo operario hipotéticamente indicado como "excelente" que ha tenido 1 día de trabajo previo con entrenamiento y 8 días previos de trabajo sin entrenamiento. Vamos a suponer también que el ejecutivo decidirá entrenar a este nuevo

hombre, siguiendo un proceso analítico como indicáramos antes para los actuales trabajadores. Si fuese así, la eficiencia de este nuevo hombre en cada período del 2-9 asumiendo un potencial medio de 114% se ilustra en la Fig. 4-7.

Fig. 4-7 EVALUACION DE UN NUEVO OPERADOR (HIPOTETICO)

Período	Días Prev. Trab. con entren.	Días Prev. Trab. sin entren.	Efic. Período sgte. Si no se ha entren. En el período	Efic. Período sgte. Si se ha entren. En el período	$\frac{I}{P_w}$	$\frac{I}{P_t}$	Horas ahorradas por día $H(I/P_w - I/P_t)$	
2	1	8	0.76	0.98	1.32	1.02	3.0	42.90
3	2	8	0.99	1.11	1.01	0.90	1.1	16.90
4	3	8	1.12	1.19	0.89	0.84	0.5	9.10
5	4	8	1.20	1.24	0.83	0.81	0.2	5.20
6	5	8	1.25	1.29	0.80	0.78	0.2	2.60
7	6	8	1.29	1.32	0.78	0.76	0.2	2.60
8	7	8	1.32	1.35	0.76	0.74	0.2	1.30

\* El día agregado de entrenamiento para el período 3-8 es decisión de la empresa de entrenarlo en el período previo

Período	Número de días requerido para que los ahorros totales excedan \$ 20 del costo de entren.	Periodo en el que el ahorro total excederá los costos de entrenamiento	Decisión
2	1	3	Entrenar
3	2	5	Entrenar
4	4	8	Entrenar
5	8	13	Entrenar
6	8	14	Entrenar
7	8	15	Entrenar
8	8	16	Entrenar

Tomando  $1/E_c$  para cada período 2-9 nos dará el número de horas que serían necesarias para el operador 4 para alcanzar la demanda programada y  $1/E_n$  nos dará el número de horas requeridas para un nuevo operador a contratarse. Restando  $1/E_n$  de  $1/E_c$  y multiplicando el resultado por  $1/13$  A dará entonces una aproximación al desgaste de equipo y ahorro salarial en cada período si se toma la decisión de reemplazar. Estos cálculos se ilustran en la Fig. 4-8. Como demuestra la Fig. 4-8, los ahorros acumulados para los períodos 2-8 son \$ 98.80 que es \$ 7.80 mayor que el costo de despido y reemplazo que es de \$ 91. Por lo tanto, el ejecutivo SIMPRO deberá preguntarse si es conveniente esperar hasta el período 8 para entrar con el nuevo operador.

Tabla 4-8 Evaluación de un nuevo hipotético trabajador

Trabajador Número: Hipotético Potencial: 114 % H= 10 horas

Periodo	Días Trab. con entren.	Días trab. Sin entren.	Eficiencia pxmo periodo si no entrena en periodo (P <sub>w</sub> )	Eficiencia pxmo periodo si entrena en periodo (P <sub>t</sub> )	1/P <sub>w</sub>	1/P <sub>t</sub>	Horas ahorradas por día
2	1	8	0.76	0.98	1.32	1.02	2.0
3	2	8	0.99	1.11	1.01	0.90	1.1
4	3	8	1.12	1.19	0.89	0.84	0.5
5	4	8	1.20	1.24	0.83	0.81	0.2
6	5	8	1.25	1.29	0.80	0.78	0.2
7	6	8	1.29	1.32	0.78	0.76	0.2
8	7	8	1.32	1.35	0.76	0.74	0.2

Periodo	\$ ahorrados por día	Días requeridos para que ahorros totales exceden \$ 20 costo	Per en el que ahorros totales excederán costo de entren.	Decisión
2	39.00	1	3	Entrenar
3	14.30	2	5	Entrenar
4	6.50	4	8	Entrenar
5	2.60	8	13	Entrenar
6	2.60	8	14	Entrenar
7	2.60	8	15	Entrenar
8	2.60	8	16	Entrenar

## FORMATO DE ANÁLISIS PARA REEMPLAZO DE UN OPERADOR

Varias observaciones futuras se deben considerar en este tipo de análisis. Primero, en nuestro ejemplo arriba, nuestra evaluación analítica de entrenamiento indicaba que el nuevo hombre si fuera tomado, debería ser entrenado por siete períodos consecutivos: períodos (2-8), mientras que si retenemos al Operador 4, debería ser entrenado sólo en los Períodos 2-7. Así, si el nuevo operador fuese tomado y entrenado, los costos totales de entrenamiento podrían exceder a aquellos en los que hubiese incurrido si el operador 4 es retenido.

En consecuencia, el total de costos adicionales incurridos si el Operador 4 fuese reemplazado serían de \$ 111 en lugar de \$ 91 y un análisis completo de la decisión de reemplazar debería considerar tales costos.

En nuestro ejemplo, con esta consideración adicional, no sería hasta el período 9 que los ahorros acumulados excederían los \$ 111.

Segundo, el ejemplo fue llevado sólo hasta el período 9. En algunos casos, tales análisis deberían ser llevados muchos períodos más hasta que se generen ahorros suficientes que justifiquen la decisión de despido y reemplazo. En consecuencia, como en el análisis de la decisión de entrenamiento, sería interesante que el ejecutivo averigüe y tenga una idea aproximada del número de períodos que abarcará la simulación.

Tercero, debemos mencionar que en algunos casos, se puede presentar ahorro negativo en desgaste de equipo y salarios si un operador actual es reemplazado. Por ejemplo la eficiencia proyectada de nuestro hipotético operador, como se muestra abajo, es 0.76, 0.98 y 1.11 en períodos 2-4 respectivamente. Si lo estamos considerando como un futuro reemplazo para un operador actual con eficiencia de 0.88, 0.99 y 1.06, respectivamente, en estos períodos, se podrían acumular los siguientes ahorros:

Período	$\frac{1}{E_c}$	$\frac{1}{E_n}$	$10 \left( \frac{1}{E_c} - \frac{1}{E_n} \right)$	Ahorro en Período (\$ 13 x horas ahorrada)
	-----	-----	-----	-----
2	1.14	1.32	- 1.8	- \$ 23.40
3	1.01	1.02	- 0.1	- \$ 1.30
4	0.94	0.90	+ 0.4	+ \$ 5.20

**Nota:** Los ahorros negativos pueden sumarse a los positivos para el caso del acumulado.

Finalmente, algunos comentarios a fin de poder establecer hasta que punto el ejecutivo debe considerar reemplazar a sus actuales operadores con cada uno de los trabajadores 9-28 disponibles. Si así fuera, tendría que llevar a cabo 160

análisis y le consumirían demasiado tiempo. Lo que se recomienda es que sigan una guía general:

- 1) Tome nota de los potenciales de cada operador existente como sugerimos en el principio del capítulo.
- 2) Proyecte la eficiencia de cada operador disponible en el pool de trabajo cuyo potencial es indicado como "excelente".
- 3) Seleccione a uno de estos operadores, y determine, como ilustramos previamente, si sería rentable que reemplace a un trabajador actual con el potencial más bajo. Si le resulta, haga el cambio y evalúe, reemplazando al siguiente trabajador actual con el siguiente potencial más bajo con un segundo operador entre aquellos considerados como "excelentes".
- 4) Continúe este procedimiento (desde nuevos trabajadores "excelentes" a aquellos "buenos" si fuere necesario) hasta que no le resulte rentable reemplazar a ninguno de los operarios actuales de su empresa.

Siguiendo el proceso descrito, el ejecutivo de SIMPRO puede llegar a decisiones de reemplazo satisfactorios, aunque no necesariamente óptimos en el Período 2. Entonces, cuando cualquier nuevo operador sea contratado, sus potenciales deben ser proyectados en la forma descrita. Teniendo este dato, en lugar de basarse simplemente en estimados de los potenciales nuestra decisión nos permitirá determinar en forma más acertada (1) el número de días de entrenamiento que debemos dar al nuevo operador y (2) cuál será su nivel de eficiencia en futuros períodos. Conociendo estos niveles de eficiencia, nos ayudará a obtener una base para determinar si es aconsejable considerar el reemplazo del operador nuevo con algún otro trabajador disponible del pool en un futuro período.

## **RESUMEN**

El ejecutivo SIMPRO puede incrementar la eficiencia entrenando a sus actuales trabajadores, o reemplazándolos con otros más eficientes. En este capítulo, ilustramos como ambos, eficiencia del operador y potenciales, pueden ser proyectados en SIMPRO. Luego describimos técnicas por medio de las cuales el ejecutivo puede determinar (1) el número de días de entrenamiento que serían rentables dar a cada operador y (2) si sería mejor reemplazar algunos de los trabajadores existentes con nuevos disponibles del pool. Cualquiera de las decisiones que se tome, conociendo los niveles aproximados de eficiencia de todos sus operadores en los futuros períodos, permitirán al ejecutivo realizar una labor más eficiente en la planificación y programación que discutiremos en el próximo capítulo.

## II CONTROL Y PLANEAMIENTO DE PRODUCCION

El proceso de manufactura SIMPRO como lo indicamos en el Capítulo II del Manual Básico, consiste de dos operaciones de conversión básicas. La primera involucra la conversión de insumos en productos intermedios X', Y' y Z' en la Línea 1, mientras, la segunda involucra la conversión de estos productos intermedios en producto final (o acabado), Productos X, Y y Z de la Línea 2, Uno de los mayores problemas en SIMPRO es el de planificación y control de estas 2 operaciones de conversión sucesivas.

El planeamiento de la producción y programación en SIMPRO - como en muchas de las operaciones reales- es tan compleja que no se puede tratar como un simple modelo analítico o una decisión algorítmica. Por su complejidad, el problema de programación de SIMPRO debe ser descompuesto en muchos sub- problemas o estados para propósitos de análisis; el estado básico del proceso actual de manufacturas SIMPRO en su secuencia cronológica son la adquisición de insumos seguidos por la Producción de las Líneas 1 y 2, respectivamente. Sin embargo, para la toma de decisiones de cada uno de estos estados, es más efectivo trabajar hacia atrás, por ejemplo, los primeros planes de desarrollo para el producto terminado X, Y y Z deben basarse en el análisis de la demanda; luego los planes para la manufactura intermedia Productos X', Y' y Z' deben hacer posible alcanzar los programas para obtener los productos terminados y finalmente planear la adquisición de materiales e insumos suficientes que permitirán alcanzar la producción intermedia deseada.

El objetivo de este capítulo son las formas de tratar a los problemas para conseguir la producción intermedia y final en SIMPRO, quedando para el Capítulo siguiente el análisis de la adquisición de los materiales. En este capítulo nosotros primero trataremos con el planeamiento y control de producción de la Línea 2, luego veremos los problemas involucrados en la producción intermedia de la Línea 1. En esta discusión enfatizaremos en las técnicas de decisión planeamiento y control, añadiendo, el poder alcanzar el objetivo de la empresa que es la de minimización de costos.

### **Planeamiento y Control para la Fabricación de Productos Terminados**

Análisis de la demanda a largo plazo.—

Planear la producción de producto terminado en SIMPRO, requiere, antes que nada, comprender los requerimientos a largo plazo demandados a la empresa. Indicamos en el Capítulo 2 del Manual Básico que el ejecutivo de SIMPRO debe de tomar como una guía para el planeamiento una de las tres alternativas de producción de demandas mostrados en el Apéndice A del Manual Básico, y la Demanda actual siempre estará  $\pm 5\%$  de lo que figura en la predicción. La referencia del Apéndice A indica que la demanda para cada uno de los 3 productos de la Empresa no es constante pero, puede variar considerablemente desde un período de demanda de 3 días al siguiente.



1. Dentro de cada ciclo, el número total de horas de capacidad requeridas (el ratio de estándar/horario) para alcanzar la demanda estimada para cada uno de los tres productos, se incrementará de cada período (de 3 días) al siguiente.
2. El número total de horas de capacidad requerida, siempre excederá a la capacidad total disponible (tiempo normal más sobre-tiempo) en el tercer período de demanda en cada ciclo.
3. La capacidad disponible durante el total del ciclo de 9 días siempre excederá los requerimientos de la demanda total para todo el ciclo.

Debido a esta tercera característica, no será necesario para el ejecutivo de SIMPRO llevar un inventario de productos terminados desde un ciclo de demanda al siguiente. En consecuencia, el planeamiento de producción para cada ciclo puede ser emprendido independientemente. Esto es, que el ejecutivo de SIMPRO no necesita planes iniciales. Antes del planeamiento futuro, necesita sólo encuadrar un ciclo de demanda a la vez en los 9 períodos de decisión. En la siguiente sección se ilustrarán una serie de técnicas para realizar la planificación.

### **Determinación de las Necesidades para cada Período de Demanda**

La planificación de Producción de la Empresa de productos terminados, primero requiere el establecimiento de necesidades de producción para cada uno de los tres períodos dentro de los ciclos de demanda que se consideran. Previamente discutimos como los requerimientos de demanda se pueden convertir en horas de capacidad suponiendo que toda la producción fue conseguida con el ratio de estándar horario. Sugerimos que la determinación de las necesidades de producción para cada período de demanda en cada ciclo de demanda SIMPRO también este basado en tales conversiones, exceptuando sólo los factores adicionales a considerarse. Los pasos que recomendamos para la determinación para el primer ciclo de demanda (Período 1-9) son como siguen, para cada producto:

1. Restar el inventario disponible al comienzo del Período 2 de la demanda dando las unidades de producción necesarias a ser programadas en los Períodos 2 y 3 para el primer ciclo de demanda. Para el segundo y tercer ciclo de demanda, simplemente usar el estimado de demanda apropiado suponiendo un inventario cero inicial para cada uno.
2. Incluir por seguridad una tolerancia para cubrir los productos rechazados, por retrasos en producción debido a máquinas malogradas y por el hecho de que la demanda real puede superar la demanda estimada.
3. Convertir los requerimientos de demanda más la tolerancia de seguridad en horas tales de producción necesarios, dividiendo estas unidades por el promedio de eficiencia esperada de los operadores de la empresa durante el período de demanda al ratio del estándar horario. El promedio de eficiencia esperada puede obtenerse como el promedio de los promedios de las eficiencias de los operadores para cada uno de los tres días en el ciclo de

demanda. Cada eficiencia promedio diaria puede ser calculada de los datos de eficiencia desarrollados en el Capítulo anterior y resumidos en el Formato Resumen de los Ratios estimados de eficiencia de los Operadores que se encuentra al fin del Capítulo.

Para ilustrar la aplicación de estos pasos consideremos hipotéticamente el estimado de demanda mostrado en la Fig. 5- 1. Este estimado tiene las mismas características básicas de cada uno, de los tres estimados alternativos de demanda del Apéndice A, como ya lo discutimos. Supondremos también que el ejecutivo quiere tener una tolerancia de seguridad del 15% y la eficiencia del operador promedio de cada día durante el primer ciclo de demanda (Períodos 1-3) es 103%; durante cada día del segundo ciclo, 114%; y durante cada día del tercero, 120%. Para el producto X en el primer ciclo de demanda, se tiene un inventario inicial de 413 unidades en el inicio del período 2 de la simulación (Figura 2-5). Restando esta cantidad de la demanda requerida 1,209 nos da 796 unidades, el 15% de seguridad (119 unidades) se agrega a las primeras dando 915 unidades de producto que necesitarán ser programadas multiplicando la eficiencia promedio del operador 103%, por el estándar horario de producción de 50 unidades/hora para el producto X da 51.5 que representa el número promedio esperado de producción. Dividiendo las unidades totales entre esta cantidad nos da aproximadamente 18 horas que se necesitan ser programadas para la producción de X para este período.

Este tipo de análisis para cada uno de los productos en cada uno de los tres períodos en el primer ciclo de demanda es mostrado en la Fig. 5-2, Hoja de Trabajo de Planeamiento de Producto Terminado SIMPRO.

### **Programación de la Producción (Producto Acabado)**

Una vez establecidos los requerimientos de producción para cada período en el ciclo bajo consideración, el ejecutivo de SIMPRO necesitará resolver muchos puntos para la Programación de la Producción. Por ejemplo, deberá de determinar cuantas horas de producción de cada producto se programarán cada día, que maquinaria será asignada a cada producto, etc. En la programación muchas alternativas son posibles y los costos serán diferentes de acuerdo con la alternativa escogida. En esta sección discutiremos (1) como varían los costos en función de las decisiones de programación y (2) describiremos ciertas técnicas de decisión que podrán ayudar a minimizar estos costos.

Costos Relevantes en la Programación de la Producción.- Hay cuatro tipos básicos de costos que pueden variar con las diferentes formas de programación de la producción para el ejecutivo de SIMPRO. Primero el salario del operador cuya variación de cómo es programada a su producción, como se indicó en el Capítulo 2, (1) el costo adicional por cada hora de sobre-tiempo programada y (2) cuando un operario es programado por menos de 4 horas en un día se le debe pagar por 4 horas de trabajo. Segundo, hay un costo cada vez que se para la maquinaria para cambiar de producto, igualmente, durante cada hora requerida para ajustes de la empresa, también incurre en costos de

salarios (\$ 2) y en costos de uso de equipos (\$ 10). Luego hay costos relevantes que se incurren cada vez que se programan cambios de producto con una hora de tiempo requerido de ajuste para X, 2 para Y y 3 para Z, los costos totales serían:

Costo de Ajuste = \$ 5.00

Producto X:  $5 + 2 + 10 = 17$   
Producto Y:  $10 + 4 + 20 = 34$   
Producto Z:  $15 + 6 + 30 = 51$

Fig. 5-2 Hoja de Trabajo para Programación de Producto Terminado

P E R I O D O	Demanda Req.			Inventario Inic.			Producción Necesaria			Stock Seguridad			Requerim. Totales			Efic. Pro m Oper	Tasa de Prod. Promedio			Horas Requeridas			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17	18	19	20	21	22
	X	Y	Z	X	Y	Z	X (1)- (4)	Y (2)-(5)	Z (3)- (6)	X (7) x SS	Y (8) x SS	Z (9) x SS	X (7)+(10 )	Y (8)+(11 )	Z (9)+(12 )			X (16) x TS	Y (16) x TS	Z (16) x TS	X (13)/(17)	Y (14)/(18)	Z (15)/(19)
3	1 2 0 9	1137	1020	413	288	323	796	849	697	119	127	105	915	976	802	103 %	51.5	41.2	30.9	18	24	26	
6	1 1 0 0	955	1325	0	0	0	1100	955	1325	165	143	199	1265	1098	1524	114 %	57.0	45.6	34.2	22	24	45	
9	3 5 0 0	1000	2250	0	0	0	3500	1000	2250	525	150	338	4025	1150	2588	120 %	60.0	48.0	36.0	67	24	72	
12																							
15																							

SS Stock de seguridad  
 TS Tasa de producción estándar

El tercer tipo de costo es el costo de llevar inventarios, los que variarán dependiendo como se programa la producción. Indicados en el Capítulo 2, los costos por inventario de producto terminado para cada período anterior al período que corresponde es de \$ 0.3 para X, \$ 0.5 para Y y \$ 0.7 para Z. Para propósitos de análisis nos haremos la siguiente pregunta: ¿Cuál será el costo total de llevar inventarios por cada hora de producción de X, Y y Z cada día? Si suponemos que todos los trabajadores trabajan al 100% de nivel de eficiencia, estos costos son como siguen:

	X	Y	Z
1. Ratio de estándar horario de producción	50	40	30
2. Costo inventario/ unidad/período\$	0.03	0.05	0.07
3. Costo de trasladar 1 hora de producción de un período al siguiente [(1)y(2)]	1.50	2.00	2.10

Luego por ejemplo, si el ejecutivo programa 10 horas de producción de X en el Período 2 para alcanzar la demanda para él esperada en el Período 3, el costo de inventarios para X será:  $10 (\$ 1.50) = \$ 15.00$

Finalmente, es relevante en el planeamiento de producción los costos de las órdenes de producción no satisfechas. Por cada hora de producción atrasada que está siendo programada y que debe ser reprogramada, estos costos son considerables. Suponiendo que todos los operadores trabajan con los niveles estándares horarios de producción (a 100% de eficiencia) estos costos horarios son:

	X	Y	Z
1. Estándar de producción horario	50	40	30
2. Costo de reprogramación/unidad \$	3.00	4.00	5.00
3. Costo de reprogramación por hora	150.00	160.00	150.00

Debido a que estos costos son los más altos comparados con los otros tres nuestro análisis estará orientado para que el ejecutivo alcance los requerimientos de demanda tanto como sea posible.

## Reglas de Decisión para la Programación de Producción

**Primero:** Los problemas de programación de producción pueden ser mejor visualizados y las pruebas de posibles programaciones facilitadas usando la Matriz de Programación de Productos Terminados,

**Segundo:** Muchas reglas de decisión están disponibles usándolas conjuntamente con la Matriz de Programación, ayudando al ejecutivo en intentar minimizar los costos de producción. Mostraremos estas propuestas usando la demanda hipotética programada para los Períodos 1-9.

El primer paso es indicar el número de horas de producción necesarias para cada producto por cada período de demanda en el ciclo, en la columna de la derecha de la matriz de programación de producción (Fig. 5-3) los cuales han sido calculados de la Fig 5-2. El siguiente paso es usando la matriz, programar las horas de producción de cada máquina, durante cada período del ciclo manteniendo en medio de ambos los requerimientos demandados (en términos de horas de producción necesarias) y la capacidad instalada (12 horas/máquina/día). En la programación diaria de trabajo aconsejamos que se guíen por las siguientes reglas:

**Primero**, el ejecutivo debe planear 'hacia atrás', debido a que las demandas mayores ocurrirán siempre en los últimos períodos del ciclo de tal manera que la producción deberá efectuarse en los períodos iniciales del ciclo.

**Segundo**, debido al alto costo de cada hora de órdenes atrasadas las celdas correspondientes a órdenes atrasadas no serán utilizadas. Por ejemplo, en la Fig. 5-3, hemos excluido la posibilidad de Producción en Período 4-9 para poder alcanzar demandas insatisfechas en el Período 3.

**Tercero**, en la asignación de las celdas de Producción, el ejecutivo deberá intentar evitar costos de ajustes tanto como sea posible de acuerdo de acuerdo con los requerimientos (así como debe tratar de minimizar sobre-tiempo y costos de inventarios como o describiremos). Como ya se indicó (suponiendo salarios normales) los costos de ajuste totales para Z (\$ 51) son los más altos y de X los más bajos (\$ 17). Como se ve en la Fig. 5-3, sólo un costo de ajuste fue necesario en la programación de producción para nuestro estimado de demanda: el ajuste de la máquina 2 para Producto X en el período 9.

**Cuarto**, es posible minimizar los costos de llevar inventarios más los costos de salarios, bajo ciertas condiciones, en SIMPRO, mediante un juego de reglas de decisión que fueron desarrollados por técnicas matemáticas llamadas Programación Dinámica. Para los interesados, una explicación más completa figura en el Apéndice B (para el producto X).

Como una base para comprender el impacto de varias alternativas, de programación en costos de inventarios y salarios, examinaremos primero las relaciones entre estos 2 costos.

Fig. 5-3 Matriz de Programación de Producto Terminado

Periodo	1				2				3				4				5				6				7				8				9				Requerimien- tos totales
Máquina	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Producto	Z	Y	X	Z	Z	Y	X	Z	Z	Y	X	Z	Z	Y	X	Z	Z	Y	X	Z	Z	Y	X	Z	Z	Y	X	Z	Z	Y	X	Z	Z	Y	X	Z	
3	X						6				12																										18
	Y					12				12																											24
	Z				4			4	9			9																									26
6	X											4			6				12																		22
	Y										4			8					12																		24
	Z									4		4	6			7	12			12																	45
9	X						6					8			6								12				12				11	12					67
	Y																					12					12										24
	Z																				12			12	12			12	12			12					72
Horas ajuste																														1						1	
Horas capac. ociosa				8			8	3			3	8	8		8	6	4		5																	61	
Horas Capacidad total	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	384

Una manera en que se puede evitar o reducir los costos de inventarios es usar la capacidad de sobre-tiempo en períodos de decisión cercanos en los que la demanda se venza, por ejemplo, si se necesitan 12 horas para producir X para alcanzar la demanda del Período 3, se pueden alcanzar estos requerimientos programando 4 horas de sobre-tiempo en el Período 2 y elevando inventarios del Período 3. El sobre-tiempo lleva a un pago adicional el que deberá compararse con los ahorros en los costos de inventarios. Una comparación de éstos dos costos por cada hora de producción efectuada al ratio de estándar horario: En la Fig. 5-4 los costos mostrados se derivaron de aquellos desarrollados antes, suponiendo que toda la producción se produce a la tasa estándar horaria. Por ejemplo, estos costos fueron \$ 1.50/hora/día para X, de tal forma que ocurre un ahorro de 3 dólares en los costos mostrados en la Fig. 5-4 si se produce una hora de X dos días antes del ciclo. Un examen de este cuadro indica que la producción en base a sobre-tiempo es siempre menos costosa que la producción hecha en tiempo normal en períodos previos, basados en esta observación la siguiente regla se da:

Fig. 5-4 Análisis de los costos de sobretiempo y de llevar en una base horaria por periodo de producción

		Producción					
		2 días antes a entrega de demanda		1 día antes a entrega de demanda		Período en el que se entrega la demanda	
		RT*	OT <sup>+</sup>	RT*	OT <sup>+</sup>	RT*	OT <sup>+</sup>
X	Salarios regulares	\$2.00	\$2.00	\$2.00	\$2.00	\$2.00	\$2.00
	Costos de llevar inventario	3.00	3.00	1.50	1.50	0.00	0.00
	Costos x sobretiempo	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	Costo horario total	5.00	6.00	3.50	4.50	2.00	3.00
Y	Salarios regulares	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Costos de llevar inventario	4.00	4.00	2.00	2.00	0.00	0.00
	Costos x sobretiempo	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	Costo horario total	6.00	7.00	4.00	5.00	2.00	3.00
Z	Salarios regulares	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Costos de llevar inventario	4.20	4.20	2.10	2.10	0.00	0.00
	Costos x sobretiempo	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	Costo horario total	6.20	7.20	4.10	5.10	2.00	3.00

\*RT = Producción en horario regular +OT = Producción en sobretiempo

"Cuando programe la producción de un período de demanda de 3 días use toda la capacidad disponible, incluso sobre-tiempo, en el día en el cual la demanda se venza primero, y luego trabajar los días precedentes".

El límite de esta regla es el hecho que los operadores deberán cobrar \$ 8.00 por 4 horas de trabajo y aun cuando ellos trabajen menos de 4 horas. Por ejemplo, si las necesidades de producción para Y fueron sólo 12 horas en un período determinado y uno de los operadores fue programado para producir 10

horas en el tercer día y una hora de X en cada uno de los dos días anteriores, el total de salarios y costo de inventarios es como sigue:

Ya ilustradas las relaciones entre costos de inventario y salarios veamos las reglas diseñadas para minimizar la sum de estos costos, considerando la necesidad del pago en salarios de \$ 8.00 por día; si 36 horas o menos son programadas en un período (3 días) y 1 máquina por día, la suma de costos de inventarios y salarios para el producto se minimizará si es programada la producción y lo largo de 3 días para el producto X como sigue:

1. Si la producción necesita 0-4 horas inclusive, ubicar toda la producción en el último día.
2. Si se requiere 5-8 horas, ubicar 4 horas en el tercer día y el resto en el segundo día.
3. Si se requiere 9-12 horas, ubicar 4 horas en el segundo día y el resto en el tercer día.
4. Si se requiere 13-16 horas, ubicar 4 horas en el segundo día y 8 en el tercero y el resto en el primero o en el tercero.
5. Si se requiere 17-19 horas, ubicar 4 horas en el segundo día, un número de 9-12 inclusive en el tercer día y el resto de 1-4 horas en el primer día.
6. Si se requiere 20-28 horas ubicar 12 en el tercero, 4 en el primero y el resto en el segundo.
7. Si se requiere 29-36 horas, ubicar 12 en el tercero, 12 en el segundo y el resto en el primero.

Similares decisiones se tomarán para Y y Z, mostrándose en la Fig 5-5. La aplicación de estas reglas aparecen en la Matriz de la Fig. 5-3. Como se verá de esta matriz, un total de 22 horas se necesitan de producción para X para alcanzar la demanda vencida en el Período 6, aplicándose la decisión 6 de la regla anterior. En la Fig. 5-5 se muestran aplicaciones para Y y Z de esta regla, en donde para Z en el mismo período se necesitan 2 máquinas para alcanzar las 45 horas de producción necesarias, dividiéndose entre las máquinas 1 y 4, siendo las reglas de decisión las siguientes:

Máquina	Requerimien- tos totales	Hrs.1er.día (Período 4)	Hrs.2do.día (Período 5)	Hrs.3er.día (Período 6)
1	22 horas	4	6	12
4	23 horas	4	7	12

Dos observaciones finales. Desde que el ejecutivo comienza la simulación del período 2, la producción puede solamente ser programada los días 2 y 3 del

período. En tal caso, los salarios y costos de inventario serán minimizados por alguna regla de decisión diferente de las mencionadas, las cuales se aplican sólo cuando la producción es programada durante cada uno de los 3 días del período. La regla de sólo 2 de los 3 días que aparece en la Fig. 5-6 puede usarse para estos casos --quizás a causa de los grandes requerimientos de demanda para un producto-- en los cuales el ejecutivo quiere usar un máquina en sólo 2 días para ser usada por otro pedido.

Segundo, enfatizamos que ninguna de las reglas de programación descritas consideran el costo de ajuste. En consecuencia, es aconsejable en algunos casos sacrificar el minimizar salarios y costos de inventarios desviándose de estas reglas para obtener mayores ahorros en costos de ajustes.

Una vez que el ejecutivo de SIMPRO ha programado la producción para el ciclo de demanda siguiendo estas reglas, sugerimos que calcule para cada máquina, cada día, el aumento de capacidad ociosa disponible y las anote en la Matriz de Programación. Estos datos pueden permitirle visualizar formas de mejorar sus programas de producción. Adicionalmente, el conocimiento de la capacidad ociosa le será útil para el control de los productos terminados, que más adelante veremos.

Fig. 5-5 Reglas básicas para la toma de decisiones de programación de producción

**Producto X**

Requerimientos de producción en horas	Asignados a:		
	1er día	2do día	3er día
0 - 4	0	0	0 - 4
5 - 8	0	1 - 4	4
9 - 12	0	4	5 - 8
13 - 16	1 - 4	4	8 - 12
17 - 19	1 - 4	4	9 - 12
20 - 28	4	4 - 12	12
29 - 36	5 - 12	12	12

**Producto Y**

Requerimientos de producción en horas	Asignados a:		
	1er día	2do día	3er día
0 - 4	0	0	0 - 4
5 - 8	0	0 - 4	4 - 8
9 - 11	0	1 - 4	5 - 8
12 - 16	0	4	8 - 12
17 - 23	0 - 4	4 - 8	12
24 - 28	4	8 - 12	12
29 - 36	5 - 12	12	12

**Producto Z**

Requerimientos de producción en horas	Asignados a:		
	1er día	2do día	3er día
0 - 8	0	0	0 - 8
9 - 12	0	1 - 4	8
13 - 16	0	4	9 - 12
17 - 20	1 - 4	4	12
21 - 28	4	5 - 12	12
29 - 36	5 - 12	12	12

Fig. 5-6 Reglas de decisión de programación de producción para dos días

**Producto X**

Requerimientos de producción en horas	Asignados a: 1er y 2do día o 2do y 3er día	
0 - 4	0	0 - 4
5 - 8	1 - 4	4
9 - 16	4	5 - 12
17 - 24	5 - 12	12

**Producto Y**

Requerimientos de producción en horas	Asignados a: 1er y 2do día o 2do y 3er día	
0 - 4	0	0 - 4
5 - 8	0 - 4	4 - 8
9 - 11	1 - 4	4 - 8
12 - 16	4	8 - 12
17 - 24	5 - 12	12

**Producto Z**

Requerimientos de producción en horas	Asignados a: 1er y 2do día o 2do y 3er día	
0 - 8	0	0 - 8
9 - 12	1 - 4	8
13 - 16	4	9 - 12
17 - 24	5 - 12	12

## **Planeamiento para los Ciclos Siguintes**

Existen dos modificaciones menores, necesarias, para usar estas técnicas en los siguientes ciclos.

Primero el ejecutivo desarrollará todos sus planes de productos terminados para los siguientes ciclos, al menos un período antes del comienzo del ciclo. Esto es, los planes finales para el período 10-18 deberán hacerse antes de la decisión del Período 9, etc. Esto se debe a que el planeamiento de productos intermedios de la empresa debe basarse en las necesidades de producto terminado del período siguiente.

Segundo, en el planeamiento de producto terminado para el primer ciclo de demanda, sugerimos restar el inventario disponible al comienzo del período 2, para determinar el número de unidades necesarias en el primero de los ciclos de 3 días. Para el planeamiento de los ciclos siguientes recomendamos suponer un inventario de producto terminado por cada producto para el primer período del ciclo de cero unidades. Esto se debe a que:

1. Al planificar un período anticipado, como lo sugerimos, los inventarios iniciales para el primer período en cada ciclo siguiente no se conocerán con certeza pero,
2. Si los procedimientos de control de producción (que se describirán en la siguiente sección) son seguidos, los inventarios finales para cada producto estarán en niveles bajos al comienzo de cada nuevo gran ciclo de 9 días.

## **Control de Producción (Productos Terminados)**

El plan de producción desarrollado en la matriz, y las ventas estimadas bajo el cual fue formulado, causarán el nivel planeado de inventarios de productos terminados al final de cada día del ciclo para cada producto conforme se efectúa la producción (y/o se desvía la demanda actual del pronóstico); sin embargo, los niveles de inventario pueden exceder o ser menores que lo planeado. En consecuencia, el ejecutivo de SIMPRO puede tener que enfrentarse a: (1) niveles excesivos de inventarios, los cuales aumentarán los costos, o (2) inventarios menores que el número necesario para satisfacer la demanda. Para ayudar a resolver estos potenciales problemas es deseable establecer algunos procedimientos para el control de la producción.

Como medio de control sugerimos que el ejecutivo (1) establezca los niveles diarios deseados de inventarios finales para cada producto y, luego, (2) revise su programación para los días futuros, si los inventarios finales que consiga se desvían de los niveles deseados. En esta sección describiremos un conjunto de procedimientos para controlar producción terminada, la cual aunque no llegue a "optimizar" en términos de minimización de costos, ayudarán a alcanzar control satisfactorio.

Establecimiento de los niveles diarios de inventarios deseados --el primer paso- por cada producto, cada día, durante los 9 días del ciclo, es convertir la producción planeada en horas (de la matriz) en unidades de producción planeadas. Esto se consigue:

1. Multiplicando las horas programadas por día por el ratio estándar horario y luego
2. Multiplicar este producto por el promedio de eficiencia del operador por día. Estos cálculos están dados en la Fig. 5-7: Forma de Control de Producción de Productos terminados SIMPRO.

Una vez que se obtienen estas unidades para cada producto, sugerimos que desarrolle diariamente niveles de producción aceptables mínimos, dividiendo la producción planeada por el factor de seguridad visto anteriormente. Con un factor de seguridad del 15%, dividiendo la producción en unidades (Columna 4, Fig. 5-7) por 1.15. Ejemplo: Producto x Período 2 =  $618/1.15 = 538$  unidades. La diferencia entre la producción planeada y la mínima aceptable es el stock de seguridad deseado para el período.

Para establecer los niveles de inventarios deseados al fin del período, recomendamos los siguientes pasos:

1. Tomar el inventario final establecido para el período anterior (Columna 9, Fig. 5-7) o en Período 2, inventario final actual para el Período 1 de los datos impresos del computador de la empresa.
2. Agregar el mínimo aceptable de producción para el presente período, como se mostró para Producto Y Período 2-9 en Columna 6, Fig. 5-7.
3. Luego agregar la diferencia entre el stock de seguridad deseado para el presente período y el anterior.
4. Finalmente, restar de esos días en los cuales la demanda se vence (Períodos 3, 6, etc.) la demanda anticipada.

Por ejemplo, el inventario final deseado para el Producto X en el Período 4 de la Fig. 5-7 es igual a:  $360 + 595 + (89 - 80) - 0$  ó 964 unidades.

Una vez que los niveles deseados han sido establecidos, sugerimos ver al final de cada producto para cada período (Columna 10 Fig. 5-7) los niveles de inventarios finales obtenidos por la empresa de las empresas del computador. Comparándolos permitirán al ejecutivo tomar acciones correctivas (reprogramando) para los períodos futuros, lo que se verá un poco más adelante. Existen algunas observaciones adicionales:

1. Sugerimos que los datos de la Fig. 5-7 se desarrollen para cada producto para los 9 días del ciclo anterior para tomar una decisión para el Período 2. Aunque puede modificar alguno de sus planes de producción para el ciclo, conforme la simulación progresa, sus planes iniciales "estarán fuera de control",

y el desarrollo de estos datos le darán un plan de control maestro para el ciclo, dándole una visión panorámica de las operaciones completas en el ciclo.

2. Recomendamos desarrollar datos de control de producción cíclicos maestros para cada ciclo de 9 días después del primer período y al menos uno adelantado. El razonamiento es similar al anterior para productos intermedios ya vistos.

Fig. 5-7 Formato de Análisis de Ahorros por Entrenamiento

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Produc. Planeada Horas	Tasa estándar de Prod.	Eficienci a Promedi o Operador	Produc. Planeada Unidades (1)x(2)x(4)	Factor de seguridad	Prod. Mínima aceptabl e  (4)/(5)	Stock de segurida d  (4)-(6)	Demand a Planeada Unidades	Inventario Final deseado $(9)_{p-1} + (6)_p$ $+ \Delta (7)-(8)_p$	Inventari o Final Obtenido	Producción Mínima aceptable revisada $(9)_p + (8)_p -$ $(10)_{p-1}$	Producció nEn unids. Revisada  (11) x (5)	Prod. En horas revisada  $(12)/$ $[(2) x (3)]$
1							0	0	413	413			
2	12	50	1.03	618	1.15	538	80	0	1031	1082*			
3	12	50	1.03	618	1.15	538	80	1209	360		487*	560*	11*
4	12	50	1.14	684	1.15	595	89	0	964	912*			
5	12	50	1.14	684	1.15	595	89	0	1559		647*	744*	13*
6	12	50	1.14	684	1.15	595	89	1100	1054				
7	12	50	1.20	720	1.15	626	94	0	1685				
8	12	50	1.20	720	1.15	626	94	0	2311				
9	12	50	1.20	1380	1.15	1200	180	3500	97				

\* Valores de carácter ilustrativo solamente

### Acción Correctiva:

Si los inventarios son demasiado altos se incurrirán en altos costos de inventarios, mientras que inventarios menores pueden tener como consecuencia demanda insatisfecha. En el formato, de la Fig. 5-7 las columnas 11, 12 y 13 son las previstas para calcular los planes de producción revisadas. Los pasos a seguir para tomar la acción correctiva son:

1. Tomar el inventario final deseado, planificado para el presente período Columna 0, Fig. 5-7.
2. En los días en que la demanda es insatisfecha, sumar la demanda.
3. Restar el inventario final actual del período previo.
4. Para mejorar nuestra chance de disminuir el inventario a los niveles deseados, sugerimos programar más unidades que las mismas aceptables, esto es el factor de seguridad que ya se ha mencionado.

5. Dividir estos requerimientos (los cuales incluyen el factor de seguridad) entre el ratio promedio de producción asumido para el período. El resultado de estos cálculos son los requerimientos de producción revisados para el período expresado en horas.

Por ejemplo, si al fin del Período 2 el actual inventario final de X es 1082 unidades y sólo deseamos como inventario 1031 (Fig. 5-7), los requerimientos de unidades de producción revisados para el período 3 pueden ser calculados:

Requerimientos de Unidades de producción =  $1.15 (\text{Inventario final deseado} + \text{demanda} - \text{inventario final actual})$ .

Para el Período 3 =  $1.15 (360 + 1209 - 1082) = 560$  unidades.

Siendo el promedio horario para el Período 3 de 51.5 unidades para X los planes de producción revisados en horas serán  $560/51.5=10.9$ . Los inventarios finales deseados originalmente para el Período 3 serán mantenidos reduciendo la producción 1 hora para este período a 11 horas.

Para el caso opuesto, supongamos que al final del Período 4 el inventario final de X es 912 unidades siendo el inventario deseado 964 (Fig. 5-7). Para este caso la revisión de la producción para el Período 5 será:

$1.15 (1559 + 0 - 912) = 744$  unidades.

Luego el promedio de producción horario para el Período 5 es de 57 unidades/hora para X, por lo tanto  $744/57=13$ ; esto representa una hora más que las 12 planeadas, sin embargo, esto no es posible ya que la capacidad máxima es 12 horas. Lo que se puede hacer en este caso, es asignar un operador más eficiente que para este caso debería de tener una eficiencia de 124%:  $744 \text{ unidades} / 12 \text{ horas} = 62 \text{ und/h}$ .  $62 \text{ unid/hora} / 50 \text{ unid/hora (100\% eficiencia)} = 124$ . Si no existe este trabajador otras acciones se deberán tomar.

El ejecutivo de SIMPRO puede, por ejemplo, aplicar un "programa de emergencia" con respecto a gastos en Control de Calidad y Mantenimiento de Planta como un esfuerzo para reducir el número de rechazos de la Línea 2 y 10 la probabilidad que ocurran desperfectos en las máquinas, para este caso habrá un mayor gasto de dinero, que se discutirá en los capítulos 7 y 8. Estos programas se verán bajo técnicas de análisis de tal manera que su costo sea menor que el de quedarse sin stock.

Otra acción posible es la de resignar la maquinaria, lo que resulta en un costo y tiempo mayor de ajuste reduciendo la capacidad disponible de producción, resultando como consecuencia una necesidad mayor de sobre-tiempo, pudiendo esto también originar problemas de inventarios a futuro del producto que se deja de fabricar. Seguidamente ilustraremos este caso:

1. La producción de X en el primer período fue inadecuada y se incurrirá en una penalización de demanda en el Período 3.

2. Con una demanda insatisfecha arrastrada, el ejecutivo determina la producción de tres horas adicionales de X para ayudar a alcanzar los objetivos de la Empresa programados para el Período 6 y 9.

3. Los planes originales para el período 4-6 son los mostrados en la Matriz Fig. 5-3 (su resumen se muestra en la Fig. 5-8).

Como se observa en estos datos en la máquina 3, en que se programa X, trabaja a capacidad total (12 horas) en el período 4-6, de tal forma que no se pueden programar horas adicionales. Además todas las otras máquinas de la Línea 2 y Período 6 trabajan a capacidad total, eliminando la posibilidad de horas adicionales en este período, lo que se puede hacer es revisar los planes de los Períodos 4 y 5, asignando producción adicional de X, en lugar de Z en la máquina 1 Período 4 y al mismo tiempo, incrementar la producción de Z para compensar este cambio. Esta re-asignación se muestra en la Fig. 5-8 , notando que:

1. Los planes revisados incrementan la producción X en 3 horas en el Período 1 pero Z se reduce 4 horas, necesitándose además 1 hora de tiempo de ajuste en la Máquina 1.

2. En el Período 5, las 4 horas de producción de Z dejadas de hacer en el Período 4 son re-asignadas, pero se requieren 3 horas de ajustes y el total de horas programadas se incrementará en 7 (3 normal y 4 de sobre-tiempo).

Fig. 5-8

**Ejemplo de transferencia de un producto a una máquina diferente con propósitos de control**

Periodo	Plan original (de Fig. 5-3)					Plan revisado					
	Máquina	Producto Programado	Horas Programadas	Tiempo de Ajuste	Capacidad no Utilizada	Máquina	Producto Programado	Horas Programadas	Tiempo de Ajuste	Capacidad No Utilizada	Horas de producción Adicionales obtenidas
4	1	Z	4	0	8	1	X*	4*	1*	8	3
	2	Y	4	0	8	2	Y	4*	0	8	0
	3	X	12	0	0	3	X*	12	0	0	0
	4	Z	4	0	8	4	Z	4*	0	8	0
5	1	Z	6	0	6	1	Z	12*	3*	0*	3
	2	Y	8	0	4	2	Y	8	0	4	0
	3	X	12	0	0	3	X*	12*	0	0*	0
	4	Z	7	0	5	4	Z	8*	0	4*	1
6	1	Z	12	0	0	Nada					
	2	Y	12	0	0						
	3	X	12	0	0						
	4	Z	12	0	0						

\* Indica cambio del plan original

El efecto neto de la transferencia de costos asumiendo un operador normal (100% de eficiencia) se muestra en la Fig. 5- 9. No puede ser totalmente determinado si tales costos se justificaran en términos de efectuar una reducción de costos por faltantes, desde que en su magnitud influenciarán los productos rechazados y las fallas de máquina.

### **Planeamiento y Control de Producción en Proceso**

Los pasos básicos son similares a los ya discutidos, sin embargo hay 2 diferencias fundamentales:

1. Como ya se dijo en el Capítulo 2 en un día dado se puede tener producción de insumos, de un inventario inicial y de insumos ordenados previamente que llegan durante el día. La producción del producto final puede efectuarse del producto en proceso ya elaborado teniendo en inventario inicial al comienzo del día y no productos en proceso elaborados el mismo día. Esta última posibilidad es la segunda diferencia existente entre productos en proceso y terminados. Mientras que las necesidades de producto terminado se dan cada tres días, los objetivos de planeamiento de productos en proceso son:

"Producir suficiente producto en proceso en un día dado de tal forma que los objetivos de la empresa de producto terminados sean alcanzados el día siguiente"

Veamos ahora el primer paso básico para el planeamiento de productos en Proceso.

### **Determinación de las Necesidades Diarias de Producción**

Tomando X' como ejemplo, y efectuando los cálculos necesarios llegamos al número de horas de producción requeridas. De la Fig. 5-7.

1. Basándose en las necesidades de producto terminado de los productos en proceso dados en la Fig. 5-7 y

2. Asumiendo la eficiencia promedio diaria del operador en el Período 1-9 se hacen los cálculos para X' mostrados en la Fig. 5-10. Sugerimos que el ejecutivo de SIMPRO anticipe lo más posible en días este desarrollo para productos en proceso. Como se muestra es posible efectuar un plan inicial hasta el Período 8 ya que el 9 debe ser diseñado para alcanzar el objetivo del período 10 de producto terminado, lo cual sólo se sabrá cuando se complete el proyecto para el segundo ciclo de demanda; por eso recomendamos planificar para el período 10-18 antes de decidir para el período 9.

Los procedimientos para planear la producción en proceso para Z e Y son similares a X Fig. 5-11. Como se observa en la Fig. 5-10, es una secuencia de cálculos simples; explicaremos a continuación el razonamiento y mecánica de estos cálculos.

En un período dado, el ejecutivo de SIMPRO planeará la producción de un número de unidades de producto terminado, los cuales serán "sacados" del sistema de la empresa para su uso en este período, por ejemplo, tomados del inventario inicial de productos en proceso. Este número de unidades para X' período 2-9 está indicado en la Columna 1, Fig. 5-10.

Fig 5-9

**Análisis del costo de transferencia de productos a otra máquina \***

Incremento en costos

Ajustes		
	Producto X en Periodo 4	\$17,00
	Producto Z en Periodo 5	<u>51,00</u>
	Total costo de ajuste	\$68,00
Sobretiempo		
	4 Horas produciendo producto Z en Periodo 5	4,00
Costos de llevar		
	Tres horas de X llevados	
	En Periodos 4 y 5: $\$1.50 \times 3 \times 2$	<u>9,00</u>
Total de incremento en costos		\$81,00

Reducción en costos

Costos de llevar +		
	4 horas de Z llevados sólo	
	En Periodo 5 en vez de en Periodos	
	4 y 5: $\$2.10 \times 4 \times 1$	<u>8,40</u>
Total de reducción en costos		8,4
Incremento neto en costos		\$72,60

\* Basado en re-programación mostrada en Fig. 5-8

+Basada en la suposición que la eficiencia de todos los obreros es de 100%

El ejecutivo querrá también tener algunas unidades de X' al final de cada período para abastecer al siguiente (Columna 2). Recomendamos al igual que para producto terminado se tenga un margen de seguridad (Columna 3, Fig. 5-7) siendo para este caso 100%, es mejor que el anterior debido ya que en la Línea 1 no pueden ser rechazados pero sí en la Línea 2. Se puede utilizar un factor mayor o menor que el 10%. Adicionando este factor de seguridad en la planificación de producto terminado para el siguiente período alcanzaremos los niveles de inventario de X' deseados para el actual período o para satisfacer las necesidades de producto terminado del día siguiente (Columna 4). Luego añadiendo estas necesidades para el siguiente período de productos en proceso los cuales se espera que sean consumidos por el sistema en el período (Columna 1), darán los totales de necesidades de productos en proceso para el período actual (Columna 5).

El siguiente paso de la hoja de trabajo es restar el número de unidades de inventario inicial de productos en proceso del total del período para tener el número de unidades a ser producidas en el mismo período. Como vemos Fig. 5-7 (Columna 6) el inventario inicial del Período 2 es igual al inventario final del Período 1, mientras en los períodos siguientes se usarán los inventarios finales deseados planificados por la empresa para el período previo (Columna 4).

Finalmente, estas unidades se pueden convertir en horas de producción necesarias para el día: (1) multiplicando la eficiencia promedio del operador para el día por el ratio estándar de producción para el producto dado, en promedio horario de producción y luego (2) dividir las unidades requeridas por este ratio. Estas unidades para nuestro ejemplo se muestran en las columnas 8-11, Fig. 5-10.

Una vez determinadas las necesidades horarias para cada producto será necesario efectuar la programación diaria de producción.

### Programación de Productos en Proceso

Costos relevantes.- Al igual que para productos terminados existen una serie de consideraciones a tener en cuenta. Los principales costos son iguales que para los productos terminados:

1. Salarios del operador
2. Costos de ajuste

Los costos de inventario en base horaria son diferentes ya que el costo de productos en proceso es menor en cada uno de los productos. Si asumimos que los operadores trabajan con una eficiencia del 100%, estos costos por hora serán:

	X'	Y'	Z'
1. Ratio de producción			
Horario estándar	50	40	30
2. Costo inventario/ unidad/período	\$ 0.02	0.03	0.04
3. Costo de una hora de producción de inventario de un período para el siguiente[(1) x (2)]	1.00	1.20	1.20

Fig. 5-10 Hoja de trabajo para la programación de productos en proceso (intermedios)

Producto 'X'

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Periodo	Unid. Prod. Final Plan. necesarias periodo actual *	Prod. final planeado periodo siguiente	Stock seguridad periodo siguiente (2)x(10%)	Inventario final deseado para cubrir necesidades producto terminado siguiente periodo (2)+(3)	Necesidades totales de producción productos en proceso para periodo actual (1)+(4)	Invent. final planea. periodo actual [(4) <sub>p</sub> ]	Producción planeada productos intermedios cubrir necesidades periodo actual (5)-(6)	Efic. en promedio de operador	Tasa de producción estándar	Tasa de producción promedio (8)x(9)	Horas requeridas (7)x(10)	
2	618	618	62	68	1,298	711**	587	1.03	50	51.5	11	
3	618	684	69	753	1,371	680	691	1.03	50	51.5	13	
4	684	684	69	753	1,437	753	684	1.14	50	57	12	
5	684	684	69	753	1,437	753	684	1.14	50	57	12	
6	684	720	72	792	1,476	753	723	1.14	50	57	13	
7	720	720	72	792	1,512	792	720	1.20	50	60	12	
8	720	1,380	138	1,518	2,238	792	1,446	1.20	50	60	24	
9	1,380	No se puede determinar hasta que las necesidades del producto final para el 2do ciclo de demanda sean establecidos					1,518	?	1.20	50	60	?

\* De la figura 5-7

\*\* del resultado del Periodo 1, Fig.2-5 (Inv. Final)

Finalmente, mencionaremos que no hay costo de órdenes no satisfechas, directamente asociados con fallas de producción a un nivel dado de productos en proceso, para un día particular, desde que la penalización por demanda, sólo se incurre cuando la producción de productos terminados es menor que lo requerido por la demanda, sin embargo (1) la falta de producto en proceso al término del día para iniciar la producción de producto terminado del día siguiente puede dar como resultado que se incurran en dichos costos y (2) como se indicó los costos de reprogramación son más altos (\$ 150/hora para X, \$ 160 por hora para Y y \$ 150 por hora para Z), luego para ver la magnitud de estos costos, nuestras técnicas de planeamiento de productos en proceso debe ser aplicado, de tal forma que abastezcan de modo suficiente las necesidades de producto terminado.

### Reglas de Decisión para la Programación de Producción

Al igual que para la producción anterior se puede hacer uso de una matriz, Fig. 5-12, siguiendo ciertas reglas de decisión.

El primer paso es programar la producción indicando el número de horas necesarias para cada producto cada día en la columna de la derecha de la matriz, Fig. 5-12 que vienen dadas en la Fig. 5-10 y 5-11. Sin embargo los requerimientos finales del primer período no se conocerán hasta que no se sepa la planeación del siguiente ciclo de demanda. Es por esto que la planificación en la Fig. 5-12 sólo abarcan el período 2-8.

Fig. 5-11 Requerimiento diario de producción horaria para los productos X y Z

Periodo	Producción planeada en unidades de productos terminados para el periodo		Número de horas de salida de productos en proceso en el periodo	
	Y	Z	Y	Z
2	495	248	12	18
3	495	557	4	8
4	183	274	8	14
5	365	445	13	25
6	548	821	12	25
7	576	864	12	24
8	576	864	0	24
9	0	864	aún no puede ser determinado	

El siguiente paso es usar la matriz de programación, para determinar el número de horas de producción de cada producto a ser asignada a cada máquina cada día para poder alcanzar los requerimientos de producto terminado del día siguiente. También se deben tomar en cuenta los objetivos de la empresa de minimizar los costos tanto como sea posible, teniendo en cuenta las limitaciones de 12 horas de capacidad de cada máquina de la Línea 1.

Fig. 5-12 Matriz de Programación de Productos en Proceso

Periodo	1				2				3				4				5				6				7				8				9				Requerimien- tos totales								
Máquina	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4									
Producto	X	Y	Z	X	X	Y	Z	X	X	Y	Z	X	X	Y	Z	X	X	Y	Z	X	X	Y	Z	X	X	Y	Z	X	X	Y	Z	X	X	Y	Z	X									
1																																													
2					11																																								11
3									7			6																																	4
4												12																																	8
5																12																													12
6									1																																				12
7																																													12
8												1																																	12
9																																													12
Horas de ajuste								3				1				3																													8
Capacidad no usada					1		2	1	4	8	4	4	3	2	3																														32
Capacidad total	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12					336

Existen reglas de decisión para ayudar en esta programación:

1. El gerente debe programar "hacia atrás".
2. Basados en que la firma siempre alcanzará a cubrir la demanda de Productos Terminados del día siguiente, no se consideran el uso de las celdas correspondientes en la matriz para cortar incongruencias.
3. Es fácil de reconocer por el ejecutivo como evitar los ajustes, tanto como sea posible, sabiendo que para Z' son los más costosos y para X' los más baratos.
4. Las reglas de decisión son hechas para tratar de minimizar la suma de costos de salarios e inventarios. Esta regla es más sencilla ya que los objetivos son para alcanzar la demanda del día siguiente, en lugar de los tres días que se deben tomar en cuenta para el producto terminado. Además no se incluye el costo variable de ajuste y son basados asumiendo que la eficiencia promedio del operador es 100%.

Con respecto a estas reglas ciertas observaciones deben hacerse. Primero en algunos casos el ejecutivo se verá en la necesidad de producir más unidades de las necesarias para los objetivos de Producto terminado inmediato, adelantado para uno o más períodos debiendo tomarse en consideración los costos de salarios e inventarios. Eso es debido a que las necesidades para futuros períodos pueden exceder la capacidad no sólo de este período sino de otros futuros. Por ejemplo, en la Matriz Fig. 5-12, 13 horas de X' son necesarias en el Período 6 para alcanzar los objetivos del Período 7 de producto final. Con una programación de X' en una máquina del Período 6 (12 horas) no se alcanzarán los objetivos. Además la Máquina 1 (para X') trabaja a capacidad completa en los períodos 4 y 5, luego debemos programar la hora trece de productos en proceso X' para satisfacer las necesidades del Período 6 de la Máquina 1 en el Período 3, en el cual hay capacidad disponible.

Segundo, se puede contemplar la posibilidad de programar en períodos anticipadamente, para disminuir costos de sobre-tiempo. Si asumimos que se trabaja a un 100% de eficiencia, se puede establecer:

"Los cambios de producción en períodos previos tomando como base tiempo normal nunca es menos costosa que la programación en el período actual en base a sobretiempos debido al incremento de costos de inventario que ocurren", Fig. 5-13.

Sin embargo, a veces es menos costoso producción adelantada para tener capacidad que cuando el trabajador programado trabaja menos de 4 horas en un máquina en un determinado día. Cuando la planificación elevada a 1 base parecerá raro pero esta necesidad dará 40 menos horas de X', Y' y Z' deberán programarse en una máquina al menos 2 días consecutivos. Por esta razón limitaremos nuestra inquietud a la siguiente pregunta:

¿Cuándo 5-12 horas de producción de algunos de los productos son planeados para programarlos en 1 día pero menos de 4 horas en el día anterior, es menos

costoso para el ejecutivo revisar sus planes para cambiar una o más horas programadas para el día de hoy por el anterior?

Fig. 5-13 Análisis de los costos de sobretiempo y costos de llevar inventarios de productos en proceso en una base horaria por periodo de producción

		Producción					
		2 días antes a entrega de demanda		1 día antes a entrega de demanda		Período en el que se entrega la demanda	
		RT*	OT <sup>+</sup>	RT*	OT <sup>+</sup>	RT*	OT <sup>+</sup>
X	Salarios regulares	\$2.00	\$2.00	\$2.00	\$2.00	\$2.00	\$2.00
	Costos de llevar inventario	3.00	3.00	2.00	2.00	1.00	1.00
	Costos x sobretiempo	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	Costo horario total	5.00	6.00	4.00	5.00	3.00	4.00
Y	Salarios regulares	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Costos de llevar inventario	3.60	3.60	2.40	2.40	1.20	1.20
	Costos x sobretiempo	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	Costo horario total	5.60	6.60	4.40	5.40	3.20	4.20
Z	Salarios regulares	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Costos de llevar inventario	3.60	3.60	2.40	2.40	1.20	1.20
	Costos x sobretiempo	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
	Costo horario total	5.60	6.60	4.40	5.40	3.20	4.20

La respuesta es siempre afirmativa para todos los productos, sujeto a:

1. Si un producto es programado 8-12 horas en el período actual, pero menos de 4 en el día anterior, deberemos transferir al día anterior el número mínimo de horas que excedan a 4.
2. Si un producto es programado de 5-7 horas en el período actual pero menos de 4 en el día anterior, trasladar el número de horas al día anterior de tal manera que el período actual estos permanezcan siendo como mínimo 4 horas programadas.

Estas reglas son basadas asumiendo el 100% de eficiencia del trabajador y sin costo de ajuste de máquinas.

Sugerimos que una vez completada la programación, se debe estimar el número de horas de capacidad ociosa por máquina, por día, para que pueda visualizar mejoras así como para controlar la producción.

## Control de la Producción

Los problemas son similares a los de control de la producción de producto terminado: Los inventarios finales del día pueden variar con respecto a lo planeado, debiendo tomarse acciones correctivas. Estos procedimientos no optimizan la minimización de costos pero ayudan a control satisfactoriamente. Estos procedimientos difieren del anterior (P. Terminado) en :

(1) Necesidad de tener diariamente la producción requerida y (2) lo que está produciendo no podrá utilizarse sino hasta el día siguiente. Los dos pasos básicos usados para Producto Terminado para corregir los niveles de inventarios son similares para Productos en Proceso.

### Establecimiento de Niveles de Inventario Deseado

El primer paso es muy similar al de Producto Terminado -- convertir lo planeados en horas a unidades. En contraste con el anterior para este caso se necesita esta conversión para los primeros 8 períodos de cada ciclo, desde que el planeamiento para el último día del ciclo no se puede tener hasta conocer las necesidades del primer día del siguiente ciclo.

La conversión de horas a unidades para X' para Período 2-8 usando los mismos datos de los ejemplos previos, están en la Fig. 5-14. Como se puede observar, la producción planeada en unidades para un día dado (como en control de producto terminado) es igual a: Producción planeada en horas x Ratio estándar x Eficiencia promedio del operador.

Una vez establecidas las unidades de inventario final por producto se procede de la siguiente manera:

1. Sumar la producción planeada en unidades al inventario final deseado por el producto del período previo. Esto dará el total planeado de unidades obtenibles durante el día, asumiendo que el inventario final deseado del día anterior fue el planificado (si no se deben de tomar acciones de control).

Por ejemplo, Fig. 5-4 Producto X', sumando el Período, el inventario final de 711 unidades a la producción planeada de 576 unidades el Período 2 dará 1,278.

2. Luego se restarán las unidades que se lleven a Producto Final. Por ejemplo en el Período 2 se usarán 618 X' luego el inventario final deseado es de 660 unidades (Columna 6, Fig. 5-14).

Tres indicaciones pueden hacerse:

1. Las unidades usadas en cada período representan las unidades de producción deseadas para el final del período y se pueden tomar de Columna 4 del Formato Control de Producción de Producto Terminado SIMPRO.

2. Asumimos que los inventarios finales de la empresa "Actuales" para el período previo es igual o mayor que los usados en el Período 1, sólo 500

unidades se pueden haber tomado, que son menos que las 618 que necesitaba la empresa de Producto Terminado al final del Período 2.

3. Se ve en la Fig. 5-14 que nuestro inventario final deseado para X' al final del período 3-7 es considerablemente mayor de lo necesario para el siguiente período (660 Período 2 Vs. 618 Período 3). La razón es debido a las limitaciones de capacidad, debiendo programarse anticipadamente X' para alcanzar los objetivos en períodos posteriores. Se ve en la Fig. 5-12 que en el Período 3 se ha programado 1 hora de X' necesaria para el Período 6 y 1 hora para el Período 8.

Fig. 5-14

**Formulario para el control de producción de productos intermedios**

Producto X'

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Producción Planeada En horas	Tasa Estándar de Salida	Eficiencia Promedio del Operador	Producción Planeada En Unidades (1)x(2)x(3)	Productos Intermedios Usados en el Periodo	Inventario Final Deseado (6) <sub>p-1</sub> +(4) <sub>p</sub> -(5) <sub>p</sub>	Inventario final Real del Reporte de Resultados	Producción Revisada en Unidades (6) <sub>p</sub> +(5) <sub>p</sub> -(7) <sub>p-1</sub>	Producción Revisada en Horas (8)/(2)x(3)
1						711	711		
2	11	50	1,03	567	618	660			
3	15	50	1,03	773	618	815	900*		
4	12	50	1,14	684	684	815	760*	599*	10.5*
5	12	50	1,14	684	684	815		739*	13.0*
6	12	50	1,14	684	684	815			
7	12	50	1,20	720	720	815			
8	23	50	1,20	1380	720	1475			
9					1380				

\* Estas son cantidades hipotéticas usadas con propósito ilustrativo

**Acción Correctiva.**-- Si los niveles inventarios son demasiado altos, se incurrirán en costos excesivos, pero demasiado bajos, pueden ocasionar una disminución en la fabricación de productos terminados no alcanzando a cubrir la demanda, incurriendo en costos por falta de productos.

Si los niveles de inventario finales en un período se desvían de los niveles deseados ya establecidos la producción planeada para el período siguiente puede ser revisada las Columnas 7, 8 y 9 del Formato de la Fig. 5-14 han sido hechas para el proceso de cálculo de la revisión de los planes de producción si es necesario los pasos a seguir para revisar los planes de producción para el siguiente día en el caso de desviación de los niveles deseados de inventarios son:

1. Tomar el inventario final planificado para el período actual, Columna 6 Fig. 5-14.
2. Sumar el número de unidades planeadas para el período (Columna 5). Esta suma nos dará las necesidades de inventario total deseado al final del período actual. Por ejemplo, ambos el necesario como inventario final para el siguiente período y el que es planeado serán trasladados para ser usados durante el día en producto terminado.
3. Restar ahora de esta suma el inventario final de producto en proceso del día anterior, es decir, la disponibilidad de producción intermedia al principio del periodo actual. Esta resta proveerá el número de unidades a ser producida en el día trayendo el inventario final a los niveles planeados deseados. Por ejemplo, si el inventario final de X' en el Período 3 son 900 (diferentes de las 815 planificadas) con ésta en la Fig. 5-14 y revisando las cantidades requeridas para el Período 4 se pueden hacer los siguientes cálculos:

Unid. Producción Requeridas = Inv. Final Deseado + Salida de Inventario para Producto Terminado (p) - Inventario Final del Día (p-1);

donde:

p = día actual, y  
p.1 = día anterior

Reemplazando valores U.P.R. para Período 4 =  $815 + 684 - 900 = 599$  unidades.

Se recomienda como para los productos terminados, que estos requerimientos de unidades revisadas se conviertan a horas de producción revisadas requeridas. Esto se consigue dividiendo las unidades requeridas (599 unidades en nuestro ejemplo) entre el promedio horario de producción del día. Asumiendo una eficiencia del operador de 1.14 en el Período 4, Fig. 5- 14 y siendo el estándar horario para X' 50 unidades, las unidades revisadas en horas sería:

$$\frac{599}{50 \times 1.14} = 10.5 \text{ horas}$$

Como se deben programar horas enteras, éstas serán 11 horas para el Período 4 (originalmente se habían programado 12), permitiendo mantener el nivel de inventario final deseado de 815 unidades en el Período 4.

Este mismo procedimiento se puede efectuar para la figura opuesta de nivel inventario en suficientes. Un ejemplo de este tipo se muestra e la Fig. 5-14.

El inventario final de X', Período 4 es 760 unidades y son deseados 815, revisando las unidades requeridas del Período 5 =  $815 - 760 = 55$  y con el ratio de producción horaria de 57 ( $50 \times 1.14$ ) la producción revisada planeada será de  $55/57 = 1$ , luego se necesitará 1 hora más de producción en el Período 5 para mantener el nivel de inventario final deseado. Si menos de 12 horas de X' han sido originalmente programadas en la Máquina 1 (Fig. 5-12) simplemente se agregará una hora más de producción, pero como para nuestro ejemplo la capacidad está copada no será posible, por lo tanto, se deberá optar por otras alternativas de control:

1. Re-asignar un operador más eficiente a la Máquina 1 del Período 5 si existiera, sin que su transferencia haga peligrar la producción de otro producto en la Línea 1 ó en la Línea 2, en nuestro ejemplo necesitaríamos:  $55 / 12$  unidades hor/capc necesarias = 4.5833 unid / hora, siendo su eficiencia  $4.5833 / 50 = 9.1666 \%$ .
2. Estableciendo un programa de emergencia con respecto a mantenimiento de Planta (el programa de control de calidad no causa ningún efecto, desde que no ocurren rechazos en la Línea 1 por ser producto en proceso).
3. Re-asignado, si es posible, otra máquina originalmente programada para otro producto en la Línea 1 (en los cuales haya inventarios en exceso o estén bajo control), al producto que vaya a tener menos inventario que los deseados.

Estas dos alternativas ya fueron vistas en la discusión de producto terminado.

## RESUMEN

El problema central para gerenciar las operaciones de SIMPRO radican en el planeamiento y control de la producción de productos en proceso y producto terminado de tal manera que se alcancen la demanda programada de la empresa. En este capítulo se han visto una serie de procedimientos para efectuar el planeamiento y control. Estos procedimientos establecen primero el control y planificación del producto final para alcanzar los programas deseados por la empresa para un ciclo de demanda de 9 días. Una vez desarrollado este proceso se diseña la producción y control de productos en proceso (intermedios) de tal forma que abastezcan las necesidades de producto terminado diariamente.

### III. ADQUISICIÓN DE INSUMOS (MATERIALES)

Un objetivo básico del ejecutivo de SIMPRO es la de tener suficiente cantidad de insumos para alcanzar la producción programada, si no se alcanzan estos programas la eficiencia de la Empresa disminuye. Adicionalmente, es importante al tomar las decisiones que los costos involucrados en la adquisición deben de minimizarse tanto como sea posible. Para lograr estos objetivos el ejecutivo debe decidir la cantidad de materiales que serán incluidos en cada orden y cuándo éstas deben de ser colocadas, además deben decidir si las órdenes son normales o especiales. Ordenes especiales son mientras que la normal requiere tres días. Se explicarán las diferencias de estos tiempos de entrega.

Este capítulo tiene 2 secciones básicas: la primera, ilustrar los costos básicos y sus relaciones involucradas con el problema de adquisición de insumos.

Luego se presentarán 2 tipos básicos de sistemas de decisiones que pueden ser utilizados por el ejecutivo para minimizar tanto como sea posible los costos de adquisición.

#### **Costos Relevantes en la Adquisición de Insumos (Materiales)**

Tres son los costos básicos que si incluyen (1) Costo de la Orden, (2) Costo de Inventario, y (3) Costo de los materiales. Cada uno de estos costos varían con el tamaño de la orden. Luego el ejecutivo debe escoger cuantas unidades serán ordenadas por vez para conseguir minimizar sus costos.

En esta sección se discutirán los tres costos y sus relaciones con el envío y tamaño de la orden.

#### **Costo de la Orden**

Cada orden de entrega normal tiene un costo de \$ 100 para la empresa mientras que el costo de urgente es de \$ 175, por este último alto costo estas órdenes deben ser colocadas sólo cuando se requieran. Aunque estos costos permanecen constantes, el costo total para cada tipo de orden durante la operación estará en función y varía inversamente, con el tamaño de la orden. Esto es, que a un nivel dado de necesidades de insumos, como la empresa aumenta el tamaño de la orden, el costo disminuirá. Por ejemplo, si 54,000 unidades se requieren para los 18 períodos de duración el costo de la orden variará conforme está en la Fig. 6-1.

Asumiendo que el tamaño de las órdenes son constantes, el costo total durante todo el tiempo se obtendrá:

$$OC = \frac{RS}{Q}$$

R = Material total requerido  
 S = Costo de la orden  
 Q = Tamaño de la orden

Fig. 6-1 Costo total de órdenes con tamaños de orden alternativos

1	2	3	4	5	6	7
Requirimientos totales	Tamaño de cada orden	Número de órdenes [(1)/(2)]	Costo por orden regular	Costo total de órdenes: órdenes regulares [(3)x(4)]	Costo por orden entregada	Costo total de órdenes: órdenes entregadas [(3)x(6)]
54,000	3,000	18	\$100	\$1,800	\$175	\$3,150
54,000	6,000	9	100	900	175	1,575
54,000	9,000	6	100	600	175	1,050
54,000	18,000	3	100	300	175	525
54,000	27,000	2	100	200	175	350
54,000	54,000	1	100	100	175	175

### Costos de Inventarios

Como se indicó en el Capítulo 2 se cargan \$ 0.015 por unidad por día de inventario final.

El costo total de inventarios durante la duración de las operaciones es:

$$ADI \times (C) \times (n)$$

donde:

ADI = Promedio diario de inventario final

C = Costo de inventario diario por unidad

n = Número de períodos en el cual la Empresa lleva sus operaciones.

Desde que el costo diario es siempre igual a \$ 0.015, el costo total de inventarios será

$$CC = ADI (\$ 0.015) (n)$$

De estos factores, sólo varía el inventario promedio diario con el tamaño de la orden.

Si asumimos que la Empresa usa insumos iguales cada día de la simulación, el inventario diario promedio será:

$$ADI = \frac{Q - P}{2}$$

Q = Tamaño orden

P = Tasa constante de cantidad usada diariamente

Estas relaciones están dadas en la Fig. 6-2; como se puede notar, con una orden de 9,000 unidades y una constante de uso de 3,000 unidades, los inventarios finales cada día serán: 6000, 3000 y 0, y el promedio de inventario final diario será:

$$\frac{9000 - 3000}{2} = 300 \text{ unidades}$$

Con un promedio diario de inventario igual a:

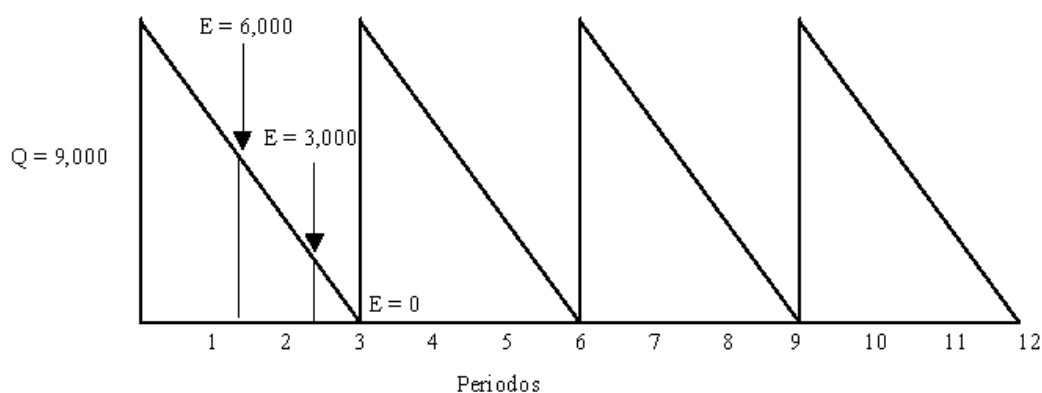
$$\frac{Q - P}{2}$$

el costo del insumo será:

$$CC = \frac{Q - P}{2} (\$ 0.015)n$$

Siendo improbable que los costos de pedido, costos totales de inventario, aumentarán cuando el tamaño de la orden aumente. Esta relación se muestra en la Fig. 6-3. Esta dará el total de costos de inventario que resultarán en el período 18 con los requerimientos de insumos totales y tamaños de órdenes alternativos evaluados antes, con respecto al costo de la orden Fig. 6-1.

Fig. 6-2 Ilustración de inventario final diario con el uso de tasa constante



Q = TAMAÑO DE ORDEN

E = INVENTARIO FINAL INTERMEDIO

Fig. 6-3 Costo total de órdenes con tamaños de orden alternativos

1	2	3	4	5	6	7
Requirimientos totales	Tamaño de cada orden (Q)	Tasa de uso diario (P)	Inventario final diario promedio $\frac{(Q - P)}{2}$	Costo de llevar Inv. Costo/unid.	Número de días operando (n)	Costo total de llevar inventario $(Q - P \times \$0.015 \times n)$
54,000	3,000	3,000	0	\$.015	18	\$0
54,000	6,000	3,000	1,500	.015	18	405
54,000	9,000	3,000	3,000	.015	18	810
54,000	18,000	3,000	7,500	.015	18	2,025
54,000	27,000	3,000	12,000	.015	18	3,240
54,000	54,000	3,000	25,500	.015	18	6,885

### Costo de Adquisición de Insumos

El tercer costo el cual es una función del tamaño de la orden, es el precio (costo) de los insumos. En el Capítulo 2 se indicarán los descuentos existentes que la firma obtiene con la compra de diferentes cantidades:

Cantidad	Precio/Unidad
1-857	\$ 1.100
3,000	1.000
6,000	0.980
9,000	0.973
12,000	0.970
21,000	0.966

Luego el precio variará dependiendo también de la cantidad solicitada, para órdenes diferentes y mayores a 857 unidades. Estas variaciones en precio reflejan: (1) un costo fijo de compra cargado a la orden indiferente al tamaño de la orden, más (2) un cargo constante por unidad 0:

$$PC = F + QU$$

donde:

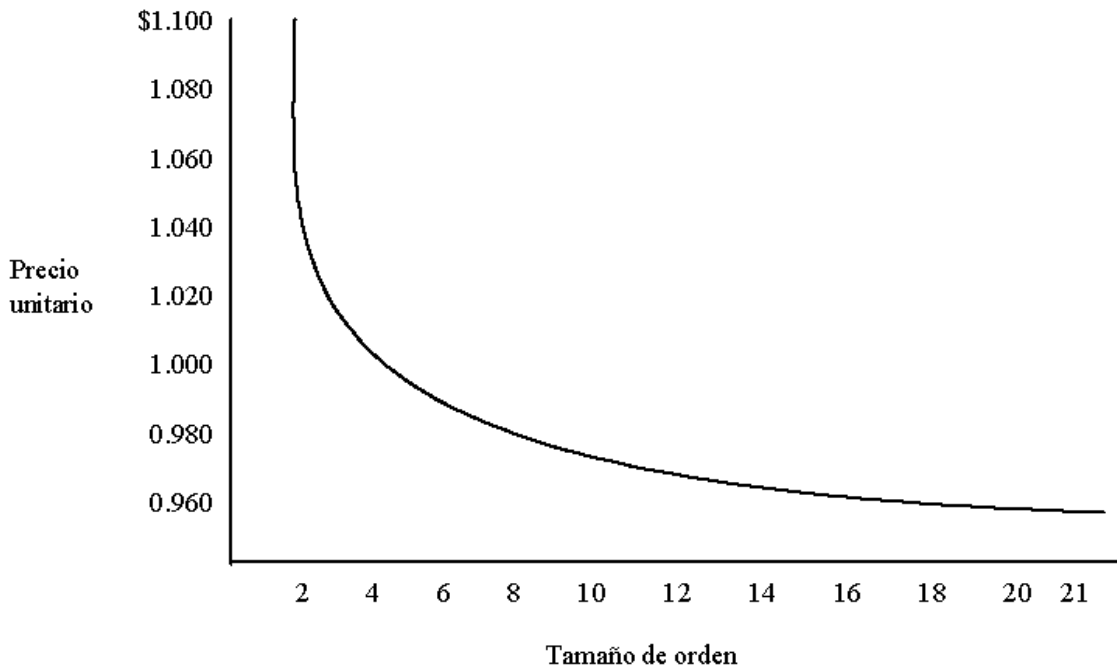
PC = Costo total de adquisición para una orden (mayor de 857 unidades)

F = Costo fijo de Compra

Q = El número de unidades a ser ordenado

U = El cargo por unidad (de la compra)

Fig. 6-4 Relación entre precio unitario y tamaño de orden



Para conocer el precio unitario por un tamaño de orden es necesario determinar el costo fijo y los cargos por unidad. La Fig. 6-4 muestra las relaciones entre el precio unitario y el tamaño de la orden. Estos datos del costo total (PC) de una orden de un tamaño definido se muestra en la Fig. 6-5. Esta relaciones son lineales (Fig. 6-5). De los datos de la Fig. 6-5 el ejecutivo de SIMPRO puede determinar los cargos fijos y por unidad. El cargo unitario (U) es igual a la pendiente de la línea de costo total Fig. 6-5. Se puede calcular la pendiente de esta línea tomando los costos totales de uno de los dos tamaños de órdenes de esta figura y sustituyéndolos en la siguiente ecuación:

$$U = \frac{PC_2 - PC_1}{Q_2 - Q_1}$$

donde:

PC<sub>2</sub> = Costo total de la orden de tamaño Q<sub>2</sub>

PC<sub>1</sub> = Costo total de la orden de tamaño Q<sub>1</sub>

Conociendo (U) el costo fijo de compra por orden (F) podemos determinar el costo total de la ecuación dada:

$$PC = F + QU$$

$$3000 = F + (3000)(\$ 0.96)$$

$$F = \$ 120$$

Además el costo total de una orden mayor que 857 unidades es igual a: \$ 120 + \$ 0.96. El precio cargado por unidad en cada orden está dado gráficamente en la Fig. 6-4, será igual al costo total dividido por el número de unidades de la orden. O el precio unitario (UP) es igual a:

$$UP = \frac{\$ 120 + \$ 0.96Q}{Q}$$

Si el tamaño de la orden (Q) es 10,000: el precio unitario será:

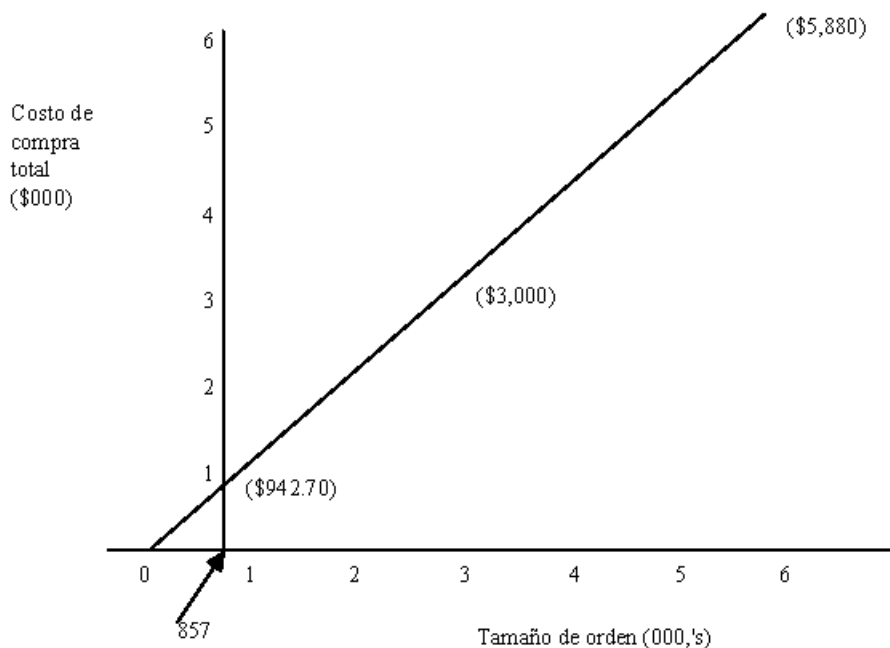
$$UP = \frac{\$ 120 + \$ 0.96 (10,000)}{10,000} = \$ 0.972$$

Un cálculo final se necesita efectuar y es concerniente al costo de compra. El costo total de todos los períodos de operación, asumiendo un tamaño constante será igual al número de órdenes colocadas y al costo por orden (PC). El número de órdenes colocadas es igual a los requerimientos totales de insumos (R) dividido entre el tamaño de la orden (Q). Luego el costo total de todas las compras durante toda la simulación será:

$$\frac{R}{Q} = (\$ 120 + 0.96Q)$$

Como se puede observar, estos costos totales de compra, son similares al costo total de la orden previamente descrito, disminuyendo como aumente el tamaño de la orden.

Fig. 6-5 Costo de total de una orden SIMPRO en relación al tamaño de la orden



### Relaciones de Costos y Minimización de Costos Totales

Se han identificado tres costos básicos en la adquisición de insumos. El total de cada uno de estos costos para todos los períodos de la simulación variarán con los tamaños de la orden como sigue:

1. Costos de la orden, disminuirán como aumente el tamaño de la orden.
2. Costo de inventario, aumentarán como aumente el tamaño de la orden.
3. Costo de compra, disminuirán como se aumente el tamaño de la orden.

Estas relaciones se muestran gráficamente en la Fig. 6-6. El costo total (TC) en la adquisición de insumos es también mostrada en la Fig. 6-6 siendo igual a la suma de estos tres costos:

TC = Costo de la orden + Costo de inventario + Costo de compra

$$\frac{RS}{Q} + \frac{Q - P}{2} (\$ 0.15) n + \frac{R}{Q} (\$ 120 + \$ 0.96)$$

Esta ecuación es para cantidades mayores de 857 unidades para tamaños menores, el costo de compra total es =  $R/Q(\$ 1.10Q) = \$ 1.10R$

El tamaño óptimo de la orden está ilustrado en la Fig. 6-6 y es donde todos los costos están minimizados. El punto mínimo en la curva de costo total será donde la pendiente de la curva es igual a cero. La ecuación de la pendiente se halla tomando la ecuación dada de costo total (TC) con respecto a la cantidad (Q).

$$\frac{d(TC)}{d(Q)} = \frac{-RS}{Q^2} + \$ \frac{0.15n}{2} - \frac{\$120R}{Q^2}$$

Haciendo la ecuación igual a cero y despejando Q, tendremos la ecuación que nos dará el tamaño óptimo de la orden:

$$\frac{-RS}{Q^2} + \frac{\$ 0.15}{2} - \frac{\$ 120R}{Q^2} = 0$$

$$Q = \frac{2R (5 + \$ 120)}{\$ 0.15n}$$

Asumamos que las necesidades totales de insumos (R) para los 18 días del Período (n) sean de 58,000 unidades, todas las órdenes son colocadas en tiempo normal (3 días), siendo el costo de cada orden (S) de \$ 100. El tamaño óptimo (Q) también llamado cantidad económica de orden (EOQ) es la siguiente:

$$(Q) \text{ o } (EOQ) = \frac{2(58,000) (\$ 100 + 120)}{(\$ 0.15 (18))}$$

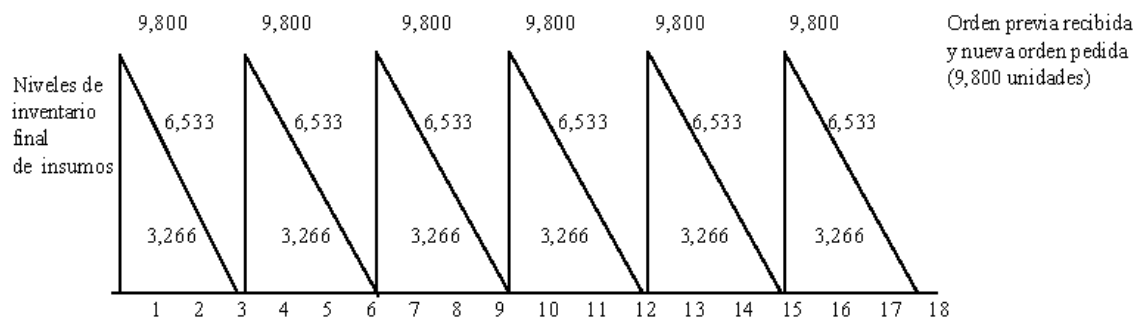
= 9790 unidades, las que se redondearán a 9800 unidades para simplificar los cálculos.

La ecuación del tamaño económico de la orden representa una modificación del modelo de inventario ya conocido para tomar decisiones bajo condiciones de certidumbre. Esto dará el tamaño de orden el cual minimizará costos y también dará información al ejecutivo de SIMPRO de cuando colocar las órdenes y

1. Si se da por cierto que la demanda total estará por encima durante la ecuación de las operaciones, y
2. Si el ratio de uso de insumos de cada día es conocido y constante.

Si, en nuestro ejemplo se asumió como demanda total 58,000 unidades para los 18 días del Período, con un promedio diario de consumo de 3,267 unidades. Si la demanda total de insumos fuera exactamente 58,000 unidades y 3,267 unidades fuesen requeridas cada día, el ejecutivo podría colocar simplemente una orden normal de 9,800 unidades cada 3 días y minimizar de esta forma sus costos totales, Fig. 6-7. Los tres días se obtuvieron dividiendo Q (9,800) entre el consumo diario (3,267).

Fig. 6-7 Minimización de costos totales utilizando cantidades económicas de la orden (EOQ) bajo condiciones de certeza



Nota: 1. Se asume que le inventario inicial del periodo 1 es de 9800 unidades, lo que no es para SIMPRO

Un sistema para la adquisición de insumos está centrado en la respuesta de dos preguntas básicas: (1) ¿Cuándo se deberá colocar la orden? y (2) ¿Cuántas unidades deben ser incluidas en cada orden? Hay en la actualidad dos sistemas para aplicar en la adquisición de insumos que responden a estas dos preguntas: (1) El sistema de punto de pedido y (2) El sistema de ciclo de pedido. En el primero, cuando cae el inventario de un ítem de la empresa o alcanza el punto de pedido establecido previamente, se debe colocar una orden, cuya principal característica es la de una cantidad constante ya establecida, con este sistema de cantidades constantes en las órdenes, el tiempo de colocación de las órdenes variará conforme varíe la demanda. En cambio, en el segundo sistema el tiempo de colocación de cada orden permanece constante mientras que la cantidad ordenada variará como varía la demanda pronosticada. Cualquiera de estos dos sistemas se pueden aplicar por el ejecutivo de SIMPRO para controlar y planificar la adquisición de insumos, pero no pueden usarse los dos a la vez, siendo mutuamente

excluyentes. Como la demanda futura no es conocida con certeza y con las fluctuaciones diarias en el ratio de consumo de insumos, ninguno de estos sistemas tratan de minimizar los costos de adquisición. Sin embargo, estos sistemas ayudan a que los costos de adquisición tengan niveles aceptables, mientras que al mismo tiempo se satisfacen las necesidades de insumos.

**Sistema de Punto de Pedido.**- Al usar este sistema se debe determinar:

- (1) el tamaño constante de la orden a ser colocada y
- (2) el punto de pedido.

**(4) Determinación del tamaño constante de la orden.**-- Existen diversas formas para determinar el tamaño constante de la orden, bajo el sistema de punto de pedido. Pensamos que la mejor es la ecuación de la cantidad económica de la orden (EOQ) ya descrita. Esta aplicación, no da el tamaño óptimo, desde que no se conoce la demanda con certeza, ni el consumo diario de insumos el cual podrá variar diariamente, sin embargo, su aplicación tiende a minimizar e problema de costos.

Hemos visto que para aplicar esta ecuación se debe asumir que las necesidades de insumos están dadas, siendo conocidas.

Para determinar el EOQ se debe conocer los requerimientos de demanda finales de la empresa para los productos X, Y y Z, luego estos datos se convierten en insumos requeridos para productos en proceso (intermedios) de X', Y' y Z.

Para determinar X, Y y Z se debe decidir el número de Períodos a incluirse en el análisis. La forma más sencilla es tomar un número aproximado de Períodos por los cuales él es el responsable de la operación y desarrollar un EOQ basado en requerimientos de insumos que cubran esta operación. En este caso, es aconsejable basare el análisis EOQ en períodos de operación que representen múltiplos de 3, desde que los Períodos de demanda (y pronóstico) son para 3 días. Por ejemplo, si el ejecutivo es informado por el profesor de que será responsable por 17 días de operación sugerimos de que su base de análisis EOQ sea el múltiple mayor más cercano a 3 días o para este caso Períodos 1-18. En algunos casos para análisis más precisos se pueden hacer más de un análisis EOQ conforme progrese la simulación. Por ejemplo, si el ejecutivo es responsable de 26 Períodos de operación primero se desarrolla un EOQ para los Períodos 1-9, luego para Períodos 10-18 y finalmente uno para el Período 19-27. Esta aplicación da un análisis más preciso para afrontar la gran variación que existe en los requerimientos de la demanda de un Período al otro.

Para determinar los requerimientos de insumos para el Período escogido, el ejecutivo debe convertir sus pronósticos de demanda en unidades de insumos necesarios para alcanzar estos pronósticos (Para el Período 1-3 se usará la demanda real en lugar del pronóstico, también para el Período 10-12 si se realiza un segundo EOQ para el Período 10-18). Del capítulo 2 sabemos que

una unidad de insumo se necesita para producir 1 unidad de X'; 2 unidades se necesitan para Y' y 3 para Z'. Supongamos que la demanda total para una planificación EOQ para 18 Períodos es la siguiente: X = 9,000 unidades, Y = 10,000 y Z = 8,000 unidades. El total de insumos para alcanzar esta demanda de productos finales para el Período será:

9,000 X x 1 =	9,000
10,000 Y x 2 =	20,000
8,000 Z x 3 =	<u>21,000</u>
Total:	53,000

Reemplazando este valor por R en la ecuación EOQ y colocando un tamaño de orden similar, considerando n = 18 Períodos y que todas las órdenes son órdenes normales (3 días) (S = \$ 100) tendremos:

$$EOQ = \frac{\sqrt{2(53000)(\$ 100 + 120)}}{(18)(\$ 0.015)} = 9,294$$

Sin embargo, ciertos ajustes deben hacerse para tener un total de insumos más preciso:

Como se ha dicho el ejecutivo de SIMPRO comienza las operaciones de la empresa en el Período 2 de simulación. Como al final del Período 1 hay inventarios de producto en proceso y terminado, Fig. 2-5, se tendrá que la cantidad de insumos usada es:

X'	711 x 1 =	711
Y'	551 x 2 =	1102
Z'	296 x 3 =	888
	-----	----
Total:		2701
X	493 x 1 =	413
Y	288 x 2 =	576
Z	323 x 3 =	969
	-----	----
Total:		1958

Sugerimos restar de las 53,000 unidades de los 18 Períodos las 1958 unidades las cuales se usarán en la producción de producto terminado del Período 1. Esto es debido a que estas unidades fueron adquiridas para alcanzar los objetivos de los 18 Períodos de la Empresa. Luego los requerimientos ajustados serán de 51,042 unidades. No se recomienda restar la cantidad de 2,701 unidades que serán los inventarios finales para el fin del Período 1. No recomendamos restar las 9,765 unidades de insumos que existen en el inventario al comienzo del Período 2 (Ver nota al final del capítulo).

Se puede efectuar un otro ajuste para tener un estimado más seguro de las necesidades de insumos. Tenemos que considerar algo más que insumos debido a los rechazos que existirán en la Línea 2 (producto terminado). La

cantidad de rechazos dependerá de los gastos en control de calidad que efectúe la Empresa por cada Período y no serán estos conocidos al inicio del Período 2 sino en los Períodos sucesivos en el análisis EOQ planeado. Sugerimos agregar inicialmente un porcentaje (entre 5% - 10%) de insumos para cubrir estos rechazos. Con un 10% de ajuste se deberán añadir 5,104 unidades a las 51,042 unidades para cubrir las necesidades esperadas totales del período 1-18, es decir, 56,146 unidades. Luego, conforme la simulación avance, se puede modificar hacia arriba o hacia abajo la cantidad de rechazos dependiendo de los resultados. Esto se consigue calculando un nuevo EOQ, o revisando el ya hecho. Sin embargo, lo más simple es cambiando los niveles de stock de seguridad de la empresa, que veremos más adelante.

Finalmente, mencionaremos que desde que el ejecutivo de SIMPRO inicia sus operaciones en el Período 2, el número total de períodos sobre el cual aplicará el EOQ será igual que el número de períodos totales de planeamiento menos uno. En nuestro ejemplo se ha examinado el consumo de insumos y costos durante los períodos 2-18 ó para 17 períodos, pudiendo usarse como n en la ecuación EOQ. Reemplazando en la ecuación EOQ las unidades reajustadas, 56,146 unidades y n = 17 se tendrá (asumiendo los pedidos como órdenes normales):

$$EOQ = \sqrt{\frac{(2)(56,146)(\$ 100 + \$ 120)}{(17)(\$ 0.015)}} = 9,843$$

Una vez que el EOQ se ha determinado ya se puede decidir cuando se colocará la orden de pedido.

**Determinación de cuándo se colocará la orden.--** Bajo condiciones de certeza, el punto de pedido será establecido como el punto en el cual el inventario permanece en el mínimo que nos indica que se debe colocar el pedido, considerando el tiempo de recibo de los insumos. Luego siendo el tiempo normal de atención de las órdenes 3 días, nuestro punto de pedido debe ser establecido en el nivel en el cual nuestros requerimientos de insumos satisfagan los próximos 3 días de operación, esto cuando se conozca con certeza estas cantidades. Desde que esto no es posible recomendamos la siguiente forma:

- 1) Se debe determinar el promedio diario de insumos necesarios, esto se consigue dividiendo el total de insumos durante el período de análisis EOQ entre el número de días del período.
- 2) El resultado (promedio diario de consumo de insumos) se multiplica por 3 para hallar el promedio de consumo esperado durante los 3 días de demora que demanda la entrega del pedido de insumos en nuestro ejemplo anterior sería:

$$\frac{56,146}{17} \times 3 = 9,908 \text{ unidades}$$

Desde que las necesidades diarias varían y algunas veces se puede exceder el consumo durante el tiempo de espera, utilizando nuestro sistema de cálculos

para el punto de pedido puede tenerse como resultado insuficientes insumos, a menos que se "apresuren" las órdenes colocadas y/o se incluya un stock de seguridad.

Una vez que el ejecutivo de SIMPRO ha calculado su EOQ y su punto de pedido. La operación con datos hipotéticos se da en la Fig. 6-8 en la cual se asumen un EOQ de 9,800 unidades y un punto de pedido de 9,700 unidades. Como se puede ver, este sistema requiere seguir los siguientes pasos para cada período:

- 1) Determinar las unidades consumidas en el período. Esta información se obtiene del análisis efectuado en la discusión de la programación de productos en proceso del Capítulo 5. Esto es para cada máquina de la línea 1: (1) multiplicar las horas programadas por (2) el ratio de producción estándar del producto asignado a la máquina por (3) la eficiencia promedio del operador para el período y por (4) el número de unidades necesarias de insumos para producir una unidad del producto programado en dicha máquina. Luego sumando los productos finales para cada una de estas operaciones por cada máquina a ser usada, tendremos el total de insumos estimados.
- 2) Sumando al inventario inicial de insumos para el período, el número de unidades de insumos que llegan durante el período. Tendremos el total de insumos disponibles (estos datos se obtienen de la corrida del computador del período anterior).
- 3) Restando las necesidades planeadas del período de las disponibles tendremos el inventario final de insumos planeado para el período.
- 4) Sumar a esto un pedido de insumos de los períodos anteriores que se espere que lleguen en un período futuro (el cual está dado por los datos impresos del computador de los períodos anteriores). Esto dará los insumos totales planeados para el final del período más los insumos pedidos. Si es igual o menor que el punto de pedido, colocar una orden igual al EOQ. Como se puede ver en la Fig. 6-8 resultarán órdenes normales a ser colocadas en los períodos 2, 5 y 8.

### **Ordenes Expedidas**

A causa de que el consumo de insumos que varía día a día no es totalmente predecible usando el punto de pedido ya descrito se puede tener insuficiencia de insumos en algún otro ejemplo, en la Fig. 6-8 el inventario final planeado en el Período 6 de 3,265 unidades más los ingresados en el Período 7 (0 unidades) no son suficientes para alcanzar las necesidades de la empresa en este Período 7 de 3,300 unidades. Para llegar a estas contingencias el ejecutivo de SIMPRO necesita comparar en cada período sus inventarios finales planeados más los ingresos para el siguiente período, contra insumos que se consumirán el período siguiente, asumiendo que siempre logramos nuestros objetivos evitando falta de stocks y colocando órdenes cuando es necesario como se ve en la Fig. 6-8 un pedido de emergencia de 1,000 unidades fue colocada en el Período 6 previendo falta de insumos en el Período 7. Cuando se efectúa un pedido en esta forma, aún cuando puedan

exceder las necesidades para el período, pero sólo pequeña cantidad, es deseable colocar el pedido.

Esto se debe a que el consumo de un período no se puede prever exactamente, pudiendo exceder lo planeado. Por ejemplo en la Fig. 6-8 el inventario final del Período 6 fue de 3,365 unidades (un poco más de 3,265) ó 65 unidades más que el consumo esperado para el período 7, se debería haber expedido una orden en el período 6 para el caso de que en el período 7 el consumo de insumos hubiese excedido el nivel planeado de 3,300 unidades por más de 65 unidades.

### **Stock de Seguridad**

Como ya sabemos, el costo de expedir cada orden de emergencia es de \$ 75 más que el de una orden normal. El número de órdenes de emergencia que se necesitaron para cubrir las contingencias descritas puede reducirse estableciendo un stock de seguridad. Esto se puede incluir en el sistema de punto de pedido ajustando el punto de pedido en una cantidad algo mayor el cual pueda cubrir el consumo esperado promedio durante el tiempo que lleguen los insumos. Como ilustración los datos de consumo presentados en la Fig. 6-8, se muestran en la Fig. 6-9 pero basado en órdenes de pedido de 10,700 unidades en lugar de 9,700 unidades, o sea 1,000 unidades más que el punto de pedido establecido. Como se ve en la Fig. 6-9 no hubo necesidad de girar órdenes de emergencia adicionales.

Fig. 6-8

**Ejemplo hipotético del uso del sistema de punto de orden**

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Requerimientos Planeados	Inventario Inicial	Materia Prima Recibida	Materia Prima disponible (2)+(3)	Inventario Final Planeado (4)-(1)	Materia Prima Ordenada	Total dispon. Más Ordenada	Punto De orden	Orden normal De materia Prima si (7)<=(8)	Orden Urgente	Usado realmente en Periodo
2	3300	765	9000	9765	6465	0	6465	9700	9800		3200
3	3100	6565	0	6565	3465	9800	13265	9700	0		3200
4	3100	3365	0	3365	265	9800	10065	9700	0		3000
5	3600	365	9800	10165	6565	0	6565	9700	9800		3700
6	3200	6465	0	6465	3265	9800	13065	9700	0	1000	3200
7	3300	3265	1000 0	4265 3265	965 -35	9800	10765 9765	9700 0	0		3400
8	3400	865	9800	10665	7265	0	7265	9700	9800		3300
9	3200	7365	0	7365	4165	9800	13965	9700	0		3300
10	3300	4065	0	4065	765	9800	10565	9700	0		3200
11		865									

Cuando se usa un stock de seguridad, los procedimientos son los mismos que el anterior, excepto que la cantidad del punto de pedido es más alta. Debido a la existencia de mucha incertidumbre en SIMPRO no hay modelos analíticos capaces de determinar precisamente cuál es el stock de seguridad "óptimo" a tomarse. Sin embargo, se puede hacer la siguiente generalización:

1. Cuando el stock de seguridad aumente, disminuirán los costos de las órdenes de emergencia y los de pedidos.
2. Los promedios de inventarios aumentarán y luego los costos de mantener inventarios aumentarán.

Sugerimos que inicialmente el punto de pedido se base en el promedio de consumo diario durante el tiempo de llegada del pedido (3 días) ya calculado previamente (quizá entre 500 a 1,000 unidades) luego revisarlo, si es necesario, basándose en el desarrollo de la simulación. Por ejemplo, si los rechazos (los que se consideraron en el EOQ) son menores que los asumidos originalmente, el punto de pedido puede ser reducido. Como ya lo mencionamos, tal revisión puede efectuarse en forma más simple si modificamos el EOQ básico.

### **El Sistema de Ciclo de Ordenes (Pedidos)**

Como ya se mencionó, este sistema consiste en colocar órdenes de pedido de diferentes tamaños a intervalos constantes; para diseñar este sistema es necesario: (1) Determinar la duración de cada ciclo de órdenes, y (2) Desarrollar un procedimiento para decidir de qué tamaño será cada orden.

### **Determinación de la Duración del Ciclo**

Para alcanzar el objetivo se debe: (1) Asegurar que se tendrá disponible la suficiente cantidad de insumos, y (2) Minimizar tanto como sea posible los costos asociados a la adquisición de insumos. Debido a la incertidumbre que existe ligado al problema de insumos, no hay respuesta óptima, pero describiremos dos procedimientos que permitirán desarrollar un sistema de ciclo de pedidos que den una buena solución a este problema.

1) El ejecutivo de SIMPRO simplemente puede decidir que la duración de su ciclo de orden de pedido sea igual al tiempo de espera normal para sus órdenes de insumos. Por ejemplo colocar una orden cada 3 días. Este procedimiento le servirá para colocar una orden el mismo día que llegue la anterior. Con una orden llegando en el Período 2 de simulación podría colocar órdenes en los Períodos 2,5,8, etc... Esta forma no se basa en análisis cuantitativo por lo cual no minimiza costos. Sin embargo, el método es simple y algunas veces hace fácil visualizar qué duración debe tener otros ciclos. Además: (1) en muchos casos es una buena respuesta al problema de minimización, y (2) algunas veces da el mismo resultado que el que se obtiene después de un análisis sofisticado.

2) Desarrollando un ciclo basado, asumiendo que la demanda es cierta y que es constante el consumo diario de insumos. Hay que tener en cuenta que esta solución puede ser buena, pero no es necesariamente óptima para minimizar el problema de costos. Esto se verá más adelante. Bajo condiciones de certeza y consumo constante,

Fig. 6-7, el Número de órdenes a ser colocadas, para la planificación de un período será:

$$\frac{R}{EOQ}$$

de la figura 6-7:  $58,800/9800 = 6$ . La frecuencia de colocación de las órdenes bajo las mismas condiciones será igual al número de días del período de planificación dividido entre el número de órdenes a ser colocadas:

OC (Ciclo de órdenes de pedido)

$$= \frac{n}{R} = \frac{n \times EOQ}{R}$$

EOQ

reemplazando los valores del ejemplo:

$$OC = \frac{18 \times 9800}{58,800} = 3 \text{ días (Fig. 6-7)}$$

Aunque en el método de ciclos de órdenes de SIMPRO, el tamaño de las órdenes varía (no necesariamente igualando al EOQ), así también como el consumo diario, utilizando esta ecuación se puede obtener un ciclo de pedido que ayude a disminuir los costos de adquisición a niveles razonables (no óptimos).

Usando los siguientes datos del ejemplo anteriormente visto, se tendrá:

$$R = 56.146 \quad n = 17 \quad EOQ = 9843$$

$$OC = \frac{17 \times 9843}{56146} = 2.98 \text{ días}$$

Debiéndose redondear a 3 días, dándonos un ciclo de órdenes de pedido de 3 días. hay dos observaciones adicionales en la aplicación de este método.

1) Los parámetros utilizados en la ecuación (R, EOQ y n) pueden ser obtenidas en la forma descrita en el sistema de punto de pedido.

2) Como ya se sugirió para la operación total sucesivos EOQ que cubran duraciones más cortas. Hay ciertas dificultades cuando el ejecutivo de SIMPRO desarrolla periódicamente nuevos ciclos de órdenes la ecuación

$$OC = \frac{n \times EOQ}{R}$$

luego, se puede preferir el desarrollo inicial de un ciclo de órdenes cubriendo todos los períodos de la simulación por los cuales será responsable y basándose en el EOQ que cubra toda la operación.

### **Procedimiento para Determinar la Cantidad de Pedidos**

En la sección previa los dos métodos discutidos han escogido el ciclo de tres días. En esta sección se discutirá los procedimientos a usarse para determinar la cantidad a pedir usando el ciclo de tres días como ejemplo ilustrativo. Luego se verá los procedimientos básicos a usarse cuando los ciclos son diferentes a tres días.

Con los ciclos de tres días el primer pedido debe ser colocado en el Período 2, se recibe en el Período 5 satisfaciéndose las necesidades para los Períodos 5, 6 y 7, luego se coloca un segundo período en el Período 5 que se recibirá en el Período 8 para abastecer los períodos 8, 9 y 10, y así sucesivamente. Ahora se verá cómo se puede determinar el tamaño de cada una de estas órdenes. Igualmente veremos las aplicaciones de estos procedimientos mostrados en las Figs. 6-10 y 6-11, los que contienen los datos ya utilizados anteriormente en las Figs. 6-8 y 6-9. La Fig. 6-10 muestra la aplicación usando un stock de seguridad de 1000 unidades y la Fig. 6-11 muestra la aplicación sin stock de seguridad.

Para determinar el tamaño de la orden se debe seguir para cada período los siguientes pasos:

- 1) Determinar el consumo requerido para el Período. Esto se determina de igual manera a la usada para determinar el sistema de punto de pedido ya descrito.
- 2) Al igual que en el sistema de punto de pedido, se suman el inventario inicial a los insumos que se recibirán en el período para tener el inventario disponible.
- 3) Se determina el consumo esperado durante el tiempo en que lleguen los insumos vía orden normal (3 días). Por ejemplo en el primer ciclo mostrado en la Fig. 6-10, una orden es colocada en el Período 2 el cual llegará en el Período 5. Las necesidades planeadas durante el tiempo en que lleguen son 3,300, 3,100 y 3,100 unidades para los períodos 2,3 y 4, respectivamente, los que suman 9,500. El consumo esperado durante el tiempo de espera del ciclo es de 9,500 unidades, para el inicio del Período 2;  $9,500 - 3,300 = 6,200$  para el inicio del Período 3 y  $6,200 - 3,100 = 3,100$  para el inicio del Período 4.

4) Restando el consumo esperado durante el tiempo de espera al inicio del período del total de insumos disponibles dará el inventario de fin de ciclo esperado.

5) Si se usa stock de seguridad (que recomendamos) restar el inventario de fin de ciclo esperado del stock de seguridad para obtener la variación del stock de seguridad. Por ejemplo, en el Período 2, Fig. 6-10, el inventario al fin del ciclo esperado es de 265 unidades mientras deseábamos un stock de seguridad de 1000, de tal manera que la variación es 735 u.

6) Determinar las necesidades de insumos para el siguiente ciclo en el Período 2, Fig. 6-10, por ejemplo, para el ciclo comprendido en el Período 5 a 7, el total planeado es:

$3,600 + 3,200 + 3,300 = 10,100$  unidades; luego, agregando la variación del stock de seguridad deseado

Fig. 6-9

**Ejemplo hipotético del uso del sistema de punto de orden con stock de seguridad**

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Requerimientos Planeados	Inventario Inicial	Materia Prima Recibida	Materia Prima disponible (2)+(3)	Inventario Final Planeado (4)-(1)	Materia Prima Ordenada	Total dispon. Más Ordenada	Punto De orden	Orden normal De materia Prima si (7)<=(8)	Orden Urgente	Usado en Periodo
2	3300	765	9000	9765	6465	0	6465	10700	9800		3200
3	3100	6565	0	6565	3465	9800	13265	10700	0		3200
4	3100	3365	0	3365	265	9800	10065	10700	9800		3000
5	3600	365	9800	10165	6565	9800	16635	10700	0		3700
6	3200	6465	0	6465	3265	9800	13065	10700	0		3200
7	3300	3265	9800	13065	9765	0	9765	10700	9800		3400
8	3400	9665	0	9665	6265	9800	16065	10700	0		3300
9	3200	6365	0	6365	3165	9800	12965	10700	0		3300
10	3300	3065	9800	12865	9565	0	9565	10700	9800		3200
11		9665									

Hay algunas otras observaciones para el sistema de ciclo de órdenes de pedido:

1) Este sistema requiere un planeamiento anticipado de consumo diario de necesidades que el del sistema de punto de pedido. Como ya se vio, el sistema de punto de pedido simplemente coloca órdenes de tamaño constante cuando el inventario final del período actual cae al punto de pedido. Con el sistema de ciclos se debe incorporar las necesidades de consumo para 5 períodos futuros usando el ciclo de orden de 3 días. Por ejemplo, la orden colocada en el Período 5, Fig. 6-10, fue hecha para satisfacer las necesidades de los Períodos 8 a 10. Esto significa que con el sistema de ciclos, se necesita desarrollar las matrices de programación de productos en proceso y terminado (Capítulo 5) para el siguiente ciclo de demanda de 9 días, siendo esto mayor que lo requerido para el sistema de punto de pedido.

Por ejemplo, antes de colocar la orden en el Período 5, Fig. 6-10, el gerente necesitará haber desarrollado su matriz de producto terminado para los Períodos 10 a 18, así como la programación de productos en proceso para los Períodos 8 a 17, mientras esto no es necesario en el sistema de punto de pedido.

2) Se pueden hacer las mismas generalizaciones en lo que respecta al stock de seguridad para ambos sistemas:

a. Como el stock de seguridad aumenta, el número de órdenes requeridas a ser colocadas disminuye, pero el promedio de inventario aumenta.

b. No hay métodos analíticos disponibles que permitan determinar en forma precisa cuál es el stock de seguridad óptimo.

c. Se recomienda utilizar inicialmente un stock de seguridad entre 500 a 1000 unidades y luego revisar esta cantidad de acuerdo con la experiencia de avance en el proceso de simulación.

3) Se dijo que con el sistema de punto de pedido, los inventarios disminuyen en tanto en algunos períodos que obligan a colocar órdenes de emergencia (1 día). Para determinar cuándo son necesarias estas órdenes de emergencia, se deben comparar los inventarios finales planeados de cada período con las necesidades planeadas más las órdenes que ingresan en el siguiente período, de la misma forma que sugerimos para el sistema de punto de pedido. Estos inventarios finales están ilustrados en la columna correspondiente de los formatos de las Figs. 6-10 y 6-11.

4) Finalmente, veremos cuando la duración del ciclo es diferente a los 3 días. Por ejemplo, usando un ciclo de 4 días, Fig. 6-12 para que la orden sea colocada en el Período 6 se deberá conocer el consumo para los próximos 6 períodos (hasta los Períodos 9-12), mientras el Período 5, la orden del ciclo de 3 días, Fig. 6-10, requería sólo conocer los datos para los siguientes 5 días (hasta los períodos 8 a 10). Además en el ciclo de 4 días, nuevas órdenes normales serán colocadas en el período siguiente al que haya arribado el

pedido anterior, al igual que para el ciclo de tres días. Similarmente, para el ciclo de 5 días el consumo se deberá conocer para los próximos 7 períodos y cada nueva orden se deberá colocar 2 períodos posteriores al que llegue el pedido anterior y así sucesivamente.

Fig. 6-10

**Aplicación del sistema de ciclo de orden de tres días con stock de seguridad**

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Requerimientos Planeados	Inventario Inicial	Materia Prima Recibida	Materia Prima disponible (2)+(3)	Uso esperado Durante tiempo Principal	Fin esperado del ciclo de inventario (4)-(5)	Stock De Seguridad	Varianza del Stock de seguridad (7)-(6)	Requerimientos Siguiete Ciclo	Orden (8)+(9)	Inventario final Esperado (4)-(1)	Orden Urgente	Uso Real
2	3300	765	9000	9765	9500	265	1000	735	10100	10835	6465		3200
3	3100	6565	0	6565	6200	365	1000	635	10100		3465		3200
4	3100	3365	0	3365	3100	265	1000	735	10100		265		3200
5	3600	365	10835	11200	10100	1100	1000	-100	9900	9800	7600		3200
6	3200	7500	0	7500	6500	1000	1000	0	9900		4300		3200
7	3300	4300	0	4300	3300	1000	1000	0	9900		1000		3200
8	3400	900	9800	10700	9900	800	1000	200	11000*	11200	7300		3200
9	3200	7400	0	7400	6500	900	1000	100	11000*		4200		3200
10	3300	4100	0	4100	3300	800	1000	200	11000*		800		3200
11		900	11200										

Fig. 6-11

**Aplicación del sistema de ciclo de orden de tres días sin stock de seguridad**

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Requerimientos Planeados	Inventario Inicial	Materia Prima Recibida	Materia Prima disponible (2)+(3)	Uso esperado Durante tiempo Principal	Fin esperado del ciclo de inventario (4)-(5)	Stock De Seguridad	Varianza del Stock de segur. (7)-(6)	Requerimientos Siguiete Ciclo	Orden (8)+(9)	Inventario final Esperado (4)-(1)	Orden Urgente	Uso Real
2	3300	765	9000	9765	9500	265	0	-265	10100	9835	6465		3200
3	3100	6565	0	6565	6200	365	0	-365	10100		3465		3200
4	3100	3365	0	3365	3100	265	0	-265	10100		265		3200
5	3600	365	9835	10200	10100	100	0	-100	9900	9800	6600		3200
6	3200	6500	0	6500	6500	0	0	0	9900		3300	1000	3200
7	3300	3300	1000 0	4300 3300	3300	1000 0	0	-1000 0	9900		1000 0		3400
8	3400	900	9800	10700	9900	800	0	-800	11000*	10200	7300		3200
9	3200	7400	0	7400	6500	900	0	-900	11000*		4200		3200
10	3300	4100	0	4100	3300	800	0	-800	11000*		800		3200
11		900	10200										

\* Requerimientos asumidos para el siguiente ciclo

## IV CONTROL DE CALIDAD

Un problema básico es el de la adquisición de insumos. Tres costos básicos están involucrados en este problema: orden, adquisición e inventarios. Bajo condiciones de certeza y consumo diario constante la suma de estos costos se minimiza usando la ecuación EOQ (Cantidad Orden Económica). Bajo condiciones de incertidumbre y consumo variable, como SIMPRO, no hay método analítico existente que pueda optimizar los costos totales; 2 sistemas se han propuesto para tal fin: El sistema de punto de pedido y el sistema de ciclo de pedido. Estos sistemas ayudarán, además, a eliminar la posibilidad de insuficiencia de insumos, incluyendo un stock de seguridad y expidiendo órdenes cuando sea necesario.

Cada uno de estos sistemas tiene sus ventajas y desventajas. El sistema de punto de pedido requiere calcular el punto de pedido y el EOQ. El sistema de ciclos puede estar basado en el desarrollo de un EOQ para determinar la duración del ciclo, o simplemente se puede escoger el ciclo de 3 días. Una desventaja en el sistema de ciclo es que se necesita conocer el consumo diario de insumos más allá de lo que necesita el sistema de punto de pedido. Basados en estas consideraciones, el ejecutivo de SIMPRO debe decidir cuál de los 2 sistemas empleará el capítulo 3, 2.50 por X, 3.50 por una Y y 4.50 por un Z. Este enfoque en el largo plazo proporcionará una aproximación suficientemente precisa de los costos reales resultantes de unidades rechazadas.

Ahora que hemos discutido los dos tipos básicos de costos del problema de control de calidad de SIMPRO, examine las relaciones entre esos tipos de costos. Como se indicara en el Capítulo 2, la relación entre inversiones en Control de Calidad y el porcentaje de rechazos es inversa. Esta relación es una función de las inversiones previas y de las actuales. Específicamente el aumentar las inversiones en control de calidad provocará una reducción en el porcentaje de unidades rechazadas, a una tasa decreciendo por cada Dólar adicional gastado. La forma general de esta relación se presenta en la Fig. 7-1.

En vista de esta relación se puede suponer que, dado un nivel de producción y mezcla de productos, conforme aumenten las inversiones en control de calidad, los costos totales por rechazos decrecerán a una tasa cada vez menor. Así, los dos costos básicos involucrados en el problema de control de calidad de SIMPRO son costos opuestos, como se muestra en la Fig. 7-2. Allí puede verse también los costos totales asociados con calidad, es decir, gastos de control de calidad más costos de rechazos primero decrecen llegando luego a un punto mínimo y finalmente aumentan conforme aumenta el gasto en control de calidad. Debido a que el objetivo básico de SIMPRO es minimización de costos, los esfuerzos analíticos del ejecutivo deben dirigirse a la selección del nivel de gastos de control de calidad que resulten en el gasto mínimo total.

No es posible que el ejecutivo logre perfecta optimización en la toma de decisiones de control de calidad. Esto ocurre porque los costos estándar asignados a cada unidad rechazada presentan sólo aproximaciones del costo real del rechazo y porque el ejecutivo no podrá predecir la proporción exacta re

rechazos que sucederán a un nivel dado de gastos en control de calidad. Existen métodos, sin embargo, que le permiten al ejecutivo planear sus gastos en control de calidad de tal forma que produzcan costos totales muy cercanos al mínimo teórico. Pondremos atención ahora en ellos.

Fig. 7-1 Relaciones generales entre gastos de control de calidad y porcentaje de rechazos

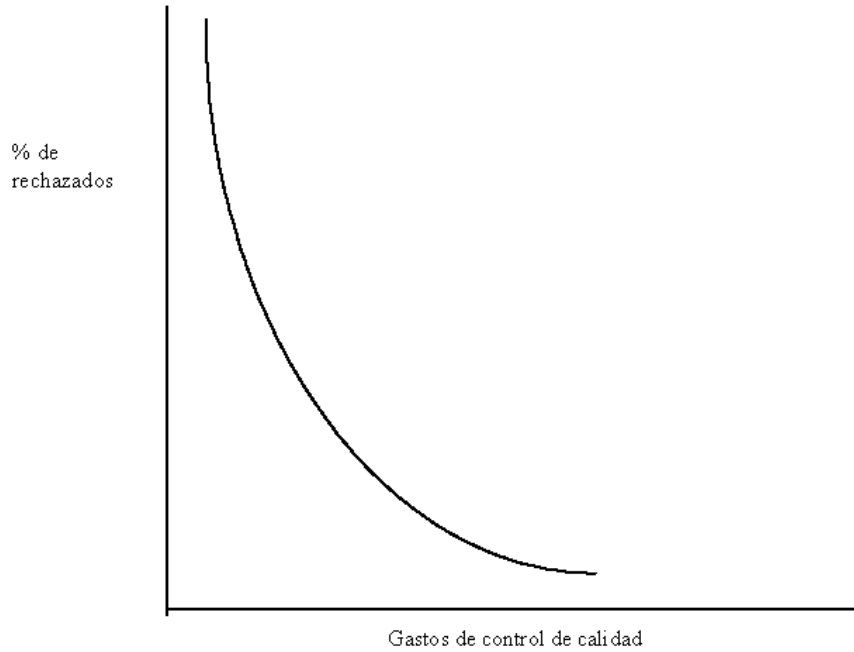
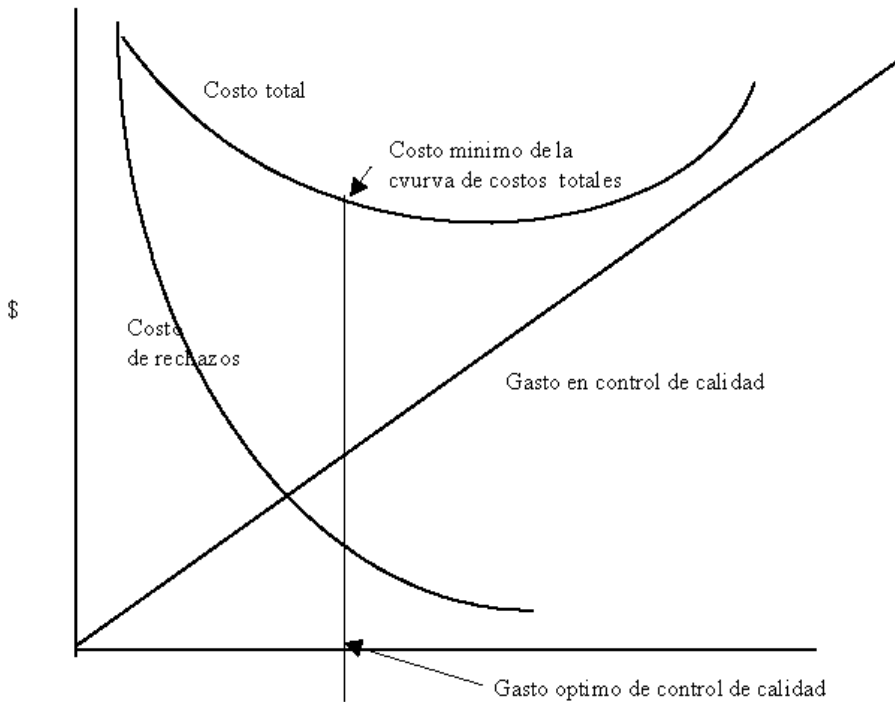


Fig. 7-2 Costos involucrados en control de calidad SIMPRO



## MÉTODO PARA MANEJAR EL PROBLEMA DE CONTROL DE CALIDAD

Tres pasos básicos se requieren para determinar cuanto debe gastarse en control de calidad cada período:

1. El ejecutivo debe estimar el porcentaje de rechazados que ocurrirán con cada alternativa de gasto en control de calidad que está considerando.
2. Debe determinar cuales serán sus costos totales de rechazo en cada uno de estos porcentajes de rechazo en vista de sus decisiones de producción planeada y de mezcla de productos durante el período.
3. Debe sumar los costos totales de rechazados con los gastos de control de calidad de cada alternativa y luego seleccionar la alternativa que minimice costos totales.

Ilustremos en detalle como deben llevarse a cabo estas etapas.

### Estimación del Porcentaje de Rechazados

En el Período 2 de la simulación, el ejecutivo de SIMPRO tendrá poca información sobre la relación entre gastos de control de calidad y porcentaje de rechazados. La única información disponible concerniente a esa relación del Período 1 es que con 150 Dólares en ese período aproximadamente el 16% de las unidades producidas por la Línea 2 fueron rechazados. La cifra fue obtenida de la siguiente forma de los datos de la Fig. 2-5 del Capítulo 2:

Má- qui- na	Recha- dos	Unida- des buenas	Rechazadas + buenas	Rechazadas como % de buenas + rechazadas
-------------------	---------------	-------------------------	---------------------------	--

Si el porcentaje de rechazados en un período fuera exclusivamente una función de los gastos actuales, el ejecutivo podría por supuesto intentar probar en varios períodos diferentes gastos de control de calidad, computar los porcentajes de rechazos asociados con cada nivel de gastos y plotear con esos datos una curva como la de la Fig. 7-1 que presentaría la relación entre inversión y rechazados. De esa curva podría, entonces, obtener una buena aproximación de los posibles efectos de numerosos niveles distintos de gastos sobre el porcentaje de rechazados.

Ese enfoque simple y directo no es posible en SIMPRO, porque la efectividad de los esfuerzos de control de calidad de un período dado es una función de los gastos actuales y los gastos previos. Es posible, sin embargo, aproximar el porcentaje utilizando la siguiente ecuación que fue desarrollada por un equipo de Investigación de Operaciones empleado por la empresa simulada:

$$E_p = 0.3E_{p-1} + 0.7CC_p$$

donde E representa la efectividad actual de los esfuerzos de control de calidad; Ep-1 representa la efectividad de los esfuerzos de control de calidad en el período previo y CCp es la inversión hecha para el período actual en control de calidad.

Para ilustrar, la efectividad en Dólares (hipotéticamente) en un Período 0 fue de 150 Dólares y 150 Dólares fueron invertidos en el Período 1 (Vea la Fig. 2-5 de los datos iniciales). La efectividad actual de los esfuerzos de control de calidad en el Período 1 fue en consecuencia:

$$E1 = 0.3(150) + 0.7(150), \text{ es decir, } 150 \text{ Dólares.}$$

Si la empresa invirtiera, digamos 200 Dólares en control de calidad para el Período 2, 300 Dólares en el Período 3 y 400 en el Período 2, 300 Dólares en el Período 3 y 400 en el Período 4 su efectividad en cada período podría ser aproximadamente de una forma similar:

$$E2 = 0.3(150) + 0.7(200) = 45 + 140 = 185$$

$$E3 = 0.3(185) + 0.7(300) = 55.5 + 210 = 265.50$$

$$E4 = 0.3(265.50) + 0.7(400) = 79.65 + 280 = 359.65$$

Si cada período el ejecutivo computa de esa forma su efectividad actual junto con el porcentaje de rechazados podría desarrollar una curva que represente la relación entre la efectividad actual y el porcentaje de rechazados. Por ejemplo, suponga que con las cifras que se han dado arriba, los porcentajes de rechazos que ocurrieron en los Períodos 2,3 y 4 fueron 10%, 6% y 4%, respectivamente. Con esos datos la curva de la Fig.7-3 podría desarrollarse. Conforme se obtienen datos adicionales en períodos futuros esa curva podría por supuesto refinarse.

Una vez que se ha desarrollado una curva así, los ejecutivos pueden estimar la proporción de rechazos por cada una de numerosas posibles alternativas de gasto en un período cualquiera. Para ilustrar, continuemos con nuestro ejemplo hipotético previo y suponga que el ejecutivo de SIMPRO quiere estimar el porcentaje de rechazos que podrían ocurrir en el Período 5 con cada una de las siguientes posibles alternativas de gastos en control de calidad: 100, 200, 300 y 350. Teniendo en cuenta que la efectividad en el Período 4 fue de 359.65 la efectividad actual resultante de cada una de esas alternativas para el Período 5 serían las siguientes:

1. Con 100 de gastos:  $0.3(359.65) + 0.7(100) = 177.9$

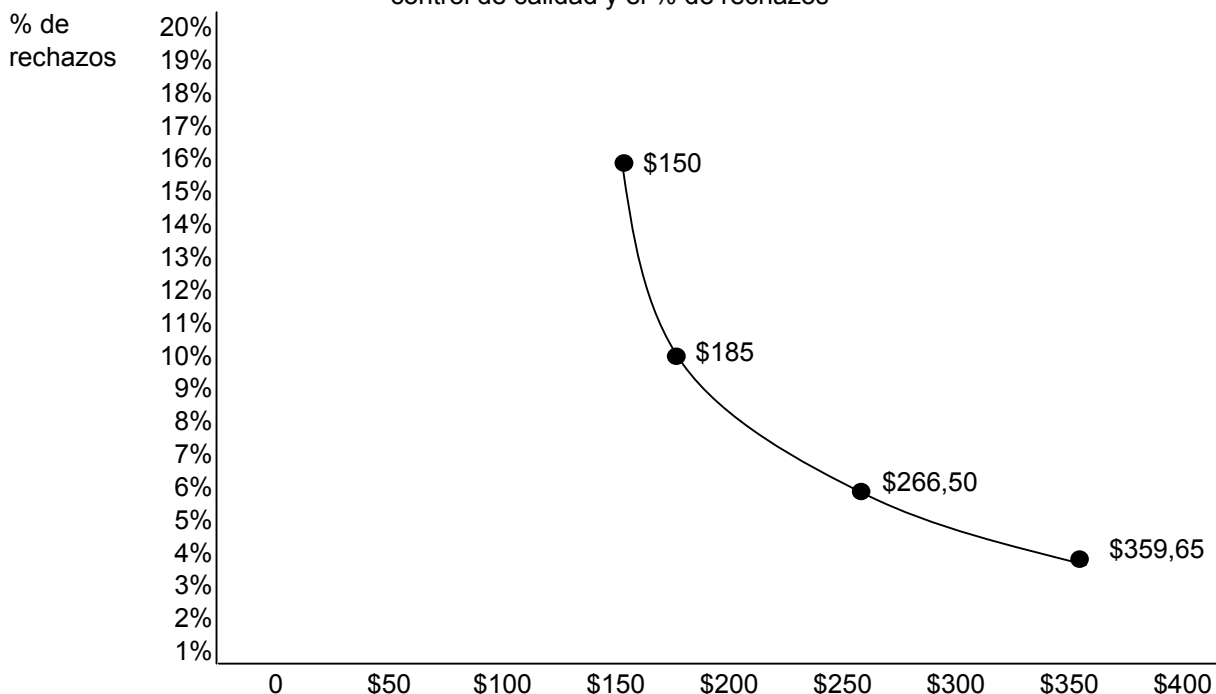
2. Con 200 de gastos:  $0.3(359.65) + 0.7(200) = 247.9$

3. Con 300 de gastos:  $0.3(359.65) + 0.7(300) = 317.9$

4. Con 400 de gastos:  $0.3(359.65) + 0.7(350) = 352.9$

Tomando como referencia la curva ilustrada en la Fig. 7-3 se infiere que los porcentajes de rechazos a esperarse con la efectividad actual en el caso de cada una de esas alternativas podrían ser aproximadamente:

Fig. 7-3 Curva hipotética mostrando la relación entre la efectividad actual del control de calidad y el % de rechazos



Gastos	Efectividad actual resultante	Tasa porcentual esperada de rechazo
100 Dólares	177.90	10 %
200	247.90	7.0%
300	317.90	4.5%
350	352.90	4.0%

Esta información sobre rechazados, por sí misma, no permitirá al ejecutivo determinar cual de las cuatro alternativas sería la mejor. Esa determinación requerirá adicionalmente un análisis de los costos totales esperados de cada alternativa. Pasaremos a examinar ello a continuación.

### Determinación de los Costos Totales de Rechazos

Los costos totales de rechazos que se incurrirán en SIMPRO serán iguales al número de rechazos que ocurran multiplicados por el costo de cada rechazo que, como se indicó antes, puede considerarse con referencia al costo

estándar de X, Y y Z, 2.50, 3.50 y 4.50, respectivamente. El número de rechazos de cada producto que ocurrirá, a su vez, será igual al número de unidades producidas en la Línea 2 en el período multiplicadas por el porcentaje de rechazos esperado. Como se indicó en el Capítulo 2, el porcentaje de rechazos que ocurren en cualquier período al salir de la Línea 2 será aproximadamente el mismo para los tres productos X, Y y Z. En consecuencia, los costos esperados totales de rechazo (CETR) en cualquier período pueden ser encontrados resolviendo la siguiente ecuación:

$$\text{CETR} = \text{PR} (2.5 X + 3.50 Y + 4.50 Z)$$

donde PR representa el porcentaje esperado de rechazos; X representa las unidades planeadas de producción del producto X en la Línea 2 para el período, Y los del producto Y y Z los del producto Z. Como el lector notará los términos internos de la ecuación representan costos estándares totales para el período tal como se definió en el Capítulo 3. Por lo tanto, podemos simplificar nuestra definición del costo total de rechazos a la siguiente: "Los costos totales de rechazos son igual a la tasa porcentual esperada de rechazos multiplicada por los costos estándares totales del período".

El ejecutivo no podrá predecir precisamente cuál sería su producción de X, Y y Z en cualquier período porque (1) sólo puede aproximar la eficiencia de los trabajadores; (2) no puede estar seguro de cuantas paradas de máquinas habrán ocurrido o específicamente en qué máquinas ocurrirán las paradas. Sin embargo, al utilizar sus niveles planeados de producción para X, Y y Z, como se desarrollaron en el Capítulo 5, se pueden realizar bastante buenas aproximaciones a los costos totales de rechazo.

Para ilustrar cómo el costo total de rechazos para varias alternativas de gasto en control de calidad, evaluaremos las cuatro alternativas presentadas en la sección previa suponiendo una producción planeada en la Línea 2 en el Período 5 de 400 unidades de X, 320 de Y y 480 unidades de Z. Con estos niveles de producción, los costos totales estándares para el período serían:

1. Para X, 400 unidades x 2.50 =	1,000
2. Para Y, 320 unidades x 3.50 =	1,120
4. Para Z, 480 unidades x 4.50 =	2,160
	-----
Total:	4,280 Dólares

Multiplicando esta cifra por el porcentaje esperado de rechazos por cada una de las cuatro alternativas proporcionará los costos totales de rechazados :

Gasto en Período 5	Costos totales de rechazados
100	428.00
200	299.60
300	192.60
350	171.20

## Determinación de Costos Totales en Control de Calidad

Una vez que se han determinado los costos totales de rechazos por cada alternativa bajo consideración, puede obtenerse los costos totales de control de calidad simplemente sumando en cada caso a los costos de rechazo los gastos de control de calidad mismos.

Gastos en Período 5	+	Costos Totales de rechazos	=	Costos totales de control de calidad
100		429.00		528.00
200		299.60		499.60
300		192.60		492.60
350		171.20		521.20

Como puede observarse, un gasto de 300 Dólares en Control de calidad minimiza los costos totales en el mayor grado de las cuatro alternativas. Estos 300 Dólares, sin embargo, no son probablemente la mejor de todas las opciones posibles. Como puede notarse de la Fig. 7-5 los costos totales primero decrecen, luego aumentan, como se esperaría teóricamente, pero el punto mínimo de la curva de costo total es posible que esté en un punto por encima y por debajo de los 300 Dólares. Así si el ejecutivo de SIMPRO se enfrentara realmente al ejemplo hipotético, podría querer evaluar opciones alternativas de gasto como por ejemplo, 250 ó 325 en un esfuerzo para quedar más cerca del punto mínimo de la curva de costos totales.

Figura 7.5

### Determinación del costo total de control de calidad

Alternativa de gastos del Período 5	+	Costo total de Rechazos	=	Costo total de Control de Calidad
\$100		\$428,00		\$528,00
200		299,60		499,60
300		192,60		492,60
350		171,20		521,20

Fig. 7-6

**Formulario de planeamiento de control de calidad Prosim**

Periodo	Determinación de los costos estándar totales			3	4	5	6	7	
	Producción Planeada	Costo unitario estándar	Costo Estándar	Alternativas de control de calidad	Efectividad actual ,3(2) + ,7(3)	% esperado de rechazos	Costo de rechazos total (1) x (5)	Costos Totales (3) + (6)	
5	X	400	\$2,50	\$1000	\$100	\$177,90	10,00%	\$428,00	\$528,00
	Y	320	3,50	1120	200	247,90	7,00%	299,60	499,60
	Z	480	4,50	2160					
	Costos estándar totales (1)			4280	300	317,9	4,50%	192,6	492,6
	Efectividad previa del de calidad (2)			\$359,65	350	352,9	4,00%	171,2	521,2
—	X		\$2,50						
	Y		3,50						
	Z		4,50						
	Costos estándar totales (1)								
	Efectividad previa del de calidad (2)								
—	X		\$2,50						
	Y		3,50						
	Z		4,50						
	Costos estándar totales (1)								
	Efectividad previa del de calidad (2)								
—	X		\$2,50						
	Y		3,50						
	Z		4,50						
	Costos estándar totales (1)								
	Efectividad previa del de calidad (2)								
—	X		\$2,50						
	Y		3,50						
	Z		4,50						
	Costos estándar totales (1)								
	Efectividad previa del de calidad (2)								

## V. MANTENIMIENTO DE PLANTA

Uno de los objetivos básicos reales de SIMPRO es el de que a través del mantenimiento se obtenga un máximo de capacidad productiva, al menor costo posible. Algunos de los problemas típicos de mantenimiento son: formulación de las políticas de reparación, decisión del tamaño del equipo de mantenimiento y la inspección.

El problema de mantenimiento en SIMPRO, no detalla todo lo extenso que pueden ser estos problemas, sin embargo, contiene algunas de las características básicas de los problemas reales del mantenimiento.

Como se indicó en el Capítulo 2, cada una de las 8 máquinas pueden malograrse en un período. Estas interrupciones producen una disminución efectiva de la capacidad de producción, costando más dinero y pérdidas de tiempo. Sin embargo, estas interrupciones pueden prevenirse o reducirse en frecuencia con medidas preventivas apropiadas: gastos en mantenimiento de planta.

En este capítulo se examinarán primero las relaciones entre los tipos de costos presentes en mantenimiento y luego se describirá e ilustrarán métodos analíticos para ayudar al ejecutivo de SIMPRO a tomar decisiones efectivas sobre el mantenimiento de Planta.

### **Costos Involucrados en el Mantenimiento de Planta**

#### **Costos Básicos**

Hay dos tipos de costos básicos involucrados en el mantenimiento de la planta SIMPRO. El primero son los gastos decididos por la Empresa. Como se vio en el Capítulo 2, se puede optar por gastos hasta \$ 9,999 en cada período para mantenimiento. Este costo, como ya se indicó, es visto como un gasto para prevenir o reducir la frecuencia de paralizaciones. El segundo costo, es el que resulta de la máquina malograda. Cada máquina malograda representa para la Empresa el costo de reparación, los costos de mano de obra y uso de equipo durante el tiempo de la reparación y otros costos de tiempo perdido. Como se indicó en el Capítulo 2, cada reparación requiere de 2 horas y sus costos son \$ 100. Además, durante cada una de estas dos horas al operador de esa máquina se le debe pagar su jornal horario de \$ 2 y el costo de uso del equipo asociados con cada parada por reparación es de \$ 24.

Además de estos costos, otros menos tangibles se pueden dar:

- 1) Insuficiente producción para alcanzar la demanda programada incurriendo en costos de re-programación.
- 2) Esta insuficiencia, también, puede hacer menos eficientes los programas de producción para los períodos siguientes. Por ejemplo, un mayor cambio y ajuste de máquina puede ser necesario.

Un intento para determinar en forma precisa estos mayores costos es muy completa, pero sugerimos que se considere como una aproximación a estos costos \$ 1.50 por cada unidad

Fig. 8-1 Relaciones generales entre gastos de mantenimiento y la probabilidad de que se malogren las máquinas

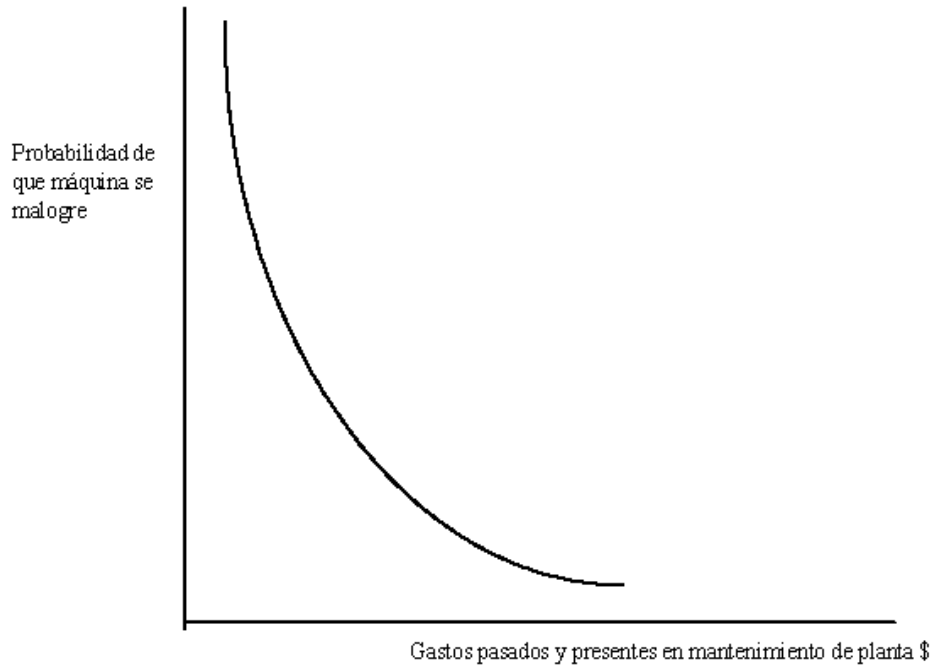
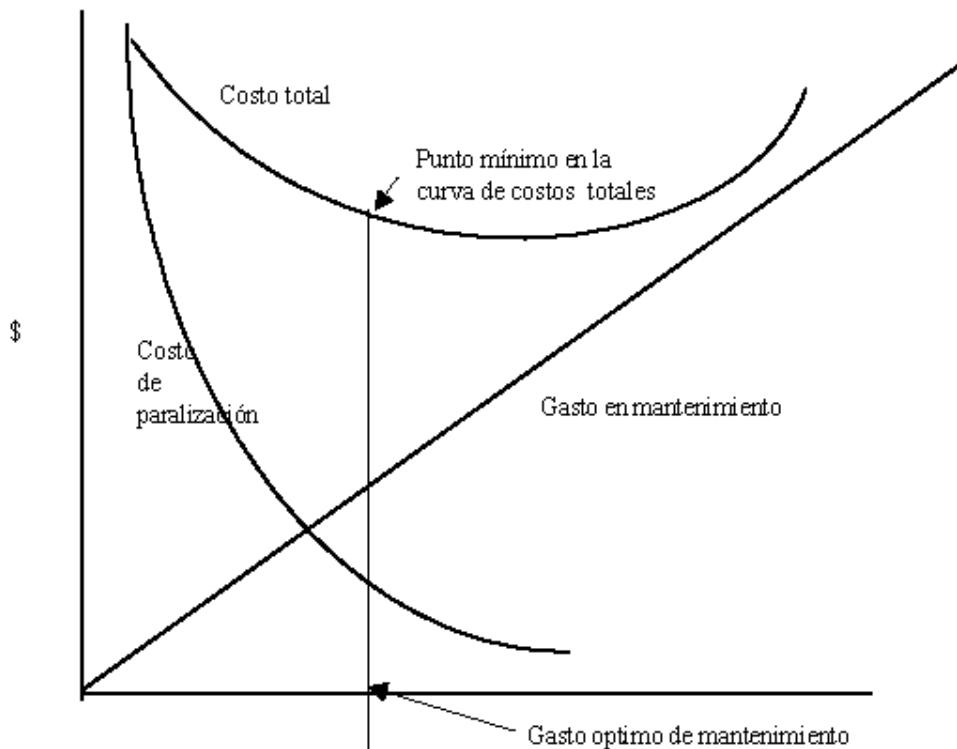


Fig. 8-2 Costos involucrados en mantenimiento de planta en SIMPRO



esperada que no es producida por paradas de máquina. Estos costos asociados a las paradas serán entonces:

1. \$ 100 por separación +
  2. \$ 24 por salarios y uso de máquinas +
  3. \$ 1.50/unidad, costos intangibles
- 1) Se debe estimar la probabilidad de paradas que ocurrirán con cada alternativa de gasto de mantenimiento que se piensa efectuar.
  - 2) Se debe determinar los costos totales de paralizaciones que se esperan con cada una de las varias probabilidades de paradas esperadas en función de los niveles planeados de producción y el número de máquinas que se planean utilizar.
  - 3) Se deben sumar los costos esperados de paradas y los gastos de mantenimiento para cada alternativa obteniendo los costos totales y luego seleccionar la alternativa que minimize estos costos totales tanto como sea posible.

Seguidamente ilustraremos estos pasos.

### **Estimación de las Probabilidades de parada de máquinas**

Como se indicó en el Capítulo 2, la probabilidad de que ocurra una parada en un período, es función de los gastos de mantenimiento anteriores y actuales. As para estimar la probabilidad de parada que pueda ocurrir con cualquier alternativa de gasto propuesto, es necesario conocer la contribución relativa de los gastos anteriores y el gasto propuesto a la efectividad de mantenimiento. Esta contribución relativa puede ser aproximada por medio de la siguiente ecuación

Fig. 8-3 Gastos efectuados y paralizaciones de máquina

Gastos \$	Máquinas malogradas	Máquinas programadas	Gastos \$	Máquinas malogradas	Máquinas programadas	Gastos \$	Máquinas malogradas	Máquinas programadas
50	5	8	65	5	8	116	1	8
82	3	8	118	1	8	103	2	8
135	2	8	90	2	8	79	3	8
215	1	8	162	2	8	332	0	8
56	4	8	188	1	8	253	0	8
83	2	8	240	0	8	269	0	8
282	1	8	227	1	8	130	1	8
303	0	8	67	5	8	72	4	8
278	0	8	322	0	8	112	1	8
80	2	8	245	1	8	232	1	8
154	0	8	265	1	8	187	0	8
229	0	8	235	0	8	192	1	8
122	2	8	174	1	8	145	2	8
160	0	8	196	0	8	189	0	8
79	3	8	86	3	8	123	2	8
338	0	8	110	2	8	174	1	8
285	0	8	327	1	8	140	1	8

desarrollada por un equipo consultoría previamente empleado por la empresa SIMPRO:

$$E_p = 0.6 E_{p-1} + 0.4 P M_p$$

Donde:

$E_p$  = efectividad actual en dólares de los esfuerzos de mantenimiento

$E_{p-1}$  = efectividad en el período anterior

$P M_p$  = El gasto hecho para mantenimiento en el período actual.

Por ejemplo, si la efectividad en dólares en el Período 0 (hipotético) de simulación resultó ser \$ 100 y \$ 100 fue el gasto de mantenimiento en el Período 1, Fig. 2-5, además los esfuerzos efectivos corrientes de la Empresa fueron:

$$E_1 = 0.6 (\$ 100) + 0.4 (\$ 100) = \$ 100$$

Digamos que la firma gastó \$ 150 por mantenimiento en el Período 2, \$ 200 en el 3 y \$ 250 en el 4, la efectividad actual en cada uno de estos períodos será:

$$E2 = 0.6 (\$ 100) + 0.4 (\$ 150) = \$ 120$$

$$E3 = 0.6 (\$ 120) + 0.4 (\$ 200) = \$ 152$$

$$E4 = 0.6 (\$ 152) + 0.4 (\$ 250) = \$ 191.20$$

Calculando la efectividad actual para cada período y comparándolo con el número de paradas que ocurrirán, el ejecutivo de SIMPRO puede aproximar la relación entre la efectividad actual y la probabilidad de paralización. Sin embargo, debido a la naturaleza probabilística de esta relación, el análisis tendría que ser hecho para un gran número de períodos de operación, por lo que el ejecutivo de SIMPRO sería responsable de obtener un tamaño adecuado de muestra., Por esta razón, en la Fig. 8-3 se da un número (hipotético) de períodos previos de operación de SIMPRO de datos de efectividad actual y paralizaciones. Estos datos se pueden usar para aproximar la relación entre efectividad actual y paralización, como sigue:

- 1) Dividir los valores de efectividad actual un número de intervalos.
- 2) Dentro de cada intervalo calcular los promedios de efectividad actual y frecuencia relativa de paralización.
- 3) Graficar estos resultados de pares de valores de cada intervalo. Estos datos una vez graficados y suavizados asumirán una forma similar a la ilustrada en la Fig. 8-1.

Como ilustración dividamos los valores de efectividad de la Fig. 8-3 en 9 clases de intervalos, cada una longitud de \$ 40 (1 a 40, 41 a 80, etc.) y pongamos atención en el intervalo 41 a 80, 8 observaciones de efectividad están dentro de este intervalo, calculando el promedio de efectividad para este intervalo sumándolos y dividiendo la suma entre ocho. La frecuencia relativa para este intervalo se calcula dividiendo por el número total de paradas que ocurrieron. Estos cálculos se ilustran en la Figura 8-4

Como se puede notar la efectividad actual en Dólares de \$ 68.50 resultaría en una probabilidad estimada de paradas de aproximadamente 0.48.

Fig. 8-4 Ilustración de cálculo de probabilidad de parada

Gasto \$	Parada de máquina	Máquina programada
50	5	8
56	4	8
80	2	8
79	3	8
65	5	8
67	5	8
79	3	8
72	4	8
$\Sigma = \$ 548$	31	64

$\bar{X} = \$68.50$       Frecuencia =  $31/64 = 0.48$

El mismo tipo de análisis se hace para cada uno de los otros intervalos de \$ 40 (se pueden usar otros tamaños intervalos) obteniéndose curvas representando estas relaciones.

Como una base para continuar esta discusión de evaluación de gastos de mantenimiento, asumamos que la curva de la alternativa de Fig. 8-5 (que es hipotética) ha sido desarrollada de la manera sugerida, asumamos también el Período 5 como ejemplo.

1) El ejecutivo quiere evaluar las siguientes 5 alternativas de gastos:

\$ 100, \$ 150, \$ 200, \$ 250 e \$ 300.

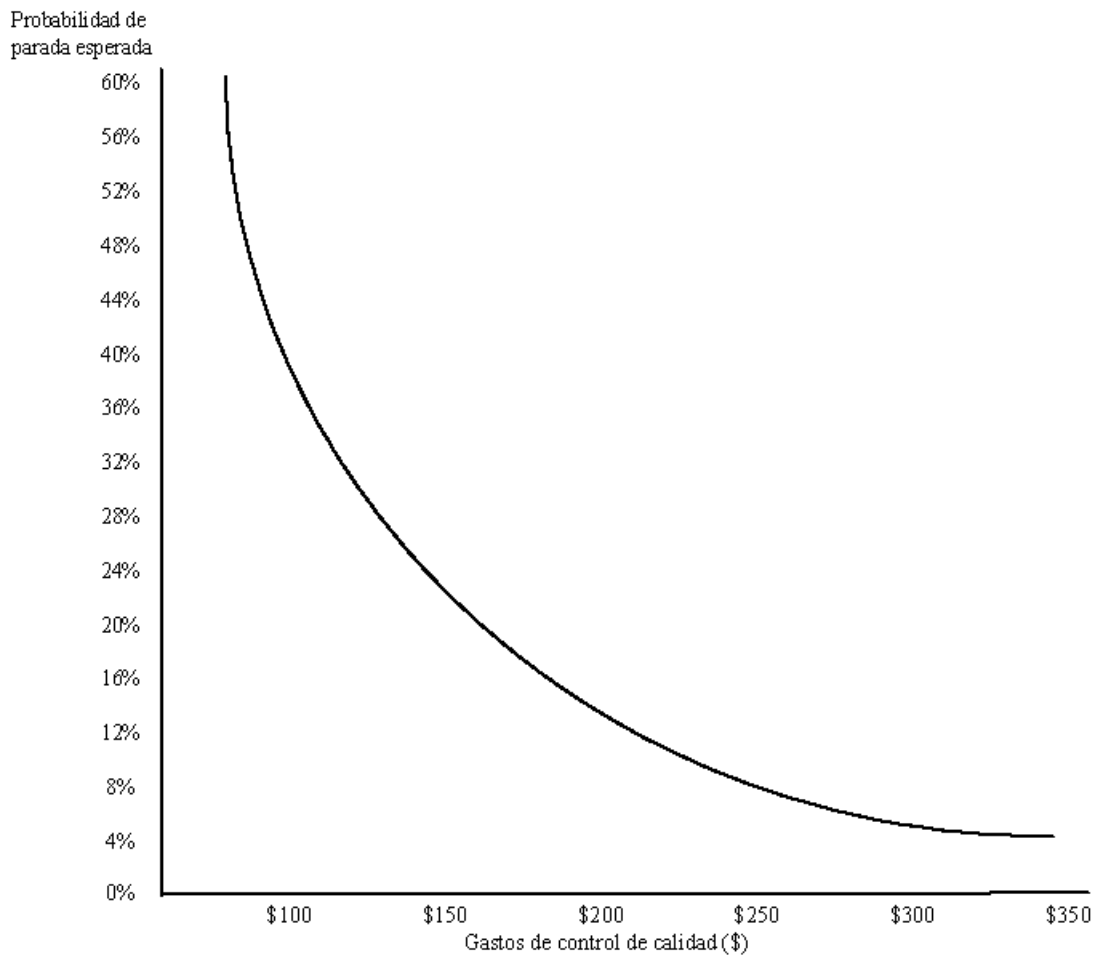
2) El gasto efectivo en Dólares en el Período 4 fue \$ 191.20 (ejemplo visto anteriormente en este capítulo).

Con estos \$ 191.20 el resultado para cada una de las 5 alternativas será:

1. \$ 100 :  $0.6 (191.20) + 0.4 (100) = \$ 154.72$
2. \$ 150 :  $0.6 (191.20) + 0.4 (150) = \$ 174.72$
3. \$ 200 :  $0.6 (191.20) + 0.4 (200) = \$ 194.72$
4. \$ 250 :  $0.6 (191.20) + 0.4 (250) = \$ 214.72$
5. \$ 300 :  $0.6 (191.20) + 0.4 (300) = \$ 234.72$

Refiriéndose a la curva hipotética de la Fig. 8-5 que indica que las probabilidades de paradas esperada con los resultados de efectividad actual resultan para cada una de estas alternativas, aproximadamente, 8.

Fig. 8-5 Curva hipotética de las relaciones entre el gasto de mantenimiento y probabilidad de parada esperada



Período 5 Gastos \$	Resultando un efectivo corriente \$	Probabilidad de paradas esperadas %
100	154.72	20.0
150	174.72	14.8
200	194.72	11.9
250	214.72	9.9
300	234.72	9.0

Esta probabilidad, como información por sí sola no le dan al ejecutivo de SIMPRO la capacidad para determinar cual de las 5 alternativas que se están considerando sea la mejor. Tal decisión requiere adicionalmente un análisis de los costos totales de mantenimiento los cuales se espera que ocurran en cada alternativa, como se verá seguidamente.

## **Determinación de los Costos Totales Esperados por Paralizaciones**

Los costos totales esperados que se harán en SIMPRO son iguales al número de paradas de máquinas que se espera ocurrirán para el costo de cada parada. El número esperado de paradas de máquina será igual al número de máquinas programadas en producción (MS) por la probabilidad esperada de paradas (PB).

Como ya se indicó, el costo de cada parada es de \$ 100 por reparación más el costo de intangibles de \$ 1.50 por unidad de producción que se pierde por la paralización. En un período este costo total intangible es \$ 1.50 (PU/Pn)<sup>2</sup>

donde:

PU = Número total de productos programados en las Líneas 1 y 2.

Pn = Número total de horas de trabajo programadas en ambas Líneas.

Y el 2 proviene de cada parada (por máquina), involucra 2 horas menos de tiempo de producción.

Luego los costos totales por parada son:

$$\text{\$ } 100 + \text{\$ } 24 + \text{\$ } 1.50 (PU/Pn)^2$$

Y los costos totales de parada en un período (TBC) pueden ser hallados resolviendo la ecuación:

$$TBC = PB(MS) [\text{\$ } 100 + \text{\$ } 24 + \text{\$ } 1.50 (PU/Pn)^2]$$

$$TBC = PB(MS) [\text{\$ } 124 + \text{\$ } 3 (PU/Pn)]$$

Ilustraremos los costos totales esperados de paradas para variar alternativas de gastos, evaluando las 5 alternativas presentadas para el Período 5, asumiendo que la producción programada es de 3,024 unidades en las 8 máquinas para un total de 72 horas de producción (datos obtenidos del capítulo 5). Con este nivel de producción planeada, los costos por parada serán:

$$\text{\$ } 124 + \text{\$ } 3 (3024 / 72) = \text{\$ } 250$$

Multiplicando esta cantidad por el número esperado de parada (PBxMS) para cada una de las 5 alternativas dar el total de costos esperados por parada, Fig. 8-6.

## **Determinación de los Costos Totales de Mantenimiento de Planta**

Una vez que se han determinado los costos totales de las paradas esperadas para cada alternativa considerada, se pueden obtener los costos totales en cada caso, simplemente, sumando las alternativas de gasto de mantenimiento de planta con su respectivo costo de paralización.

Fig. 8-6 Determinación de los costos totales esperados de paradas

Gastos Periodo 5 \$	Gastos resultantes \$	Probabilidad Parada	Numero de máquinas programadas	Paradas Esperadas	Costo por parada \$	Costo total esperado de parada \$
100	154.72	20.0%	8	1.60	250	400.00
150	174.72	14.8%	8	1.18	250	295.00
200	194.72	11.9%	8	0.95	250	237.50
250	214.72	9.9%	8	0.79	250	197.50
300	234.72	9.0%	8	0.72	250	180.00

De la Fig. 8-6 tomándola como base, se puede ver que los costos totales de mantenimiento para cada una de las 5 alternativas serán como los de la Fig. 8-7, como se observa los gastos de mantenimiento de \$ 200 minimizan los costos totales considerados las 5 alternativas escogidas.

Estos \$ 200 sin embargo, probablemente, no sea la mejor de todas las alternativas que puede optar el ejecutivo. De la Fig. 8-7 se ve que los costos totales disminuyen al inicio, luego aumentan, como teóricamente se esperaba, pero el punto mínimo en la curva de costo total es probablemente para un gasto algo mayor o menor que los \$ 200. Este punto mínimo puede ser, más o menos alcanzado probando con otras alternativas adicionales de gastos.

Para ayudar al ejecutivo de SIMPRO a evaluar diferentes alternativas de gastos se cuenta con el Formato de la Fig.8-8.

Fig. 8-7 Determinación de los costos totales de mantenimiento de planta

Periodo 5 Alternativa de gastos \$	+	Costos totales esperados de parada \$	=	Costos totales de mantenimiento \$
100		400.00		500.00
150		295.00		445.00
200		237.50		437.50
250		197.50		447.50
300		180.00		480.00

Fig. 8-8 Formato para el planeamiento del mantenimiento

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Periodo	Prod. Program. Unidades	Prod. Program. Horas	Prod. Hora (1+2)	Costo Intang. Parada	Nro. Máq. Prog.	Costo Rep. Tiempo x Par. \$124+(4)	Costo Anterior Manten.	Gasto alternat. Manten.	Gasto Manten.	Probab. de parada	Paradas esperadas	Costo total de parada	Costo total
5	3,024	72	42	126	8	250	191.2	100	154.72	0.200	0.60	400.0	500.0
								150	174.72	0.148	1.18	295.0	445.0
								200	194.72	0.119	0.95	237.5	437.5
								250	214.72	0.099	0.79	197.5	447.5
								300	234.72	0.090	0.72	180.0	480

## RESUMEN

Un importante problema que tendrá el ejecutivo de SIMPRO en cada período será el de decidir acerca de los gastos de mantenimiento. Esta decisión incluye 2 costos "opuestos" -los gastos decididos por la Empresa para el mantenimiento y los costos de las paralizaciones- el Objetivo básico del ejecutivo de SIMPRO es el de minimizar la suma de estos dos costos.

Para alcanzar estos objetivos en cada período el ejecutivo debe estimar la probabilidad de paradas de máquinas que ocurran a diferentes alternativas de gastos de mantenimiento que él decida en función de los esfuerzos ya hechos previamente por la Empresa; luego, tomando en consideración la producción de la Empresa, él puede estimar los costos totales de paradas que resultarán para cada alternativa. Finalmente, comparando los costos totales de estas alternativas, él puede optar por la alternativa cuyos costos totales estén minimizados.

## APÉNDICE B

### DESARROLLO DE REGLAS DE PROGRAMACIÓN

Se presentaron una serie de reglas para minimizar los costos de inventario y los costos de salarios al momento de tomar una decisión al programarlos para productos terminados bajo ciertas condiciones. En este Apéndice, demostraremos cómo una técnica matemática llamada "Programación Dinámica" fue usada para desarrollar estas reglas para el Producto X; y cómo se usó el mismo procedimiento para el desarrollo de las reglas de decisión para los productos Y y Z.

La Programación Dinámica es una técnica para la solución de problemas de distribución en etapas secuenciales. El problema de distribución que se considera en SIMPRO es simplemente distribuir las horas de producción requeridas a la capacidad disponible dentro de un período de tres días. Para resolver este problema, primero desarrollaremos la distribución para dos días -etapa uno- y luego integraremos esta solución con un día adicional -etapa dos-. la solución para la etapa dos será la solución óptima para el problema de los tres días.

La Fig. B-1 presenta un cuadro con un análisis de costos por la distribución de horas de producción para el Producto X entre el segundo y tercer día del período estudiado. Los números cero al doce a través de la parte superior de la matriz representan las horas de producción programadas en el segundo día. Las líneas diagonales a través de la matriz interceptan celdas que representan cantidades iguales. Por ejemplo, 4 horas en el resultado podrían producirse en el tercer día y cero en el segundo; 3 en el tercer día y 1 en el segundo;; o todas las 4 durante el segundo día. El objetivo es localizar esa distribución para cualquier nivel que minimice la suma de los dos costos más importantes. Para las combinaciones en nuestro ejemplo, los costos son \$ 16, \$ 17.50, \$ 19.00, \$ 20.50 y \$ 22, respectivamente. El costo más bajo de \$ 16 corresponde a una distribución de 4 horas en el tercer día y 0 horas en el segundo día. En la Fig. B-1 esta celda se encuentra en un círculo indicando que es la óptima. De una forma similar, la combinación del costo más bajo para todos los otros niveles fueron determinados y se encuentran en un círculo en la Fig. B-1.

El costo de cada celda representa la suma de costos que incluyen el sueldo del operador incluyendo sobre-tiempo y primas acarreo de inventario (traslado de inventario). Por ejemplo, la celda 0-0 representa no producción o producción 0, pero, 4 horas a \$ 2 por hora deben ser pagadas al operador cada día por un total de \$ 16 (como en el caso con todos los operadores SIMPRO programados por menos de 4 horas/día). La celda 1-0 también en este cargo de \$ 16 y, se le añade un costo de \$ 1.50 proveniente de una hora de producción del segundo día al tercer día. Los costos totales para todas las demás celdas fueron calculados en la misma forma.

Ya que los círculos nos indican las distribuciones de menor costo, las siguientes reglas de decisión pueden obtenerse de la matriz al momento de programar el Producto X para un período de dos días:

1. Si los requerimientos de producción son 0-4 horas, distribuya toda en el tercer día.
2. Si los requerimientos de producción son 5-8 horas, distribuya 4 al tercer día y 1-4 en el segundo día.
3. Si los requerimientos son 9-16 horas, distribuya 4 al segundo día y 5-12 al tercero.
4. Si los requerimientos son 17-24 horas, distribuya 12 al tercer día y 5-12 al segundo.

El siguiente paso en el proceso de programación dinámica es integrar los resultados presentados arriba con un día adicional de producción. Esto es, en el análisis de más arriba distribuimos los requerimientos en base a los dos días del período de tres días. La Programación Dinámica sólo trasladó la "solución" de una etapa a otra. La matriz presentada en la Fig. B-2 combina solución de la Fig. B-1 con la capacidad disponible durante el primer día del período demandado. Los costos en las celdas se encuentran mediante: (1) sumando a los costos de la solución para dos días, (2) aquellos costos asociados con la producción de la producción en el primer día del período estudiado. Para ilustrar, la solución óptima para dos días con una producción combinada de 10 horas en el segundo y tercer días se encontró en la Fig. B-1 como una distribución de 4 horas en el segundo día, y 6 para el tercero, con costos totales de \$ 26. En la Fig. B- 2, primero se incluyó este costo óptimo en todas las celdas de la columna 10, por ejemplo celdas 10-0 a 10-12. Luego, los costos de producción unitarios de 0-12 horas en el primer día se añadieron a cada celda respectivamente en la columna 10. Para las celdas 10-0 a 10-5, por ejemplo, estos cálculos fueron como sigue:

Celda	Costo óptimo para el 2do. + y 3er. día	Costo Salario 1 Día Produc. +	Costo Inventa. = 1er. día Produc.	Costo Tot. en Celda
10-0 \$	26	$4 \times 1 / 2 = 8$	$0 \times 1 / 3 = 0$	\$ 34
10-1	26	$4 \times 1 / 2 = 8$	$1 \times 1 / 3 = 3$	\$ 37
10-2	26	$4 \times 1 / 2 = 8$	$2 \times 1 / 3 = 6$	\$ 40
10-3	26	$4 \times 1 / 2 = 8$	$3 \times 1 / 3 = 9$	\$ 43
10-4	26	$4 \times 1 / 2 = 8$	$4 \times 1 / 3 = 12$	\$ 46
10-5	26	$5 \times 1 / 2 = 10$	$5 \times 1 / 3 = 15$	\$ 51

Los otros costos incluidos en la Fig. B-2 fueron derivados en forma similar.

Como en la Fig. B-1, los círculos en la Fig. B-2 representan los de menor costo. Para los requerimientos de determinada producción, igualmente se dan soluciones alternativas de menor costo y en la Fig. B-2 todas las celdas que nos dan estas alternativas se encuentran en un círculo. De esta matriz podemos obtener las siguientes reglas de decisión para programar el Producto X para un período de 3 días: (Ver Fig. 5-5).

1. Si las necesidades de producción son de 0-4 horas, distribuya toda la producción en el tercer día del período demandado.
2. Si las necesidades de producción son de 5-8 horas, distribuya 0 horas en el primer día, 4 horas en el tercero y el resto en el segundo.
3. Si las necesidades son de 9-12 horas, distribuya 0 horas al primer día, 4 al segundo y el resto al tercero.
4. Si las necesidades son de 13-16 horas, distribuya 4 al segundo día, 8 al tercero y el resto a cualquiera el primero o el tercero.
5. Si las necesidades son de 17-19 horas, distribuya 4 al segundo día; cualquier número de 9 al 12 inclusive al tercero y, el saldo necesario para completar de 1 al 4 en el primero.
6. Si las necesidades son de 20-28, distribuya 12 en el tercer día, 4 en el primero y el saldo en el segundo.
7. Si las necesidades son de 29-36 distribuya 12 en el tercer día, 12 en el segundo y el resto en el primero.