

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE QUIMICA**

(26)

**PLANEACION, ASIGNACION DE RECURSOS Y  
PROGRAMACION DE ALGUNOS CASOS DE LA  
PRODUCCION POR MEDIO DEL CPM Y MAP.**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO QUIMICO**  
**P R E S E N T A**

**ALBERTO HASTINGS BUTCHER**

**MEXICO, D. F.**

**1973**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A LA MEMORIA DE MIS PADRES

A MI ESPOSA

A LA UNIVERSIDAD... Y A SU AUTONOMIA

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	<u>ENRIQUE RANGEL TREVIÑO</u>
VOCAL	<u>EDUARDO ROJO Y DEL REGIL</u>
SECRETARIO	<u>GUILLERMO CARSOLIO PACHECO</u>
1er. SUPLENTE	<u>JOSE L. PADILLA DE ALBA</u>
2o. SUPLENTE	<u>MARIO RAMIREZ Y OTERO</u>

SITIO EN DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA Y EN DIFERENTES EMPRESAS

SUSTENTANTE: ALBERTO HASTINGS BUTCHER

ASESOR DEL TEMA: ING. ENRIQUE RANGEL T.

## INDICE

### INTRODUCCION

#### CAPITULO I

##### PLANEACION Y CONTROL DE PRODUCCION EN LA INDUSTRIA QUIMICA

- A) OBJETOS Y ETAPAS GENERALES
- B) PRONOSTICOS DE VENTAS
- C) PLANEACION DE LA PRODUCCION
- D) PROGRAMACION Y CONTROL DE PRODUCCION

#### CAPITULO II

##### CPM - SUS PROCEDIMIENTOS

- A) DEFINICIONES
- B) ORIENTACION DE LAS REDES
- C) PROPIEDADES Y CALCULOS DE LA RED
- D) FORMATOS
- E) ESTIMACION DE DURACIONES
- F) REFINACION DE LA RUTA CRITICA
- G) CONTINGENCIAS
- H) PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION
- I) COSTOS DIRECTOS
- J) COSTOS INDIRECTOS

#### CAPITULO III

##### APLICACION DEL CAMINO CRITICO ILUSTRACION CASO I

APLICACION DEL CPM A UN PROGRAMA DE PRODUCCION CON CAMBIO DE PRODUCCION URGENTES.

ILUSTRACION CASO 2

PROGRAMA DE PRODUCCION CON ALTERNATIVAS PARA ENCONTRAR CAUSA A PROBLEMAS DE CALIDAD.

ILUSTRACION CASO 3

USO DE LAS REDES Y RESOLUCION A TRAVES DE UN MODELO GRAFICO DE PRODUCCION, ENCAMINADO A ELEVAR EL NIVEL DE INVENTARIOS .

CAPITULO IV

REDUCCION AL TIEMPO DE DURACION DE LAS REDES

ILUSTRACION 4 - CASO 3

REDUCCION DEL COSTO DE MANUTENCION DE INVENTARIOS Y DURACION DEL PROGRAMA DE PRODUCCION - METODO GRAFICO.

ILUSTRACION CASO 4

OBTENCION DEL PROGRAMA DE PRODUCCION MAS ADECUADO EN BASE A LOS COSTOS DE PRODUCCION DIRECTOS E INDIRECTOS - PROCEDIMIENTO FORMAL.

CAPITULO V

ASIGNACION DE RECURSOS

ILUSTRACION CASO 5

ASIGNACION DE EQUIPO Y MANO DE OBRA A UN PROGRAMA DE PRODUCCION, MEDIANTE EL USO DEL MAP.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

## INTRODUCCION

En los últimos años, se ha extendido rápidamente el conocimiento de las técnicas de Planeación y Control de Producción, así como las de los inventarios. Paralelamente, las ventajas que trae consigo la aplicación del CPM ó Camino Crítico se han popularizado también. En la Industria Química las técnicas de Planeación y Control de Producción, hasta la fecha han estado divorciadas de las del PERT y el CPM, ya que estas últimas han sido dirigidas principalmente a la administración de construcción de plantas y proyectos de mantenimiento, lo cual significa no haber aprovechado extensivamente la utilidad de los métodos y procedimientos -- que se derivan de la ruta crítica, cuyo auxilio a las técnicas ya mencionadas son de gran valía, como elementos de eficiencia y ahorro en los costos.

El objeto de esta tesis es ilustrar cuando y como procede la aplicación de la ruta crítica, así como de aquellas técnicas colaterales, que de la misma se derivan, como herramientas importantes en la planeación y control de la producción, y por lo tanto de los inventarios característicos de la Industria Química. Además se incluye la aplicación específica de una de las técnicas más valiosas del CPM, a la que se ha denominado "MAP ó MAPA DE UN PROGRAMA" cuyo objetivo es asignar óptimamente los recursos necesarios en la producción.

Con el fin de hacer más clara la exposición de las técnicas que se han mencionado, han sido desarrollados varios casos prácticos, típicos de la Industria Química, haciendo hincapié sobre las ventajas en cuanto a la aplicación de las técnicas ya mencionadas, utilizando cálculos manuales ya que las aplicaciones mediante los sistemas de procesamiento electrónico de datos aunque frecuentes, resultan mínimas, si se comparan con las resoluciones que deben efectuarse manualmente.

Adicionalmente a lo ya mencionado, se han tratado de establecer las premisas ne cesarias para la correcta aplicación del CPM, así como sus técnicas derivadas, premisas que desde luego deberán considerarse como una guía para definir el área de problemas en que resulta útil la aplicación del CPM y el MAP.



## CAPITULO I

### Planeación y Control de Producción en la Industria Química

#### A) OBJETO Y ETAPAS GENERALES

Con el objeto de lograr una clara idea de donde y cuando puede aplicar el uso de la técnica del CPM y MAP dentro de la planeación y programación de la producción, en la Industria Química, primeramente será conveniente resumir los procedimientos y técnicas mas utilizadas en dicha industria.

1.- De acuerdo al diagrama 1.1 la función general de Planeación se ilustra en la siguiente forma:

- a) Pronósticos de Venta.- Se predice la demanda del producto expresando las cantidades en sus unidades de manejo (generalmente toneladas).
- b) Control de los Pronósticos.- El control de la demanda real y su comparación contra la pronosticada, permite obtener la precisión de los pronósticos, así como las características propias de la demanda, como son la estacionalidad y los ciclos.
- c) Requerimientos Totales.- A la demanda pronosticada se adicionan los requerimientos de materiales necesarios para prever la precisión del pronóstico y la estacionalidad.
- d) Planes de producción e inventarios.- Los requerimientos totales se distribuyen a lo largo del período por planear, considerando las capacidades de producción y los productos intermedios necesarios, obteniendo los planes de producción y los planes de inventarios de producto terminado e intermedio.

DIAGRAMA DE LA FUNCION GENERAL

PLANEACION

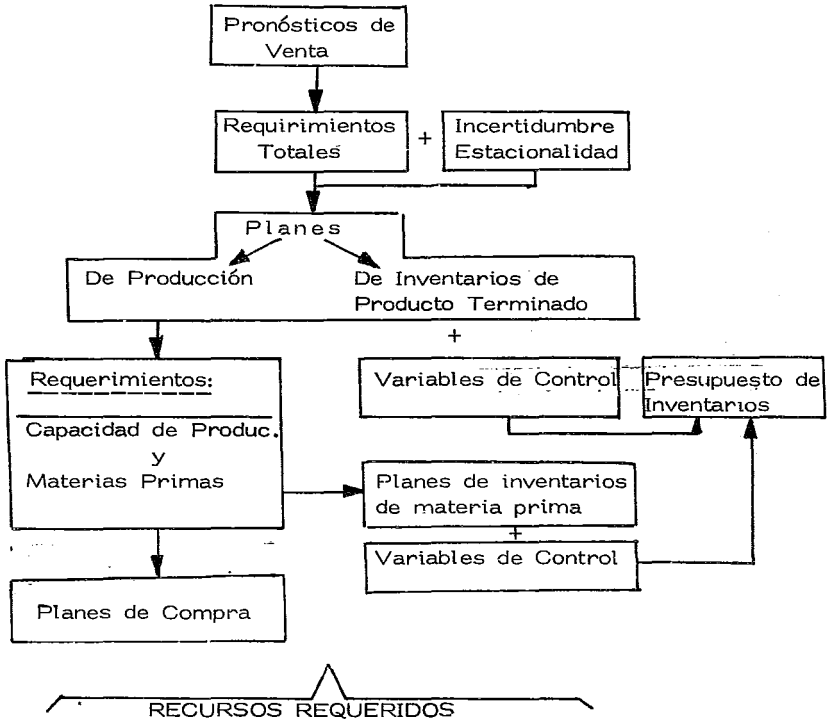


Diagrama 1.1

e) Planes de Recursos.- Se elaboran los planes de equipo (turnos y % de capacidad) y de materiales (materias primas y empaques) así como la mano de obra necesaria. Los planes de inventarios de materia prima, la estrategia de compra y en ocasiones las necesidades de recursos de distribución (almacenaje y transportes) son obtenidos en la última etapa de la planeación.

2.- De acuerdo al diagrama 1.2, la función general de Programación y Control se describe en la siguiente forma:

- a) Programas de Producción.- Partiendo de los planes de producción e inventarios, se afinan las variables de control de los inventarios con la información de los pronósticos a corto plazo. La programación es la asignación de los recursos relacionados a calendarios específicos de ejecución.
- b) Comportamiento Real.- La demanda real y la producción real, afectan a los inventarios que absorben las variaciones contra lo pronosticado y consecuentemente planeado y programado.
- c) Control.- El control de la producción implica la comparación del comportamiento real contra lo programado. El control de los inventarios significa la disminución o aumento de los niveles de inventarios, para mantener la satisfacción de la demanda de acuerdo al comportamiento real y esperado de ésta, así como para ajustar los faltantes o sobrantes resultantes del comportamiento de la producción.

DIAGRAMA DE LA FUNCION GENERAL

PROGRAMACION Y CONTROL

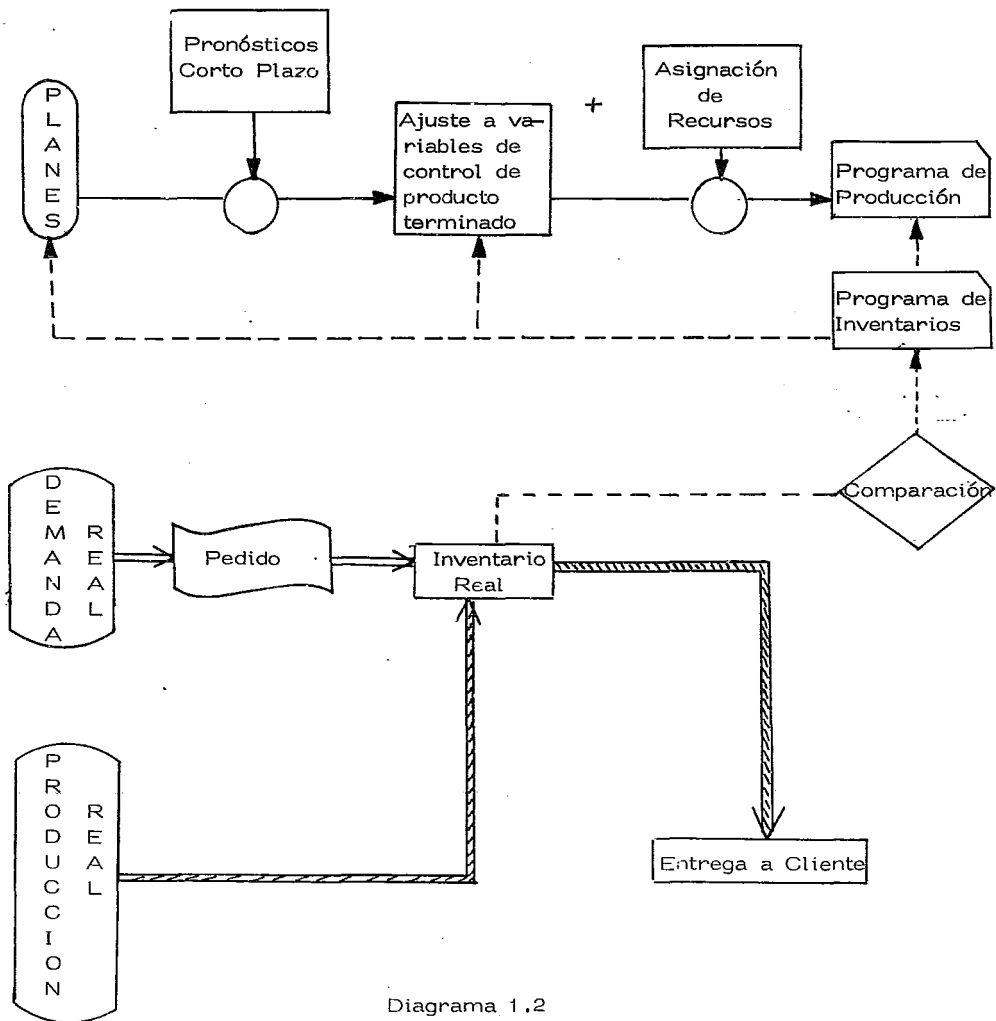


Diagrama 1.2

El control es un proceso contínuo que origina ajustes sistemáticos a los planes, a las variables de control de inventarios y/o a los programas de producción. Las compras de materias primas y empaques, se afectan en consecuencia a los cambios mayores sufridos en los programas mencionados.

3.- En el diagrama 1.3, se aprecian las relaciones que entre sí guardan los efectos de un adecuado o inadecuado sistema de planeación y control de producción en la Industria Química:

- a) Sobre los niveles de inventarios repercuten la calidad de los planes y programas de producción e inventarios. Los niveles altos de inventarios afectan al capital de trabajo de la empresa aumentando el activo circulante y consecuentemente la inversión de la misma. Adicionalmente, originan mayores gastos de financiamiento reflejados en los intereses por pago de deudas.
- b) Niveles excesivos de inventarios ocasionan mayores gastos por manejo de materiales, incluyendo los de almacenaje, como pueden ser las rentas de bodegas, los seguros, la mano de obra, controles administrativos, etc.
- c) Los niveles insuficientes de inventarios ocasionan retraso de pedidos que pueden repercutir en pérdida de ventas. En la mayoría de las veces, los programas de entregas se vuelven emergencias sistemáticas que encarecen el manejo de materiales y los costos de transporte de entregas.

CONTROL DE PRODUCCION EN LA INDUSTRIA QUIMICA

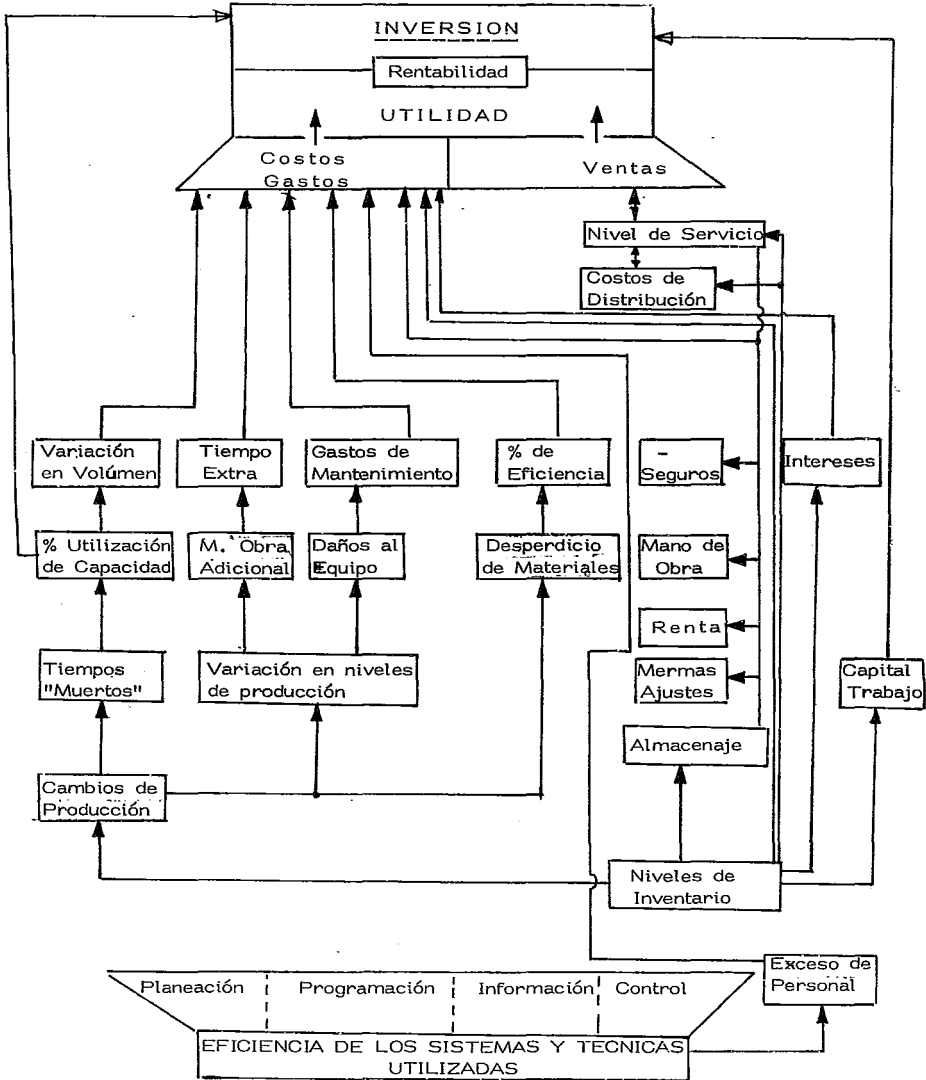


Diagrama 1.3

- d) Niveles bajos en los inventarios cuando se habla de multi-productos, originan más cambios de producción con los consecuentes desperdicios de materiales que afectan a la eficiencia de conversión.
- e) Inventarios inadecuados para soportar la estacionalidad de la demanda, obligan a cambiar frecuentemente la capacidad de la planta, trastornando las variables de control del proceso, que puede repercutir en daños al equipo. Otras veces, se requiere de tiempo extra de mano de obra para trabajar turnos adicionales. Al igual que en los cambios de producción, la variación frecuente de los niveles de producción representan tiempos muertos de equipo, lo que significa utilizar con menor eficiencia la inversión fija de la empresa, y por otro lado, un costo mayor, por la reducción en volumen que absorbe menos costos fijos.

En términos generales, de una u otra forma, sea a través de los costos, gastos o ventas, un nivel inadecuado de inventarios, producto de un sistema ineficiente de planeación y control de producción, afectará en la misma medida de dicha ineficiencia a la utilidad de la empresa. Las inversiones mal aprovechadas por la misma causa, influyen junto con la utilidad a disminuir la rentabilidad, indicador económico más importante para una empresa industrial.

El uso oportuno de una técnica o sistema eficiente, puede contribuir en mayor medida al mejor aprovechamiento del talento del personal técnico dedicado a cualquiera de las funciones hasta aquí mencionadas.

B) PRONOSTICOS DE VENTA

Los pronósticos de venta, en la forma en que más se utilizan para planear y programar la producción en la Industria Química, se pueden analizar desde los siguientes aspectos:

- Plazo que cubren
- Frecuencia de revisión
- Información que contienen
- Técnicas utilizadas para su determinación

Según sea el tipo de productos que se manejen y las condiciones del mercado en los que se desenvuelva la empresa, podrán variar las especificaciones de cada uno de los aspectos de los pronósticos arriba señalados. Sin embargo, es posible obtener un modelo, de acuerdo al uso más generalizado. Por otro lado, antes de llegar a las especificaciones de los pronósticos que supuestamente requiere una empresa, deberá analizarse el costo de su obtención contra el costo de la imprecisión de los mismos, y llegar al punto óptimo.

El siguiente cuadro muestra la relación entre los diferentes tipos de pronósticos de acuerdo al plazo que cubren, la frecuencia de revisión, sus principales usos y la especificación de la información contenida.



NOMBRE	PERIODO QUE CUBREN	FRECUENCIA DE REVISION	PRINCIPALES USOS	ESPECIFICACIONES DE LA INFORMACION CONTENIDA	TECNICAS DE PRONOSTICOS A UTILIZAR								
A Largo Plazo	Más de un año, generalmente de 3 a 10	Mínimo cada 2 años.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Determinar las capacidades de producción requeridas a largo plazo.</li> <li>- Determinar logística de localización de nuevas plantas y centros de almacenaje y distribución de acuerdo a las zonas de consumo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Por línea de productos</li> <li>-Por zona de consumo</li> <li>-Cifras (Tons o piezas) por año.</li> <li>-Especificación de estacionalidad y/o ciclos de demanda</li> <li>-Rangos de error</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Modelos econométricos.</li> <li>-Investigación de industrias consumidoras</li> <li>-Tendencias lineales y exponenciales</li> <li>-Modelos de regresión y correlación.</li> </ul>								
A Media no plazo	No menos del año, generalmente cubren un año	Mínimo c/año	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Planes anuales de producción</li> <li>-Planes anuales de inventarios</li> <li>-Afinación de planes a largo plazo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Por línea de productos y por producto</li> <li>-Por zona de consumo y por cliente</li> <li>-Cifras por mes y especificación en % de la semana más alta vs. promedio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tendencias lineales y exponenciales</li> <li>-Encuestas directas</li> <li>-Modelos de regresión y correlación</li> <li>-Curvas de estacionalidad</li> </ul>								
A Corto Plazo	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Menos del año</li> <li>-Desde una semana hasta 3 meses dependiendo el tipo de operación</li> </ul>	Igual al período que cubran. Eje.: Si cubren un mes, deberán ser mensuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Elaboración de Programas de producción y ajustes a las variables de control de los inventarios.</li> <li>-Programas de compras de materias primas y empaques</li> <li>-Programas e itinerarios de la distribución de productos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Por línea de productos, por producto y presentaciones</li> <li>-Por zona de consumo y cliente</li> </ul> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Cifras por</td> <td>Si el período que cubre es:</td> </tr> <tr> <td>Mes</td> <td>Trimestral</td> </tr> <tr> <td>Quincena</td> <td>Semestral</td> </tr> <tr> <td>Día</td> <td>Semanal</td> </tr> </table>	Cifras por	Si el período que cubre es:	Mes	Trimestral	Quincena	Semestral	Día	Semanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tendencias lineales y exponenciales</li> <li>-Encuestas directas</li> <li>-Promedios móviles</li> <li>-Promedios ajustados exponencialmente.</li> </ul>
Cifras por	Si el período que cubre es:												
Mes	Trimestral												
Quincena	Semestral												
Día	Semanal												

Nota: Las revisiones obviamente deberán de elaborarse con suficiente anticipación al período que cubren.

### Técnicas

Las técnicas utilizadas para obtener los pronósticos, se pueden clasificar en la siguiente forma:

- Las que se basan en las opiniones subjetivas del personal de comercial.
- Las que recurren a índices macroeconómicos y en los medidores de la actividad de la industria en cuestión.
- Aquellas que se basan en promedios de las ventas reales del pasado.
- Las que utilizan análisis estadísticos de las ventas reales.
- Las que combinan cualquiera de las mencionadas.

1.- Promedios Movibles.- Las ventas de  $n$  períodos se suman y se dividen entre el número de períodos considerados ( $n$ ).

Se define como: 
$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Al siguiente período, se elimina el período más antiguo y se añade el inmediato anterior, o sea el más reciente.

Esta técnica es adecuada para seguir a las tendencias, horizontales, aún cuando resulta ineficiente para estimar variaciones fortuitas y estacionalidades, así como tendencias ascendentes y decrecientes, salvo en el caso del diagrama Z en el que la curva de los promedios de los valores acumulados indica las tendencias.

2.- Promedios Ponderados Exponencialmente.- Se ponderan con más

---

importancia a los datos de consumos, mientras más recientes y cercanos sean. Matemáticamente se define como:

8.-

$$D_p = (1-w)d_{-1} + (1-w)wd_{-2} + (1-w)w^2 d_{-3} + (1-w)w^{n-1}d_{-n}$$

$$0 < w < 1$$

w = Factor de peso o ponderación

$D_p$  = Demanda pronosticada para el siguiente período

$d_{-n}$  = Demanda del período más antiguo

Cuando se haya obtenido el pronóstico del primer período, con este sistema, los siguientes pronósticos se obtienen más fácilmente mediante:

$$D_p = (1-w)d_{-1} + w D_{p-1}$$

$D_{p-1}$  = Pronóstico obtenido para el período anterior.

Mientras mayor sea el valor de w, más importancia se le dará a los valores recientes y menos a los antiguos, con lo cual se "persigue" en forma ligeramente defasada a las variaciones bruscas, alejándose de la tendencia central.

### 3.- Tendencias Lineales

Cuando la estadística de datos tiene una tendencia definida, se puede encontrar a la recta que pasa en forma equidistante entre los puntos, mediante la aplicación de mínimos cuadrados.

Ecuación de la recta:  $Y = a + bx$

$$\sum Y = Na + b \sum X \quad ; \quad \sum XY = a \sum X + b \sum X^2$$

y = Ventas en los períodos pasados

x = Cada uno de los períodos

Para resolver rápidamente, se puede tomar como base el punto medio de los períodos para que  $\sum X = 0$ .

Cuando la demanda es decreciente, entonces  $Y = a - bx$

4.- Tendencias no Lineales.-

La curva más común es la hipérbola:  $Y=a+bx+cx^2$ , y se puede

encontrar mediante los mínimos cuadrados:

$$\begin{aligned}\sum Y &= Na + b \sum X + c \sum X^2 \\ \sum XY &= a \sum X + b \sum X^2 + c \sum X^3 \\ \sum X^2 Y &= a \sum X^2 + b \sum X^3 + c \sum X^4\end{aligned}$$

Aplicable a demandas con ciclos espaciados y graduales, o a la vida de un producto.

5.- Demanda con Tendencia Exponencial.-

En las tendencias lineales, las ventas crecen por año en una cantidad equivalente a b (constante). Sin embargo, si el desarrollo o crecimiento se realiza según un porcentaje fijo, se aplica la ecuación exponencial:

$$Y=ab^X$$

$$\log y = \log a + x \log b$$

Si se grafica sobre escala logarítmica (en Y) y aritmética en X, se pueden aplicar las mismas ecuaciones que para las tendencias lineales:

$$\begin{aligned}\sum (\log y) &= N \log a + (\log b) \sum X \\ \sum (x \log y) &= \log a \sum x + (\log b) \sum x^2\end{aligned}$$

6.- Análisis de Correlación y Regresión.-

Cuando las ventas del producto en cuestión, se pretenden relacionar con índices o factores como lo pueden ser los macroeconómicos, o los relacionados a la industria a la que se pertenece, se aplica la regresión matemática con el mismo procedimiento que el anotado en las tendencias. Sin embargo, las regresiones pueden requerir de tiempo y mayores recursos cuando se correlacionan a la demanda del producto con otras variables que consideran en un modelo matemático diversos aspectos de la economía que afecta la demanda.

Las relaciones matemáticas entre las diferentes variables que se analizan se les llama Modelo Econométrico

#### 7.- Precisión.-

La precisión de los pronósticos obtenidos mediante las técnicas antes mencionadas, se puede determinar mediante la medición de la dispersión de los valores reales en el pasado contra los promedios o los valores que coinciden con las curvas de regresión.

Esto es, la determinación del error mediante la desviación

estándar:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{N}}$$

Valor promedio o que coincide  
 $\bar{Y}$  = con la línea de regresión.

El error, sea calculado estadísticamente, o estimado de otra forma, es importante para el establecimiento de los inventarios de seguridad que absorban dentro de lo previsible las desviaciones al pronóstico.

#### 8.- Encuestas Directas.-

Sea que se combinen o no con las técnicas antes descritas, la comunicación directa con los clientes permite obtener una sensibilidad real del mercado. Mientras más programadas y sistemáticas sean éstas encuestas, aportarán información más actualizada sobre los movimientos del mercado, que en la industria química es vital para un buen pronóstico.

C) PLANEACION DE LA PRODUCCION

1.- Clasificación de Producción

En la Industria Química deben de considerarse dos grandes clasificaciones que afectan la forma a realizarse la planeación de la producción:

- En base a su presentación  $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Empacada} \\ - \text{A Granel} \end{array} \right.$
- En base a su sistema de producción  $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Producción continúa} \\ - \text{Producción en lotes} \end{array} \right.$

El tipo de presentación puede afectar el método a planear y controlar los inventarios. Mientras que dentro de la presentación empacada pueden esperarse muchos productos, a granel es de confiar que habrá pocos productos o incluso uno solo por planta.

De acuerdo al sistema de producción, cuando es continuo implica que el equipo está diseñado para un sólo proceso para un sólo producto, o a lo más dos o tres productos. Esto significa también que no habrá paros o tiempos muertos por cambios de producción y generalmente coinciden con producción manejada a granel, sea en tolvas, silos, tanques, etc. Cuando es producción en lotes, implica que el equipo está diseñado para producir varios productos, que significará cambios en producción con tiempos muertos, y generalmente coinciden con producción manejada en empaques, sea en bolsas, tambores, cajas, etc.

## 2.- Producción Contínua

En este caso, la diferencia entre el pronóstico y el plan de producción lo constituyen los incrementos en los inventarios, es decir:

PRODUCCION PLANEADA = DEMANDA PRONOSTICADA + INCREMENTO EN INVENTARIOS

INCREMENTO EN INVENTARIOS = INVENTARIO FINAL - INVENTARIO INICIAL

Cuando el inventario final es mayor que el inicial, efectivamente será un incremento, en el caso contrario, se tratará de un decremento y la producción planeada será menor que el pronóstico.

Puesto que en los inventarios reside la importancia de la planeación de producción, conviene señalar los objetivos de los inventarios a planear:

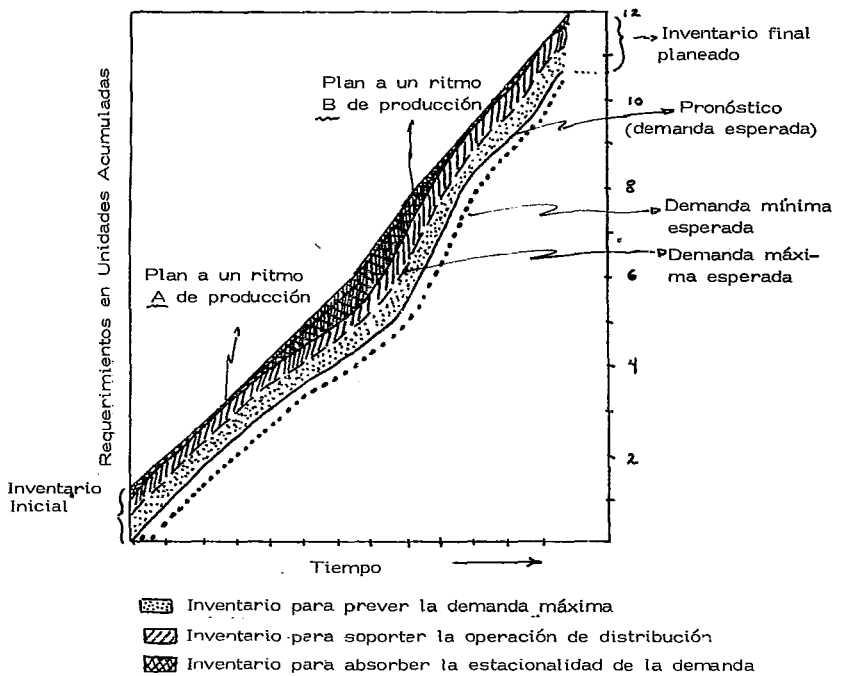
- Para absorber los errores o desviaciones del pronóstico
- Para absorber la estacionalidad de la demanda
- Para uniformizar en lo posible el ritmo de producción
- Para prever anomalías o paros de la planta
- Para proporcionar el inventario de operación requerido

### 2.1 Procedimiento Gráfico

En la gráfica 1.1 se ilustra la forma en como se pueden considerar las porciones de inventarios que respectivamente se requieren para satisfacer los elementos antes indicados. El plan de producción se elaboró a dos ritmos de capacidad; el primero que cubre de enero a junio cuya capacidad es inferior a la del segundo período de julio a diciembre.

Del valor máximo correspondiente a la producción planeada (12 M unidades) se entiende que es el equivalente a los requerimientos totales, mientras que el total de producción podrá conocerse al restar el inventario inicial del total de requerimientos.

GRAFICA 1.1



En general, la planeación de producción consistirá en equilibrar los requerimientos contra la capacidad de producción disponible en forma acumulada.



## 2.2 Procedimiento Tabular

Otro método muy útil para planear la producción y los inventarios, cuando la estacionalidad de la demanda requiere de un plan de inventarios costoso, es la técnica tabular derivada de la programación lineal. Permite minimizar los costos de inventario y los costos de trabajar la planta, en tiempo extra, surtiendo la demanda pronosticada.

El procedimiento consiste en analizar renglón por renglón los recursos a planear. Supongamos en el siguiente ejemplo que la demanda de enero a febrero es menor que la capacidad y que la de marzo y abril son mayores que las capacidades disponibles de esos meses.

Mes	Demanda	Capacidad	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL	
			Normal A	Extra A <sub>1</sub>	Normal B	Extra B <sub>1</sub>	Normal C	Extra C <sub>1</sub>	Norm. D	Extra D <sub>1</sub>
Enero	X <sub>1</sub>	Disponibles Costo/Ton Planeada	A 0 X <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> 5						
Febrero	X <sub>2</sub>	Disponibles Costo/Ton Planeada	A-X <sub>1</sub> 10	A <sub>1</sub> 15	B 0 X <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> 5				
Marzo	X <sub>3</sub>	Disponibles Costo/Ton Planeada	A-X <sub>1</sub> 20	A <sub>2</sub> 25	B-X <sub>2</sub> 10	B <sub>1</sub> 15	C 0	C <sub>1</sub> 5		
Abril	X <sub>4</sub>	Disponibles	A-X <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	0	B <sub>1</sub>	0	0	D	D <sub>1</sub>
		Costo/Ton Planeada	30 A-X <sub>1</sub>	35 A <sub>1</sub> -Y	- 0	25 B <sub>1</sub>	- 0	- 0	0 D	5 D <sub>1</sub>

Se supone que el costo por tonelada sube en 5\$ por el hecho de trabajar tiempo extra, y el costo de inventarios es de 10\$/Ton por cada mes que se tiene en inventario.

Para el mes de enero:

- a) A y  $A_1$  se bajan automáticamente al renglón de disponible.
- b) Se compara  $X_1$  vs A; si  $A > X_1$ ,  $X_1$  se anota en la producción planeada.
- c)  $A - X_1$  será el inventario disponible para febrero y el costo adicional por tonelada será de 10\$. Lo mismo aplica con  $A_1$  que no se utilizó en enero, aunque su costo es de 15\$/Ton adicional.

Para el mes de febrero:

- a) Puesto que  $B > X_2$ , los pasos a y b arriba indicados se siguen en la misma forma.
- b) Por lo tanto, los inventarios de que se podría disponer en marzo serían  $F - X_1$ ,  $A_2$ ,  $B - X_2$  y  $B_1$ , cada parte con costos unitarios adicionales diferentes.

Para el mes de marzo:

- a) Como  $C < X_3$ , C se anota en el renglón de planeada
- b) Como  $C + C_1 < X_3$ ,  $C_1$  se anota también en el renglón de planeada (nótese que ya no serán disponibles para abril).
- c) Como  $X_3 - (C + C_1)$  tiene que quedar satisfecha en marzo, esta diferencia se asigna entre  $A - X_1$ ,  $A_2$ ,  $B - X_2$  y  $B_1$ , eligiendo la prioridad en función del costo menor. Para este ejemplo supongamos que  $X_3 - (C + C_1)$  fué igual a  $B - X_2$ .

Para el mes de abril :

- a) En abril, como  $X_4 > D+D_1$ ,  $D+D_1$  se anotan en planeada.
- b) Como  $X_4 - D+D_1 > B_1+A-X_1$  estas dos producciones se planean.
- c) Como  $X_4 - (D+D_1) - (B_1+A-X_1) < A_1$ , el sobrante que pasará a mayo será  $A_1 - Y$ , siendo Y el primer miembro de la desigualdad anterior que es el que se planea.

Para obtener el total planeado por mes se suman las cifras de "planeada" para cada una de las columnas.

### 3.- Por ciento de capacidad utilizada

Cuando una misma planta produce diferentes productos, el por ciento de la capacidad utilizada por período es uno de los datos más importantes a determinar.

$(P_1/C_1 + P_2/C_2 + P_3/C_3 + \dots + P_n/C_n) \times 100 = \underline{CP}$  = Por ciento de capacidad utilizada, o capacidad planeada en donde:

$P_n$  = Cantidad a producir del producto n

$C_n$  = Capacidad de producción estándar del producto n como si fuera el único que se programara en la planta.

Evidentemente  $C_1 \neq C_2 \neq C_3 \dots \neq C_n$

Si  $C_1 = C_2$ , no tendría importancia su distingo desde el punto de vista de capacidad.

De aquí, que solamente conociendo la mezcla de los productos a planean, se conocerá la capacidad estándar de la planta para ese período:

$$\text{Capacidad estándar (Planeada)} = \frac{\text{Toneladas planeadas}}{C_p \times 0.01}$$

#### 4.- Producción en Lotes

Este tipo de producción, puede servirse de las técnicas señaladas para la producción continúa; puesto que es una forma de conocer en forma aproximada la situación general de la planta. Sin embargo, para poder conocer con suficiente exactitud la capacidad utilizada, será necesario desarrollar el proceso que a continuación se describe:

- a) El pronóstico de ventas debe de reagruparse para poder obtener los subtotales de aquellos productos de igual capacidad de producción.
- b) Determinar en forma preliminar el número de productos necesarios en base a su presentación. Por presentación o variedad se entiende al mismo producto pero con diferente color u otra propiedad física que exigirá un cambio de producción. No entran aquí los distingos por empaque.
- c) Para cada grupo de productos de igual capacidad se obtiene su por ciento  $C_p$  correspondiente, y se procede a una planeación de inventarios vs. capacidad disponible de acuerdo a los procedimientos anotados en el punto 2.
- d) Este primer paso de planeación dará una idea de la cercanía o lejanía de ocupar el 100% de la capacidad productiva, lo que proporcionará un juicio para la determinación de los lotes económicos de producción.
- e) Se determinan para cada producto los lotes económicos de producción y el número de cambios para el período planeado.

$Q_n$  = Lote económico de producción del producto n.

$D_n$  = Demanda o requerimiento total del producto n.

$N_n = \frac{D_n}{Q_n}$  = Número de cambios de producción anuales originados por el producto n.

$$N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n = N_T$$

$N_T$  = Número de cambios (o paros) de producción al año

$\Theta_C$  = Tiempo total/año de paros de producción. Se calcula en función de  $N_T$

Si  $C_P$  = Por ciento de capacidad planeada a utilizar:

$D_T$  = Demanda total anual

$$\frac{D_T}{C_P \times 0.01} = R_S = \text{Capacidad disponible total en Tons}$$

Si  $\Theta_T$  = Horas al año disponibles para producir:

$$\frac{R_S}{\Theta_T} \times \Theta_C = R_C = \text{Capacidad anual (en Tons) pérdida por cambios}$$

$$\frac{R_S}{\Theta_T} - \frac{R_S}{\Theta_T} \times \Theta_C = R_E = \text{Capacidad estándar anual ajustada}$$

$$R_E = R_S \left( 1 - \frac{\Theta_C}{\Theta_T} \right)$$

La capacidad estándar  $R_E$  variará según el número de cambios al año.

Cuando  $\frac{R_E}{R_S} \times 100 < C_P$  significa imposibilidad de efectuar  $N_T$  cambios.

Para este caso, se iguala:  $C_P = \left( 1 - \frac{\Theta_C}{\Theta_T} \right) \times 100$

Con  $C_P$  en tanto por uno:

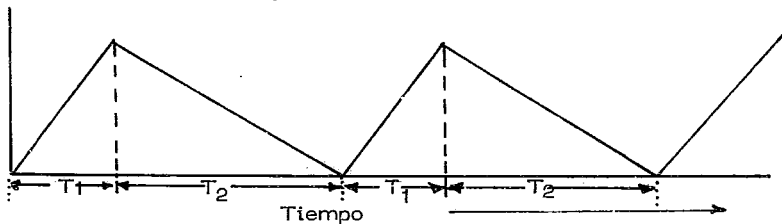
$$\Theta_C = \Theta_T (1 - C_P)$$

De donde se reduce el  $N_T$  máximo

El ajuste de los lotes de producción se efectúa proporcionalmente en función de su tamaño original.

### 5.- Lotes económicos de producción

La planeación, programación y control de la producción y los inventarios están tan íntimamente ligados cuando se manejan con lotes de producción, que antes de seguir adelante, conviene resumir su técnica:



Surtido de Material durante  $T_1$

Consumo de Material durante  $T_1$  y  $T_2$

$C$  = Capacidad de producción anual

$P$  = Demanda anual

$Q$  = Lote económico de producción en toneladas

$A$  = Costo de cambio de producción (materiales de limpieza, mano de obra adicional y el tiempo cuando se está a máxima capacidad)

$i$  = Costo anual de mantener una tonelada en inventario

Durante el tiempo  $T_1$  el inventario aumenta a razón de  $\frac{C-P}{T_1}$

El inventario máximo llega a ser:  $Q \left(1 - \frac{P}{C}\right)$

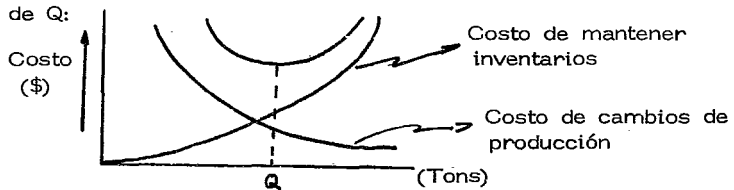
El inventario promedio es  $\bar{I} = \frac{Q(1-P/C)}{2}$ ; estos dos conceptos son básicos en el diseño de la capacidad de tanques, en el caso de materiales a granel.

$$Q = \sqrt{\frac{2AP}{i(1-P/C)}}$$

es el lote económico de producción que se encuentra derivando la ecuación del costo total, siendo  $Q$  el mínimo de la suma de las dos curvas de costo:

- Costo de mantención de inventarios que aumenta en función de Q.

- Costo de cambios de producción que es inversa al tamaño de Q:



$$\text{Si } N = \frac{P}{Q} = \frac{P}{\sqrt{\frac{2AP}{i(1-P/C)}}} = \text{Número de cambios al año.}$$

$$N = \sqrt{\frac{Pi(1-P/C)}{2A}}$$

El determinar y usar el número de corridas/año,, se ha llamado "sistema de ordenes de ciclos fijos". Para el caso en que una secuencia de productos es fija, (neutros, blancos, rojos, negros, etc), es útil calcular el número de ciclos o corridas del grupo de productos:

$$N = \sqrt{\frac{\sum_j P_j I_j (1-P_j/C_j)}{2A}}$$

A = Costo total de cambios de producción por ciclo.

$P_j$  = Consumo de cada uno de los productos.

$I_j$  = Costo unitario de mantención de cada producto en inventario.

$C_j$  = Capacidad de producción de cada producto.

De N se deriva el tiempo de cada ciclo y por lo tanto, el porcentaje de la demanda total a producir en cada uno.

Por otro lado, el funcionamiento y uso de los lotes de producción es el siguiente:

$\Theta_E$  = Tiempo de entrega, o sea los días que transcurren desde que se ordena producir Q, hasta que se empieza a alimentar al inventario.

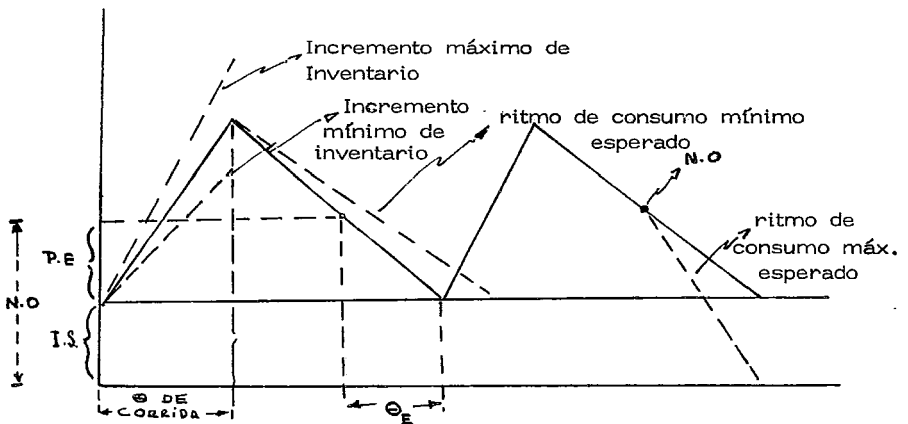
$$\frac{P}{365} \times \Theta_E = P_E = \text{Consumo en Tons durante el período de entrega}$$

I.S. = Inventario de seguridad para absorber posibles desviaciones a lo pronosticado, o atrasos en el tiempo de entrega. Teóricamente no deberá tocarse dicho inventario.

Por lo tanto, Q deberá ordenarse en el momento en que haya en existencia  $P_E + I.S.$  a lo que se le ha llamado punto de orden:

$$\text{Punto o nivel de orden} = NO = P_E + I.S.$$

Debe de verificarse que siempre  $Q \gg P_E$ , si no, será necesario igualar Q con  $P_E$ . Gráficamente, la representación es la siguiente:

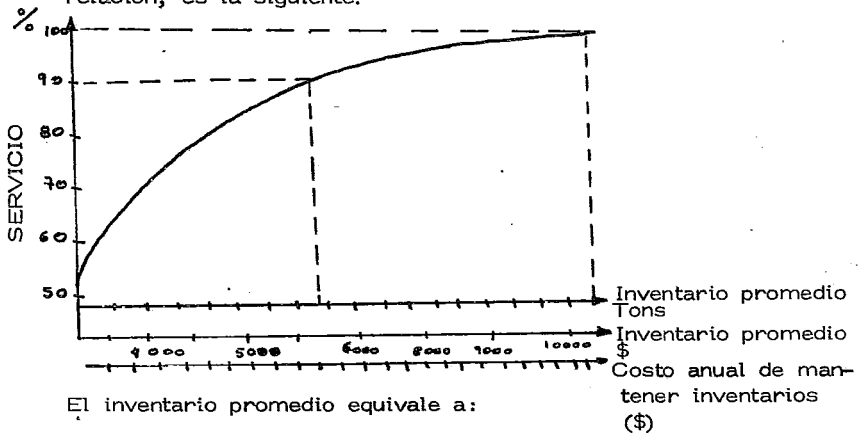




La determinación del I. S. estará siempre en función de  $P_E$ , ya sea por desviaciones a lo pronosticado, o por atrasos en el suministro de Q.

La mejor forma de determinar I. S. será en base a la estadística de las variaciones contra la demanda promedio. La frecuencia dará un índice del servicio que se quiera alcanzar, es decir, para lograr un servicio (o seguridad de nunca quedarse sin inventario) del 100% puede resultar el doble del costo necesario para lograr uno del 90%. La curva tipo de esta

relación, es la siguiente:



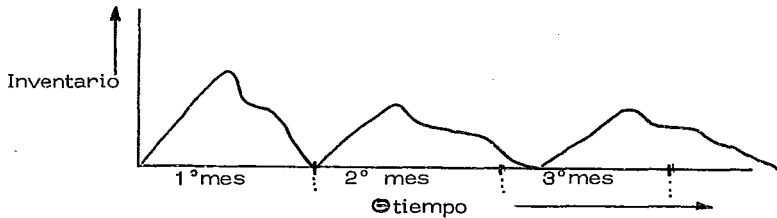
$$\bar{I} = Q/2 (1-P/C) + I. S.$$

La suma de todos los  $\bar{I}$  proporciona los elementos para determinar las necesidades de almacenaje.

En general existen dos tipos de sistemas de control de inventarios:

- a) Cantidad fija en tiempo variable, equivalentes al lote económico y al punto de orden.

- b) Cantidad variable en tiempo fijo, o sea que cada período fijo (generalmente cada mes), se determina lo que procede ordenar producir, en función del inventario existente y la demanda inmediata.



El ejemplo clásico de este sistema es el de las acostumbradas revisiones mensuales de los mínimos y los máximos niveles de los inventarios. Su aplicación procede cuando:

- No existe un consumo continuo para el producto.
- La estacionalidad de la demanda es muy pronunciada en algunos meses del año.
- Se requiere un balance continuo de los requerimientos, producciones posibles y estado de los inventarios.

Este tipo de control de los inventarios aplica más a los casos de producción continua en donde los inventarios son a granel y su nivel de existencia es el principal indicador. Su aplicación en el caso de la producción en lotes se hace a través del cálculo del número de corridas anuales (óptimas) por realizar (N).

Estos últimos conceptos sobre la relación de planeación de producción y control de inventarios, ejemplifica la forma en como se origina el ordenamiento de la producción. La programación propiamente dicha se trata a continuación.

D) PROGRAMACION Y CONTROL DE PRODUCCION

La programación de producción es la asignación juiciosa de los recursos, siendo estos:

- Maquinaria y equipo
- Hombres
- Materiales (materias primas y productos intermedios)

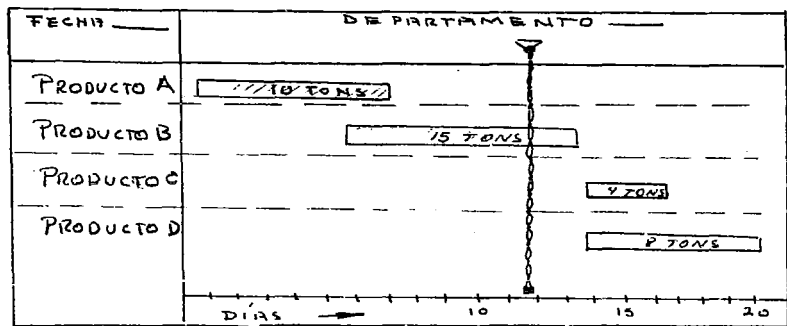
La programación parte de un plan de producción, ajustado por un ordenamiento en base a los inventarios, como antes se mencionó.

En la industria química la asignación más importante es la del equipo; por lo tanto, los programas relacionan a un calendario, el producto a obtener de cada planta, departamento o máquina según el detalle necesario.

Al igual que el caso de la planeación, es necesario calcular en cada programa los CP (porcentaje de capacidad utilizada) al nivel mensual, quincenal o semanal, resultantes de aplicar las capacidades de producción estándar por hora, por día o por mes, según el caso, para cada producto. Inmediatamente después, deberá analizarse los turnos de mano de obra requeridos.

1.- Las gráficas de Gantt son las más utilizadas para detallar

los programas:



→ Cantidades Producidas

Dependiendo de los procedimientos administrativos, los programas sobre gráficas de Gantt pueden llevarse sobre tableros diseñados específicamente para ese uso, o simplemente impresos en hojas que se distribuyen a los interesados.

Es común un indicador que se corre conforme el tiempo transcurrido indicando cuanto debería de haberse producido en ese momento, para comparar contra lo realmente producido que puede "marcarse" en la gráfica mediante un rayado a lápiz de colores.

- 2.- El control de lo producido en producción tipo continuo, se lleva mediante la cuantificación de lo empacado o embarcado de la planta adicionando o restando la diferencia en los inventarios iniciales y reales.

En el caso de la producción por lotes, debe haber un control al cumplimiento de las fechas de programación de las ordenes de producción. En este caso, cuando se va a ordenar un material, debe cuidarse de verificar:

- La diferencia entre la existencia real y el nivel de orden
- Las ordenes de producción en proceso.

De tal manera que:

Cantidad a ordenar =  $Q+N.O - \text{Inventario Real} - \text{Ordenes en proceso}$

### 3.- Consumos de materias primas y productos intermedios

Cada producto debe contar con un formulario específico de materias primas y productos intermedios, necesarios por unidad de producto.

Cuando se elaboran los planes de producción, estos formularios son la clave para determinar los consumos de materias primas por año, y los productos intermedios que afectan a los planes de producción de las plantas que los producen. Posteriormente, la adquisición de las materias primas se efectúa a través de cualquiera de los dos tipos generales de control de inventarios:

- Cantidad fija en tiempo variable.- O sea a través de lotes económicos de compra (g):

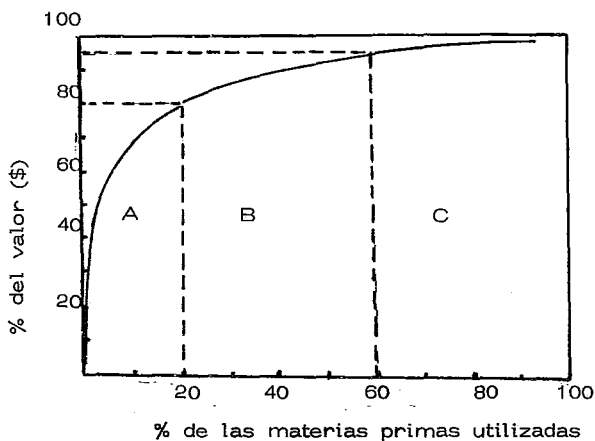
$$g = \sqrt{\frac{2AS}{i}}$$

A = Costo de orden  
 S = Consumo anual  
 i = Costo de mantener en inventarios por año por unidad

El concepto de N.O e I.S. son los mismos que se anotan al hablar de productos.

Esta técnica se aplica a materias primas de consumo a lo largo del año y de gran cantidad de elementos a manejar, puesto que una sola persona puede llegar a controlar más de 2000 elementos en inventario.

- Cantidad variable en tiempo fijo.- Las materias primas que constituyen el mayor porcentaje del valor (\$), se calculan y controlan más estrechamente o sea, que se auxilien o no de los lotes económicos de compra o a través del número de compras a realizar (N). Aquí nos referimos a las materias primas cuyo volúmen y costo son muy superiores al resto de las otras materias primas. Esta clasificación se logra aplicando la ley de la distribución de la riqueza de Pareto .

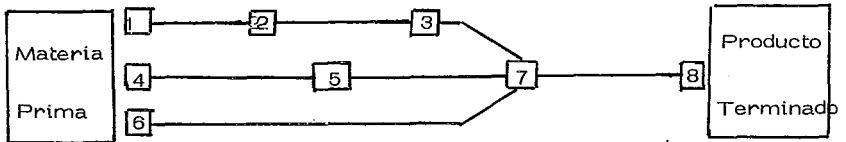


Para esta ilustración, la distribución muestra que el 20% de los elementos ampara el 80% del valor. Al restante 80% de los elementos corresponde el 20% del valor. Para efectos de diseño o planteamiento del control por llevar, el porcentaje del valor se puede referir al consumo anual de las materias primas. Para ejecución del control, el porcentaje del valor se puede referir al valor de los inventarios. Como se podrá deducir, esta clasificación es válida de aplicar también al producto terminado.

#### 4.- LINEA DE BALANCE

La línea de Balance es una técnica de programación y control de la producción muy útil, cuando se cuenta con equipo común a diferentes operaciones como es el caso de la industria de lacas y pinturas, en dónde las eficiencias de cada equipo deberán resultar las más altas posibles.

En estos casos se tiene que respetar una secuencia de operaciones (tipo ensamble) que se representa en diagramas como el siguiente:



Cada operación (1,2,3,4, etc) cuenta con su correspondiente especificación de H-Máquina requeridas por lote de producción. Sobre la base de un trabajo continuo, el procedimiento de solución más común es el siguiente:

- 1) Se listan las actividades u operaciones en orden descendente de acuerdo a los tiempos subsecuentes, es decir, la suma de los tiempos correspondientes a las operaciones posteriores sobre una misma línea. En el diagrama anterior, los tiempos subsecuentes para la operación 1, serían los resultantes de la suma de las duraciones de las operaciones 2,3,7 y 8.
- 2) Se determina el ciclo unitario, al dividir el total de las H-máquina necesarias entre el número de máquinas disponibles, siendo el valor resultante el tamaño del ciclo, siempre y cuando sea mayor que cualquiera de las duraciones de todas las operaciones.
- 3) De acuerdo al orden de la lista descrita en el punto 1, se van asignando las operaciones a cada máquina, hasta que el trabajo asignado a la primera máquina sea igual a la duración del ciclo.
- 4) Se determina la eficiencia para cada máquina (tiempo asignado entre tiempo disponible) y el total de todo el equipo. Puede haber posteriormente rearrreglos menores que mejoren la eficiencia del equipo (cuidando siempre de respetar la precedencia de las actividades).

## CAPITULO II

### CPM - SUS PROCEDIMIENTOS

Puesto que el objeto del presente trabajo no es desarrollar detalladamente el procedimiento para la determinación de la ruta crítica, tan ampliamente tratado en extensa literatura, en este capítulo simplemente se resume la nomenclatura a utilizar, el procedimiento que se considera más práctico y los conceptos que servirán como base para el desarrollo de las aplicaciones del CPM en la planeación y control de producción que en los capítulos posteriores se ilustra.

#### A) DEFINICIONES

El CPM ó Critical Path Method, conocido como el Camino Crítico ó La Ruta Crítica, es la técnica dirigida a la planeación, organización y control de los proyectos.

Proyecto, es un conjunto de actividades destinadas a lograr una tarea que tiene un principio y un fin, perfectamente definibles. Si dentro de la producción existen procesos continuos, en estos no tendrá aplicación el CPM, pero sí será útil en la producción tipo proyecto ó en las frecuentes "situaciones especiales".



En la actualidad, se confunde el nombre de PERT (Process Evaluation and Requirements Technique), con el del CPM. sin embargo, al inicio de su desarrollo y aplicación, se llama PERT a la determinación de la ruta crítica cuando se aplicaba a proyectos con actividades difíciles de estimar en su duración, recurriendo a una estimación estadística y determinación de la incertidumbre, mediante el cómputo de la desviación estándar del proyecto. Por ésta razón, es preferible hablar de CPM, cuando la duración de las actividades (como en el caso de la producción en la industria química), son estimadas con mucha certidumbre (determinísticas) gracias al conocimiento y experiencia de las tareas por realizar.

El CPM tuvo su origen en la gráfica de Gantt y en la teoría de las redes.

#### B) ORIENTACION DE REDES

La construcción de la red de actividades puede efectuarse en dos formas:

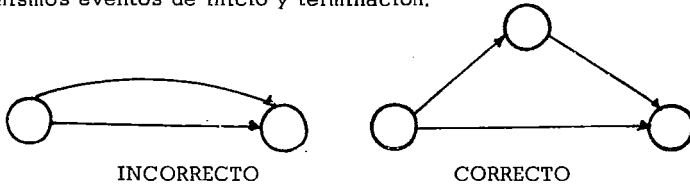
- 1) Red orientada a actividades
- 2) Red orientada a eventos

#### 1) RED ORIENTADA A ACTIVIDADES

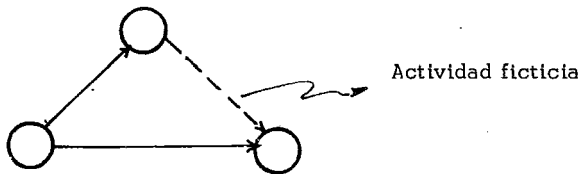
- a) Se elabora una lista de todas las actividades que forman el proyecto.
- b) Se escriben dentro de lo posible, en su orden de realización

- c) Se asigna a cada actividad el tiempo de duración estimado (con la participación de las personas con amplio conocimiento en su ejecución).
- d) Cada flecha representará la ejecución de una actividad
- e) El origen de la flecha (evento de iniciación) representa el tiempo cero de la actividad y la punta de la flecha (evento de terminación) el fin de dicha actividad. Los eventos son puntos en el tiempo.
- f) La red de flechas se va construyendo dentro de lo posible, con una orientación de izquierda a derecha.
- g) Al construir la red, la longitud y sentido de cada flecha no tienen relevancia en cuanto a la duración de la actividad.
- h) Al unir las flechas, deben considerarse las actividades que preceden a cada actividad, las que siguen, ó sea las actividades que no pueden iniciarse hasta que la(s) anterior(es) estén totalmente terminadas; y las actividades que son colaterales.
- i) Cuando una actividad es subdividida, cada nueva actividad estará representada igualmente por su correspondiente flecha.
- j) Una ó más actividades, pueden tener el mismo evento como origen y una ó más actividades, también pueden terminar en el mismo evento.

k) Una ó más actividades, no pueden iniciarse y terminarse en los mismos eventos de inicio y terminación:

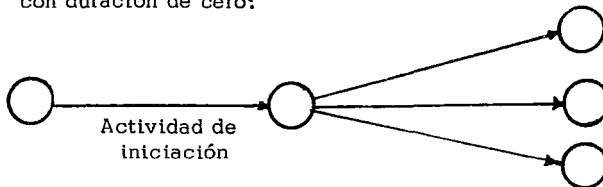


l) Las actividades ficticias (punteadas) se emplean para mantener la secuencia lógica de los trabajos y determinar su correlación:



Las actividades ficticias no tienen duración ni significado físico.

m) Cuando un diagrama de flechas se inicia con varias actividades colaterales, es conveniente establecer una actividad de "iniciación" con duración de cero:



n) Los eventos son puntos de unión y correlación de las flechas pero son un punto en el tiempo y por lo tanto no lo consumen.

o) Los eventos deben de numerarse de tal manera , que el número de la cola de las flechas sea menor que el de las puntas. Es aconsejable el uso de números pares , para que al añadir nuevas actividades por cualquier cambio en el proyecto , se pueda mantener la presente regla usando los nones. No debe haber eventos con el mismo número.

p) Cuando haya flechas muy largas , que ocasionen dificultad en su representación gráfica , pueden cortarse en su inicio y en su terminación , mediante las referencias adecuadas.

q) La descripción de las actividades , cuando no requieran detalle , pueden escribirse sobre su flecha correspondiente.

## 2) RED ORIENTADA A EVENTOS

a) En lugar de describir actividades se describen los eventos , sea como la terminación de una tarea ó como la iniciación de una actividad. El concepto de un evento es el mismo , es decir , que al hablar de inicio de ..... ó terminación de ... .. , no consumen tiempo.

b) Las flechas sirven para determinar la precedencia y coexistencia de los eventos. También se utilizan las flechas ficticias.

c) Los eventos se relacionan a tiempos, y no a duraciones como en el caso de la red orientada a actividades.

d) Las reglas de la construcción de la red y numeración de los eventos, son las mismas, que en el caso de la red de actividades.

C) PROPIEDADES Y CALCULOS DE LA RED

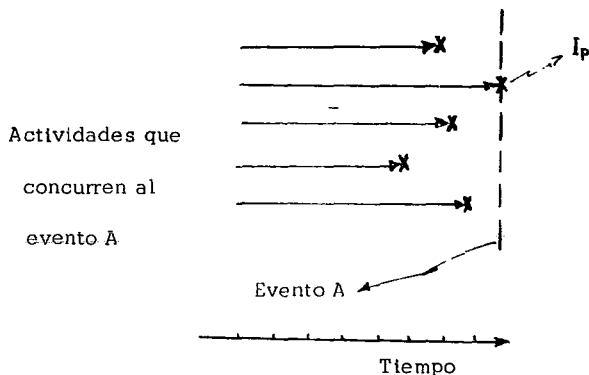
Existen propiedades para los eventos así como para las actividades:

1) PROPIEDADES DE LOS EVENTOS

$I_p$  - Iniciación más pronta posible: Es el tiempo en que las actividades que parten de ese evento pueden más próximamente iniciarse.

Es equivalente al valor mayor de los tiempos de terminación más pronto posibles de todas las actividades que terminan en ese evento.

X = Terminaciones más prontas posibles de las actividades que terminan en el evento A.

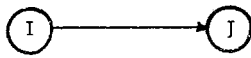


$T_L$  - Terminación más lejana posible: Es el tiempo en el que las actividades que concurren en ese evento pueden más tardíamente terminarse. Es equivalente al valor menor de los tiempos de iniciación más tardíos posibles de todas las actividades que parten de ese evento.

## 2) PROPIEDADES DE LAS ACTIVIDADES

a) Iniciación más pronta posible: Equivale al  $I_p$  del evento del cual parten.

b) Terminación más pronta posible: Equivale a:  $T_p = I_p + D_{ij}$   
Siendo  $D_{ij}$  la duración de la actividad i - j (Del evento i al evento j):



$D_{ij}$

c) Terminación más lejana posible: Equivale a  $T_L$  del evento adonde concurre ó termina la actividad.

d) Iniciación más lejana posible: Equivale a:  $I_L = T_L - D_{ij}$

Resumiendo:  $I_p$  y  $T_L$  son propiedades al evento y a las actividades que parten ó llegan a ese evento, mientras que  $T_p$  e  $I_L$  son propieda-

des solamente de las actividades.

### 3) CALCULOS DE $I_p$ y $T_L$

Al computar  $I_p$  y  $T_L$  para cada evento que forma la red, el cálculo de  $I_L$  y  $T_p$  para cada actividad son deducidos facilmente al aplicar la duración de cada una de ellas.

#### CALCULO DE $I_p$

Se computan mediante un sistema de cálculo de izquierda a derecha ó de principio a fin. Se inicia con el primer evento, al que convencionalmente  $I_p$  se le asigna el valor de cero. Los valores de  $I_p$  deben encontrarse en orden a la numeración de los eventos cuidando de no saltarse. La suposición consiste entonces en que todas las actividades se iniciaran tan pronto como fuera posible. De acuerdo a la lógica de la red, un evento ocurre, cuando todas las actividades que concurren a él han sido totalmente terminadas, de aquí que  $I_p$  de cada evento sea igual al valor mayor de las  $T_p$  de las actividades que en él terminan. O sea que comparando para el evento  $i$  las  $T_p$  de las actividades que a él llegan, se elije la mayor:  $I_{p_i} + D_{ij} = T_{p_{ij}}$  de esas actividades. La mayor  $T_{p_{ij}}$  será igual a  $I_{p_j}$ .

CALCULO DE  $T_L$ 

Este cálculo se efectúa de derecha a izquierda, ó sea del fin de la red, a su principio. Se inicia el cómputo en el último evento, para el que se considera que  $I_p = T_L$ , puesto que no hay necesidad de alargar el proyecto innecesariamente. La lógica a seguir en este caso, es que un evento debe de ocurrir antes de que se inicien cualquiera de las actividades que de él parten. Por lo tanto, empezando del último evento, se calculan las  $I_L$  de cada actividad. Para el evento i la menor de las  $I_L$  de las actividades que de dicho evento parten será equivalente a la  $T_L$  de este evento i.

Para más de una actividad que parten del evento i:

$$T_{L_j} - D_{ij} = I_{L_{ij}} \quad \text{Se elige la menor } I_{L_{ij}} \text{ que será } T_{L_i}$$

Para una sola actividad que parte del evento i:

$$T_{L_j} - D_{ij} = I_{L_{ij}} = T_{L_i}$$

4) CRITICALIDAD

Cualquier actividad que no tenga variación en su tiempo de iniciación será crítica. Si tiene posible variación, entonces no será crítica y se dice que tiene holgura.



La diferencia entre la fecha ó (tiempo), de iniciación más lejana posible ( $I_L$ ) y la fecha de iniciación más pronta posible ( $I_p$ ) es una medida de la criticalidad.

También se hace referencia a la criticalidad por la diferencia entre el tiempo de terminación más lejano posible ( $T_L$ ) y el tiempo de terminación más próximo posible ( $T_p$ )

A la diferencia antes descrita se le llama Holgura Total ó H.T.

De aquí se deduce que:

$$H.T. = T_L - T_p = T_L - (I_p + D_{ij})$$

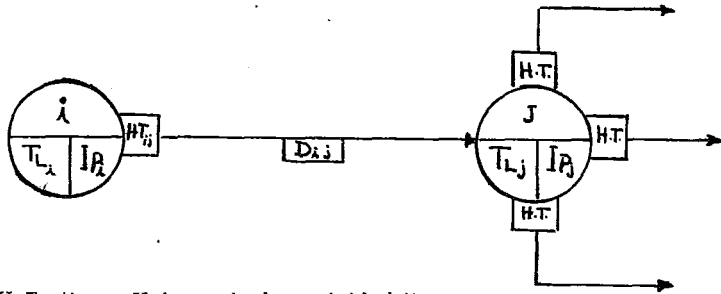
$$\text{como: } T_L - D_{ij} = I_L$$

$$\text{entonces: } H.T. = I_L - I_p = T_L - T_p$$

En otras palabras, la Holgura Total es el tiempo que una actividad puede demorarse en su inicio ó en su terminación, sin afectar la terminación del proyecto. También puede decirse que es el tiempo disponible menos el tiempo requerido.

##### 5) REPRESENTACION GRAFICA

Puesto que  $I_p$ ,  $T_L$ ,  $D_{ij}$  y H.T., son las propiedades más importantes de los eventos y de las actividades, conviene que queden descritas en la red para evitar el mínimo de referencias a tablas. La convención aquí utilizada es la siguiente:



H.T. ij = Holgura de la actividad ij

$D_{ij}$  = Duración de la actividad ij

$I_{P_i}$  = Iniciación más pronta de la actividad ij

$T_{L_i}$  = Terminación más lejana de las actividades que terminan en i.

$I_{P_j}$  = Iniciación más pronta de las actividades que salen de j.

$T_{L_j}$  = Terminación más lejana de la actividad ij.

### HOLGURA LIBRE

Es el valor que queda libre cuando todas las actividades se inician tan pronto como es posible, ó sea:

$$H.L. = I_{P_j} - I_{P_i} - D_{ij}$$

Comparando esta expresión contra la de la Holgura Total:

$$H.T. = T_{L_j} - I_{P_i} - D_{ij}$$

Se encuentra que la diferencia es la Holgura de Interferencia

$(T_{L_j} - I_{P_j})$  del evento de terminación:

$$H.T. = T_{L_j} - I_{P_i} - D_{ij} = \underbrace{(I_{P_j} - I_{P_i} - D_{ij})}_{H.L.} + \underbrace{(T_{L_j} - I_{P_j})}_{H. INT. de j}$$

HOLGURA INDEPENDIENTE

Es la Holgura que queda de la holgura libre cuando todas las actividades precedentes han hecho uso de su Holgura Total. O sea el margen disponible de tiempo considerando que las actividades precedentes terminaran tan tarde como fuera posible y las que siguen se iniciaran tan pronto como fuera posible, ó sea:

$$H.I. = I_{p_j} - T_{L_i} - D_{ij}$$

La diferencia contra la Holgura Libre, es la Holgura de Interferencia del evento de iniciación  $(T_{L_i} - I_{p_i})$

$$H.L. = I_{p_j} - T_{L_i} - D_{ij} + (T_{L_i} - I_{p_i})$$

La Holgura Independiente es el tiempo que se puede usar con toda seguridad de no afectar las Holguras del resto de las actividades del proyecto.

Por lo tanto, la Holgura Total es igual a la Holgura Independiente más las Holguras de Interferencia del evento de iniciación y del evento de terminación.

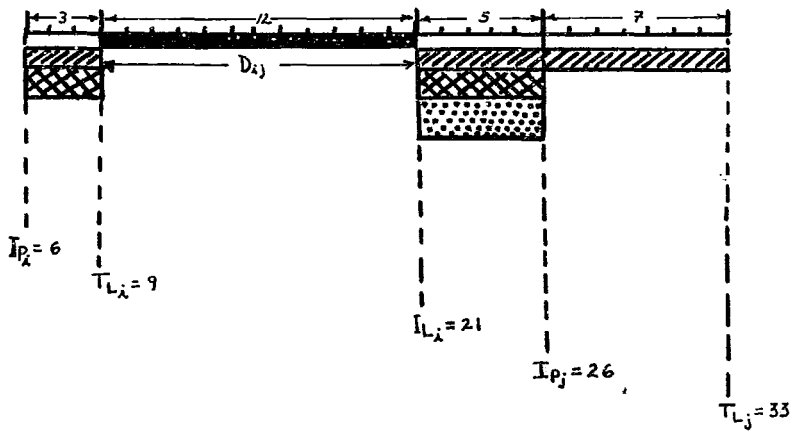
El diagrama 2.1 podrá ilustrar los conceptos de las Holguras:

Para el evento i:  $I_{p_i} = 6$

Para el evento j:  $I_{p_j} = 26$

$T_{L_i} = 9$

$T_{L_j} = 33$



$$S_j = T_{L_j} - I_{p_j} = 33 - 26 = 7 \quad S_i = T_{L_i} - I_{p_i} = 9 - 6 = 3$$

$$\text{Holgura Total} = T_{L_j} - I_{p_i} - D_{ij} = 33 - 6 - 12 = 15$$

$$\text{Holgura Libre} = I_{p_j} - I_{p_i} - D_{ij} = 26 - 6 - 12 = 8$$

$$\text{Holgura Independiente} = I_{p_j} - T_{L_i} - D_{ij} = 26 - 9 - 12 = 5$$

**■** Duración de la actividad

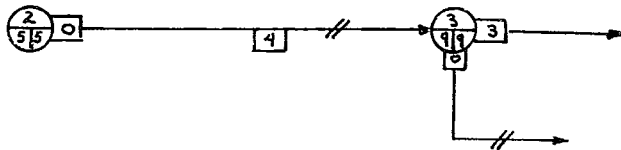
Aunque algunas actividades pueden tener Holgura Total, y margen libre, pueden no tener la Holgura Independiente; ó simplemente pueden contar solamente con Holgura Total; ó si son críticas, no tienen nada de Holgura.

Por lo tanto, para determinar la ruta crítica, se usa la Holgura Total y para programar ó asignar recursos, se utiliza la Holgura Libre y en algunos casos la Independiente.

Como se puede observar, del diagrama anterior, es conveniente utilizar tiempos relativos que permitan rapidez en la adición y substracción de los tiempos; el usar fechas en los cálculos de la red, resultaría impráctico.

### RUTA CRITICA

Las actividades críticas, pueden identificarse facilmente del diagrama de flechas, al apreciar que su holgura total es igual a cero:



Por lo cual, el valor de H.T. cualquiera que sea este, debe de quedar escrito en su cuadro correspondiente. Su cálculo es simple, mediante:

$$H.T. = T_{L_j} - D_{ij} - I_{p_i}$$

Las actividades críticas se identifican además por los siguientes indicadores:

- Los valores de  $I_p$  y  $T_L$  son iguales tanto en la punta como en la cola de la flecha, ( $I_{p_i} = T_{L_i}$  ;  $I_{p_j} = T_{L_j}$  )
- La diferencia entre los valores de la cola y la punta de la flecha deben ser igual a la duración de la actividad.

Cualquier cadena, dentro de una red, conectada de principio a fin a través de actividades críticas (sin Holgura Total), se llama ruta crítica. Ninguna actividad podrá ser crítica, sin pertenecer a la ruta crítica.

Por lo tanto, la duración de un proyecto, es igual a la suma de las duraciones de las actividades a lo largo de su ruta crítica, de principio a fin.

La importancia de la ruta crítica es ampliamente conocida; toda demora en una actividad crítica significará demora al proyecto. Los esfuerzos para reducir tiempos de duración, deberán en tal caso dirigirse a las actividades críticas.

D) FORMATOS

Es necesario auxiliarse, además del diagrama de flechas, de formatos tabulares que facilitan los cálculos, las referencias y el uso de la información que se desprende del CPM. La información que deben contener estos formatos, serán relativas a las actividades y por lo tanto a los eventos. Los rótulos y orden sugeridos, son los siguientes:

PLANTA _____		CIA _____		FECHA _____					
DPTO _____				ELABORADO POR _____					
				APROBADO POR _____					
PLAN DE ACTIVIDADES PARA LA PRODUCCION DE _____									
No. de actividad	Durac.	Descrip.	Más Próxima		Más Lejana		Holguras		
	$D_{ij}$		Inic.	Term.	Inc.	Term.	Total	Libre	Indep.
(1)	(2)	(3)	$I_p$	$I_p + D_{ij}$	$T_L - D_{ij}$	$T_L$	(8)	(9)	(10)
i-j	Del diagrama	Cuando sea necesario	Del evento de iniciación del diagrama.	(4)+(2)	(7)-(2)	Del evento de terminación del diagrama.	Del diagrama.	(8)- $S_j = T_{Lj} - I_{pj}$	(9)- $S_i = T_{Li} - I_{pi}$

E) ESTIMACION DE DURACIONES

En el caso del PERT, es necesario efectuar estimaciones de las duraciones de las actividades. En función de las tres estimaciones clásicas, se determinó que el tiempo a utilizar como  $D_{ij}$  sería:

$$T_e = \frac{a+4m+b}{6} = \text{Tiempo promedio ó esperado}$$

de donde:

- a= Estimación optimista (si todo se comporta mejor de lo esperado)
- m= Estimación probable (si todo se comporta como se espera)
- b= Estimación pesimista (si todo se comporta peor de lo esperado)

Basándose en una curva de distribución probabilística:

- $T_e = m$  Si la distribución es normal
- $T_e > m$  Si la distribución está cargada a la izquierda
- $T_e < m$  Si la distribución está cargada a la derecha

F) REFINACION DE LA RUTA CRITICA

Antes de declarar la obtención de la ruta crítica, es necesario verificar la lógica de correlación de las actividades, sobre todo, aquellas que originen la ruta crítica, ya que muchas veces se puede disminuir el tiempo de un proyecto mediante un ajuste a la lógica de la red.



G) CONTINGENCIAS

Es aconsejable fijar una contingencia general al proyecto y no cargar tiempos de "seguridad" a cada una de las actividades. Esta es una recomendación que en el caso de planeación y programación no puede tomarse como una regla.

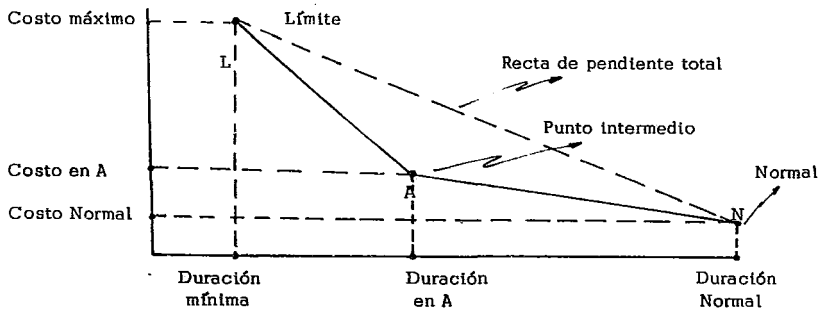
H) PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

La nomenclatura y principios hasta aquí resumidos, están encaminados al cálculo manual. El procesamiento electrónico de datos, se utiliza en proyectos sumamente complicados con más de cien actividades, que de ninguna manera pueden representar el tipo de redes resultantes de la planeación y programación de la producción en la industria química. Por esta razón, aún cuando los principios que en adelante se ilustran pudieran servir para diseñar un programa de computación, todos los pasos de los procedimientos están basados en la necesidad de obtener modelos de producción óptimos, prácticos de revisar, fáciles de controlar y rápidos de calcular manualmente.

I) COSTOS DIRECTOS

Son aquellos que incluyen los costos de materiales, equipo y mano de obra requeridos para llevar a cabo cada actividad.

Debido a que casi siempre existe una relación entre el tiempo y el costo directo requerido para una actividad, es necesario definir las pendientes (en valores absolutos) que determinan dicha relación:



$$\text{Pendiente de costos (general)} = \frac{\text{Aumento en el costo}}{\text{Reducción por unidad de tiempo}}$$

$$\text{Pendiente entre N y A} = \frac{\text{Costo en A} - \text{Costo Normal}}{\text{Duración Normal} - \text{duración hasta A}}$$

$$\text{Pendiente entre L y A} = \frac{\text{Costo Límite} - \text{Costo en A}}{\text{Duración hasta A} - \text{Duración Límite}}$$

La pendiente total se utiliza cuando al reducir la duración normal de una actividad el costo involucrado es lineal, desde su duración normal hasta su duración límite. Cuando por las características de la activi-

dad existen más de una pendiente de costo si la imprecisión de utilizar la pendiente general fuera considerable, se deberá utilizar la correspondiente a cada rango de reducción en la que se caiga.

La duración normal es la utilizada para el cálculo de la ruta crítica. La duración límite, es el mínimo del tiempo a que una actividad puede apresurarse, al que corresponde el costo máximo aceptable, llamado también costo límite.

#### J) COSTOS INDIRECTOS

Son aquellos como la supervisión, depreciación, rentas, etc. Adicionalmente hay que mencionar a los que más se afectan por la duración de un proyecto, como son intereses sobre la inversión que maneja el proyecto, multas por atrasos en las entregas y pérdida de utilidades por ventas no generadas a tiempo.

### CAPITULO III

#### APLICACION DEL CAMINO CRITICO

El presente capítulo tiene como objeto ilustrar el beneficio de la aplicación de las redes de flechas. La elaboración del diagrama de flechas trae consigo varias ventajas en sí misma. Si adicionalmente se considera la aplicación de la ruta crítica y su interpretación para optimizar el programa de producción, se contará con una técnica sumamente útil.

El mejor plan de producción y el mejor programa de ejecución, no evitan el tener que aceptar las emergencias y los casos especiales frutos del crecimiento, del desarrollo, de la implantación de nuevas líneas de producción, de nuevos productos, ó de nuevos mercados. Dichas emergencias y casos especiales, hablando de planeación y programación de producción, deben considerarse en su mayoría transitorios; por lo tanto con un principio y un fin definibles y en consecuencia dignos de considerarlos proyectos, y es en estos casos en donde procede con todas las ventajas que ello implica, el uso del CPM.

En los tres casos que a continuación se analizan, se ejemplifican solamente los criterios necesarios al aplicar el CPM.

ILUSTRACION CASO 1

La planta 1001, está diseñada para producir cualquiera de los tres productos A, B, ó C. Los tres productos se llevan en inventario, con el objeto de cubrir la demanda, mientras les toca su turno de producción, ya que cada uno de los productos se ordena en base a corridas económicas de producción. Los productos A y B se consumen en grandes cantidades, mientras que el C, su Q (corrida económica), apenas iguala al lote de producción.

El proceso consiste de las siguientes etapas:



La capacidad de producción de esta planta es la misma para cada uno de los productos (30 ton. por día), equivalente a 6 cargas (ó lotes) por día, de 5 ton. cada carga. La siguiente tabla muestra los tiempos que utiliza cada carga en su proceso, a través de los principales 5 pasos de producción, así como los tiempos requeridos de limpieza al equipo cuando se va a cambiar de producto:

ETAPA	TIEMPO DE PROCESO ( Hr )	TIEMPO DE LIMPIEZA (Hr )
Reacción	4	3
Reposo	6	2
Filtración	4	5
Secado	2	3
Empaque	8	1

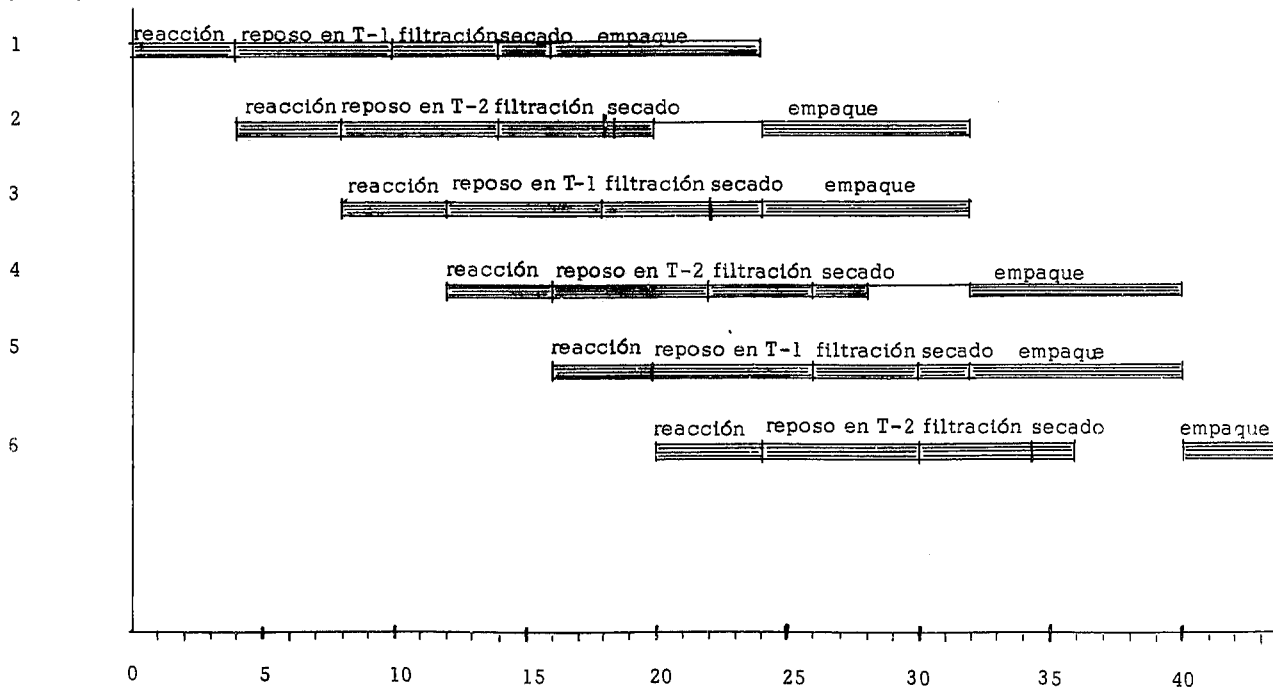
Debido a las diferentes capacidades instaladas de cada equipo, existen dos tanques de reposo, para evitar mezclar diferentes cargas.

Cuando se está produciendo A ó B, el programa tipo de producción, representado en un diagrama de barras, es el que aparece en el diagrama 3.1. Se puede apreciar que el reactor tiene una ocupación continúa (100%); cada uno de los tanques de reposo se utilizan 6 hr. por 2 hr. que permanecen inútiles, es decir con un 75% de ocupación; el equipo de filtración se ocupa el 100% del tiempo, y el secador se usa solamente en un 50%.

La capacidad de producción, bajo estas circunstancias, es de 6 lotes por día ó 0.25 lotes por hora ó 1250 Kg por hora. Sobre bases de continuidad, el que la operación de empaque tome 8 hr. no es relevante y afecta exclusivamente a la asignación de mano de obra para esta operación; es decir, la cuadrilla asignada de hecho está empacando en promedio a razón de 5 ton por 4 hr. Lo que se quiere ilustrar en el diagrama, es que por razones de disposición de equipo de empaque, una carga puede llevarse hasta 12 horas en esta operación.

DIAGRAMA 3.1

CARGA No.:



PROBLEMA Estando por terminarse la corrida del producto A, y teniendo en mano la orden para producir la corrida B, se presenta una demanda brusca del producto C. Un cliente potencialmente importante, compra inesperadamente toda la existencia en inventario del producto C y aún requiere de una cantidad adicional para completar su evaluación. Por otro lado, los clientes que generalmente consumen partidas pequeñas de C, no tardarán en reclamar la falta de servicio, en caso de que no se restituya pronto el inventario de este producto. Por lo tanto, es evidente la urgencia de producir al menos una carga de C (similar a su Q) e inmediatamente cambiar para producir B, del cual, no se puede posponer demasiado su corrida.

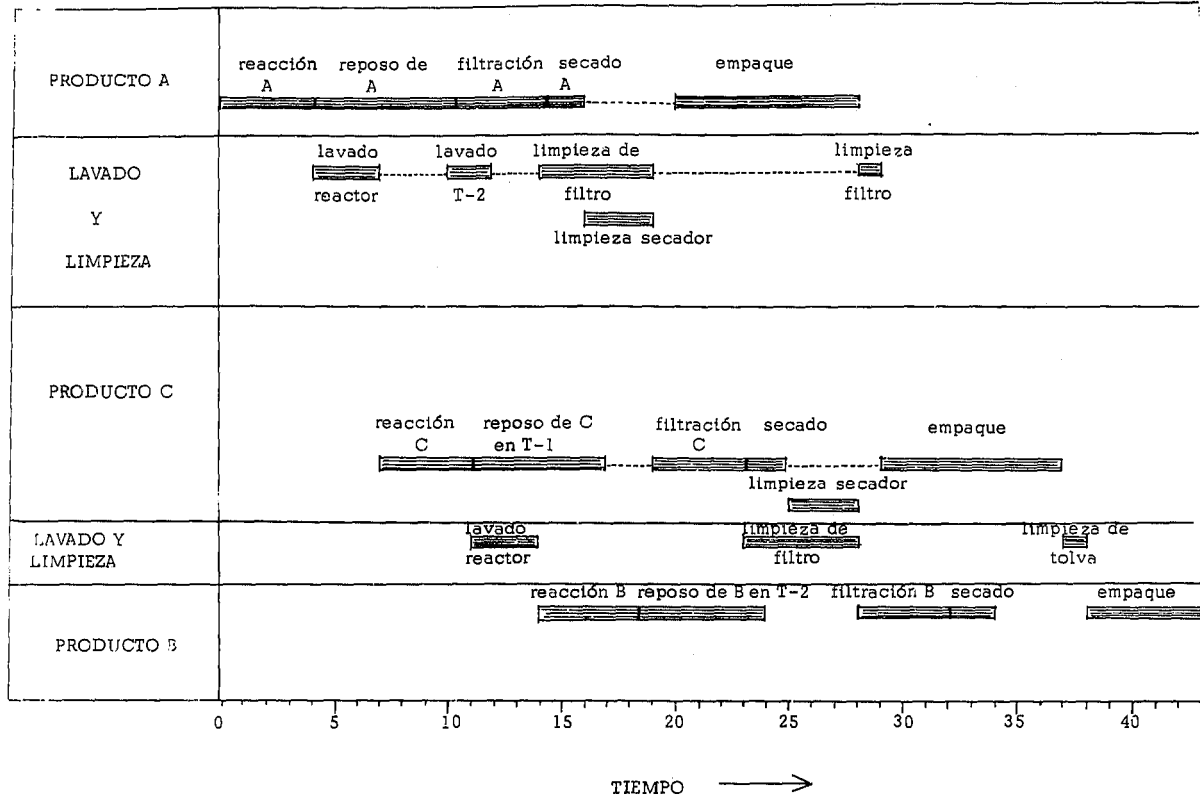
La terminación de la carga de A que se esté procesando, la limpieza del equipo para pasar a C, la nueva limpieza para pasar a B, y el inicio de la corrida de B, marcan un inicio y un fin definibles, de una situación transitoria delicada, en la cual, al programar la producción deberá tratar de lograrse:

- Un máximo aprovechamiento del equipo
- Una terminación más pronta posible

Partiendo de la suposición de que la última carga de A, recién se hubiera alimentado al reactor, el diagrama 3.2 muestra la intención de



DIAGRAMA 3.2

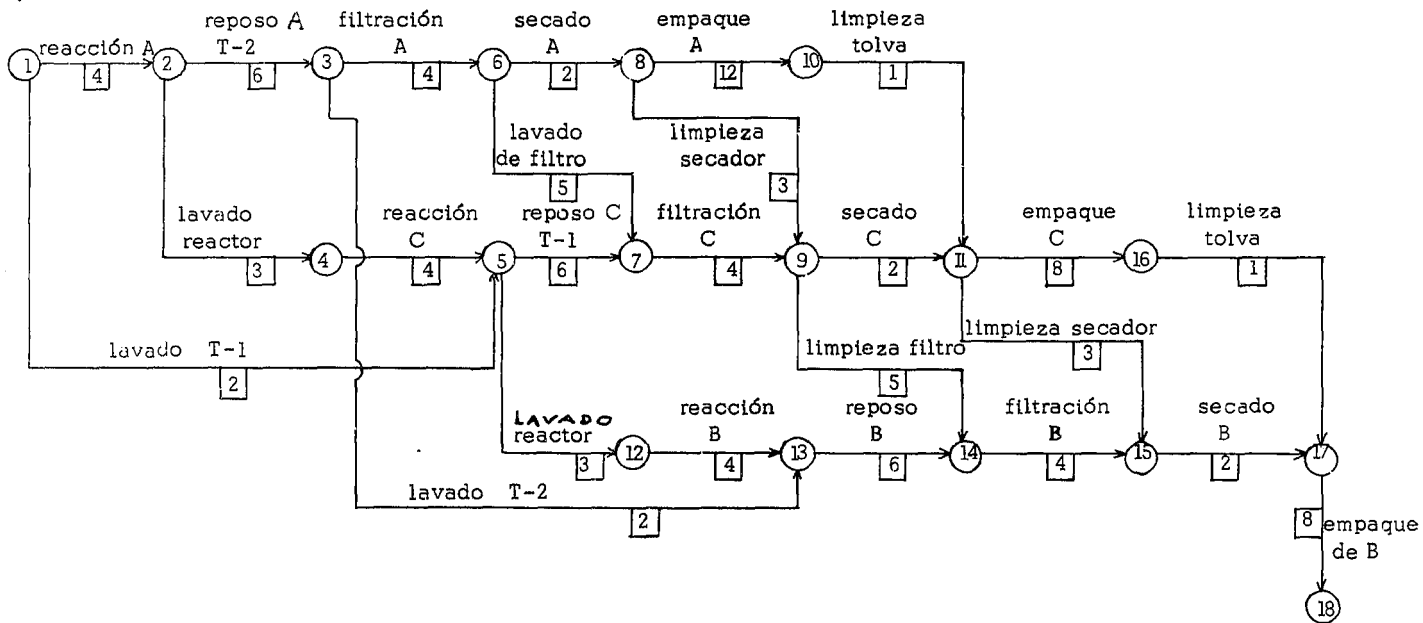


programar adecuadamente este cambio mediante el uso del diagrama de barras. Es obvia la falta de claridad en las interdependencias de las actividades, y sería difícil comunicar al personal afectado las actividades por realizar con la claridad necesaria para que se estime en su justo valor la importancia que tendrá el trabajo de con junto sobre todo del personal dedicado a la limpieza del equipo.

Por otro lado, en el diagrama de flechas 3.3, se describe con suficiente claridad un modelo de trabajo que podría servir de programa de producción. Obsérvese que la numeración de los eventos siempre es de menor a mayor, según la flecha que los una. De este diagrama, del que por ahora no se cuenta con una relación de sus propiedades, permite una serie de análisis y ventajas:

- a) Se requieren 18 eventos y 25 actividades mayores.
- b) Se puede analizar la interdependencia por equipo de proceso, por ejemplo, siguiendo las actividades 6-8, 8-9, 9-11, 11-15 y 15-17 se obtiene la secuencia de operaciones a las que estará sujeta el equipo de secado. El análisis de los eventos 6, 8, 9, 11, 15 y 17 proporcionan premisas para que se puedan efectuar las activida des mencionadas.
- c) Se puede realizar una eficiente revisión para verificar que no hay omisiones.
- d) La selección ó búsqueda de actividades es inmediata.

DIAGRAMA 3.3



En el diagrama 3.4 , se evitan las descripciones de las actividades , pero se calculan los  $I_p$  y  $T_L$  de cada evento , así como la holgura total de cada actividad , lo que ya permite obtener un modelo de trabajo más preciso. La ruta crítica es evidente , ya que coinciden sobre ella todas las actividades con holgura total igual a cero. Para hacerla resaltar se marcan con (||) las flechas de cada una de esas actividades.

Por el momento , las desventajas que resáltan del diagrama de barras comparativamente contra el CPM , son las siguientes:

- 1.- Es difícil apreciar el trabajo predecesor de cada actividad
- 2.- No plantea un modelo de trabajo fácil de simulación
- 3.- La posibilidad de omisión es alta
- 4.- Las personas de producción no reciben una comunicación clara
- 5.- Los problemas se solucionarán sobre la marcha; es decir no facilita la previsión.
- 6.- Las desventajas anteriores se reflejarán en mayor inversión de tiempo tanto en su preparación , como en su modificación y control

#### APROVECHAMIENTO DE LA RUTA CRITICA

La capacidad de la planta durante el período programado (46hrs) será de 4 cargas (las 3 correspondientes a A , B y C que aparecen programadas en el diagrama de flechas , y la de A que debería estar en reposo

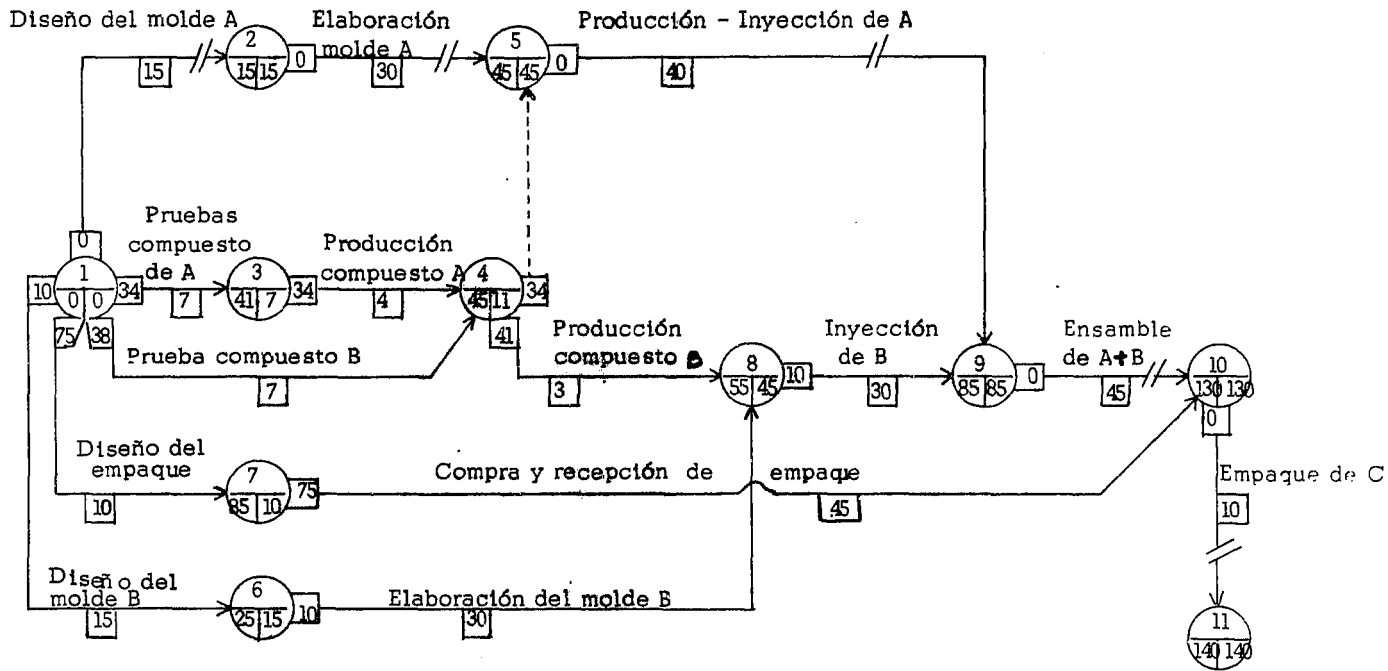


DIAGRAMA 4.3

en el tanque # 1 , mientras se iniciaba la última carga de este producto), ó sea 20 ton , lo que da un promedio de 435 Kg /hr. vs. 1250 Kg /hr en condiciones normales.

En primer lugar , para evitar una pérdida mayor en la eficiencia , deberá cuidarse de que todas las actividades de la ruta crítica se cumplan en sus tiempos señalados de duración.

En segundo lugar, deberá de buscarse la forma en que se pueda reducir la ruta crítica , disminuyendo la duración del proyecto y en consecuencia aumentar la eficiencia del equipo, actualmente del 33% comparada con la normal. Del análisis general de dicha ruta crítica inmediatamente resalta:

1.- Relativo al producto A , sobre las actividades 1-2, 2-3, 3-6 y 6-8 , habría que realizar un esfuerzo considerable para reducir las en su duración. Más factible será lograr reducciones en las actividades 8-10 y 10-11 en donde la asignación de hombres para empacar puede considerablemente reducir los tiempos.

2.- Relativo al producto C , las actividades 11-16 y 16-17 son posibles de reducirse al igual que para el producto B , la actividad 17-18.

3.- En este punto, después de apreciar la importancia que tiene el empaque y la limpieza de las tolvas, es posible suponer que una tolva auxiliar, u otros recipientes que sirvieran de almacenaje adicional, podrían hasta eliminar de la red, las actividades de empaque y limpieza de tolvas. Sin embargo, por la holgura de las actividades 6-7, 7-9, 9-11, 9-14, 14-15 y 15-17, se deduce que todas ellas se volverían críticas con solo reducir el proyecto en 4 hr. Por lo tanto, no procede incurrir en gastos innecesarios para reducir demasiado la actual situación de la ruta crítica, ya que se crearían de inmediato otras rutas críticas. Lo más económico será reasignar mano de obra en el empaque, para reducir el tiempo de la actividad 8-10 de 12 hr a 8 hr. Las rutas críticas resultantes aparecen en el diagrama 3.5

El resumen tabular de la red es el de la tabla 3.1. El rendimiento de ocupación de la planta, con respecto a la utilizada en condiciones normales es de 20 ton./42hr, ó sean 476 Kg/hr en promedio, elevando la productividad de 33% a 38%.

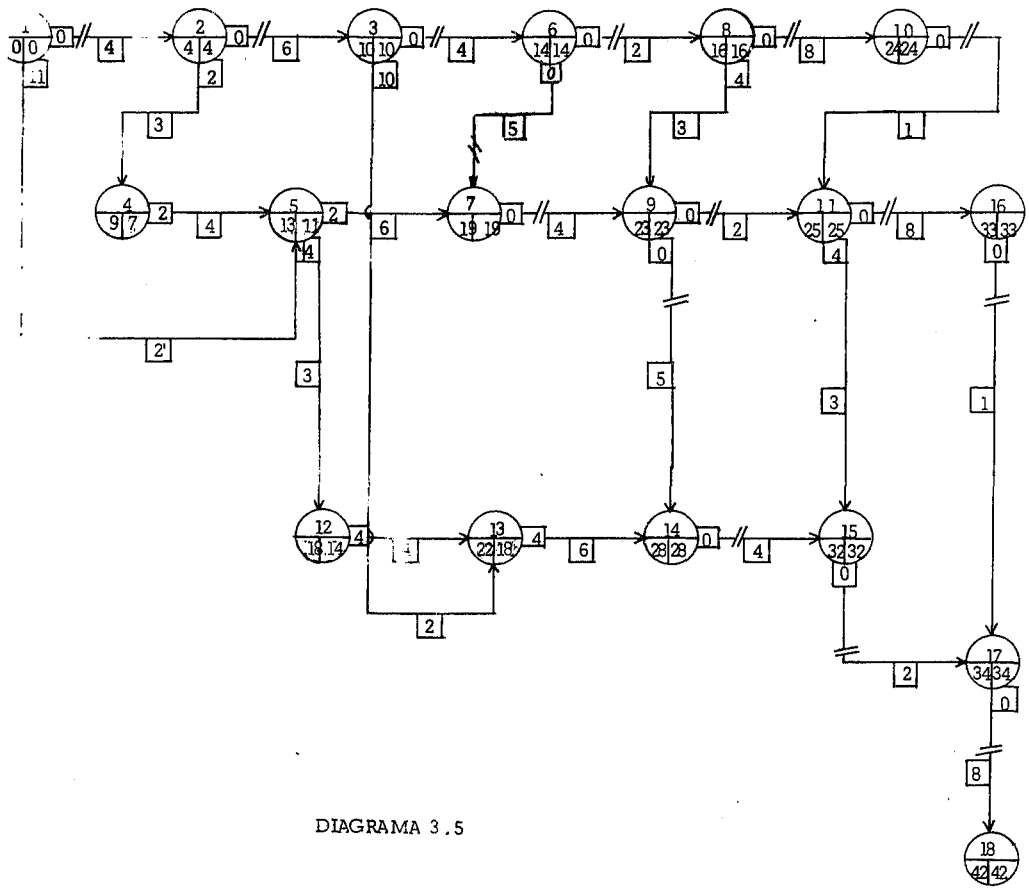


DIAGRAMA 3.5



TABLA 3.1

Número de la Actividad	Duración	Descripción	Mas Pronta		Mas Lejana		Holguras	
			Iniciación	Terminación	Iniciación	Terminación	Total	Libre
1-2	4	Reacción de A	0	4	0	4	0	0
1-5	2	Lavado Tanque 1	0	2	11	13	11	9
2-3	6	Reposo de A en T-2	4	10	4	10	0	0
2-4	3	Lavado de reactor	4	7	6	9	2	0
3-6	4	Filtración de A	10	14	10	14	0	0
3-13	2	Lavado de T-2	10	12	20	22	10	6
4-5	4	Reacción de C	7	11	9	13	2	0
5-7	6	Reposo de C-T-1	11	17	13	19	2	2
5-12	3	Lavado de Reactor	11	14	15	18	4	0
6-7	5	Limpieza de Filtros	14	19	14	19	0	0
6-8	2	Secado de A	14	16	14	16	0	0
7-9	4	Filtración de C	19	23	19	23	0	0
8-9	3	Limpieza de secador	16	19	20	23	4	4
8-10	8	Empaque de A	16	24	16	24	0	0
9-11	2	Secado de C	23	25	23	25	0	0
9-14	5	Limpieza de filtro	23	28	23	28	0	0
10-11	1	Limpieza de Tolva	24	25	24	25	0	0
11-15	3	Limpieza de secador	25	28	29	32	4	4
11-16	8	Empaque de C	25	33	25	33	0	0
12-13	4	Reacción de B	14	18	18	22	4	0
13-14	6	Reposo de B	18	24	22	28	4	4
14-15	4	Filtración de B	28	32	28	32	0	0
15-17	2	Secado de B	32	34	32	34	0	0
16-17	1	Limpieza de Tolva	33	34	33	34	0	0
17-18	8	Empaque de B	34	42	34	42	0	0

### ILUSTRACION CASO 2

En la planta 1002 se fabrica un producto cuya calidad recientemente ha originado fuertes quejas del cliente más importante para la empresa.

El análisis del problema llevó a detectar que en los últimos 6-8 meses, con el objeto de lograr mejores precios, se había sustituido al proveedor original de las materias primas a, b, c, d, e, y f, componentes del producto en cuestión. Así mismo, se habían modificado las condiciones de operación del proceso, con el objeto de obtener mayor velocidad de producción y para adaptar dichas condiciones de operación al comportamiento diferente de las nuevas materias primas, precisamente para evitar cambios en la calidad del producto terminado.

La decisión obvia de eliminar a la materia prima origen del problema, requiere de un tiempo determinado, por lo cual, el planteamiento debe de considerar:

- Saber cuando más pronto ó más tarde se podrá obtener el producto nuevamente satisfactorio para el cliente.
- No sustituir las materias primas que no estén originando problemas, con el objeto de no perder las ventajas en el precio ya logradas.

- Durante el período de investigación, producir lo menos posible del producto abajo de las especificaciones, ya que aún cuando tendrá salida gradual y lenta hacia otros clientes menores, ocasionará gastos adicionales de inventario.

- La sustitución inmediata de todas las nuevas materias primas por las del proveedor original, y su procesamiento con las condiciones de operación también originales, resulta imposible, debido a que el proveedor original tardaría un mínimo de 30 días en surtir todas las materias primas en cantidad suficiente y en forma continua. Si podría entregar de inmediato, cantidades reducidas de cada una, suficientes para dos cargas de producción; también podría entregar la cantidad requerida y en forma continua de solamente una de las materias primas a, b, c, d, e, ó f, cualquiera que la empresa eligiera.

El proceso de eliminación a seguir será:

Procesar una primera carga sustituyendo a la materia prima a actual por la original. Si el problema de calidad subsiste, a, no será la causa y estará entre b, c, d, e, ó f.

En la segunda carga sustituirá la materia prima b por la del proveedor original, y si el problema de calidad persiste, a y b no serán la causa, pero podrán serlo c, d, e, ó f.

De ésta manera serán necesarias 5 cargas como máximo para encontrar la materia prima causa. suponiendo un solo tipo de condiciones de operación. Sin embargo, como las cargas inicialmente se llevarán a cabo bajo las condiciones de proceso originales, para verificar la asignación de la causa a la materia prima que resulte sospechosa, se repetirá la carga bajo las condiciones de proceso modificadas (actuales). De esta manera, el diagrama que muestra la red de actividades y alternativas escalonadas, corresponde al diagrama 3.6, en la que se observa:

1.- En la "carga 1" se ha sustituido a la materia prima a por la del proveedor antiguo con las condiciones de operación originales, si se obtuvieran especificaciones en el producto terminado mejores ó aceptables, para ratificar la culpabilidad de la materia prima a, se correrá otra carga con las condiciones de proceso nuevas, ó modificadas, (que se les llamará condiciones Y). Si el análisis demostrara un producto normal ó dentro de especificaciones, la culpabilidad del problema se asignará totalmente a la materia prima a del nuevo proveedor, y aquí terminará el proceso de investigación. De lo contrario se pasa a la carga No. 2.

2.- En la carga 2, se sustituye la nueva materia prima b, por su predecesora, y se produce bajo condiciones de operación originales. Si no hubiera cambio en el análisis de laboratorio se pasaría de inmediato

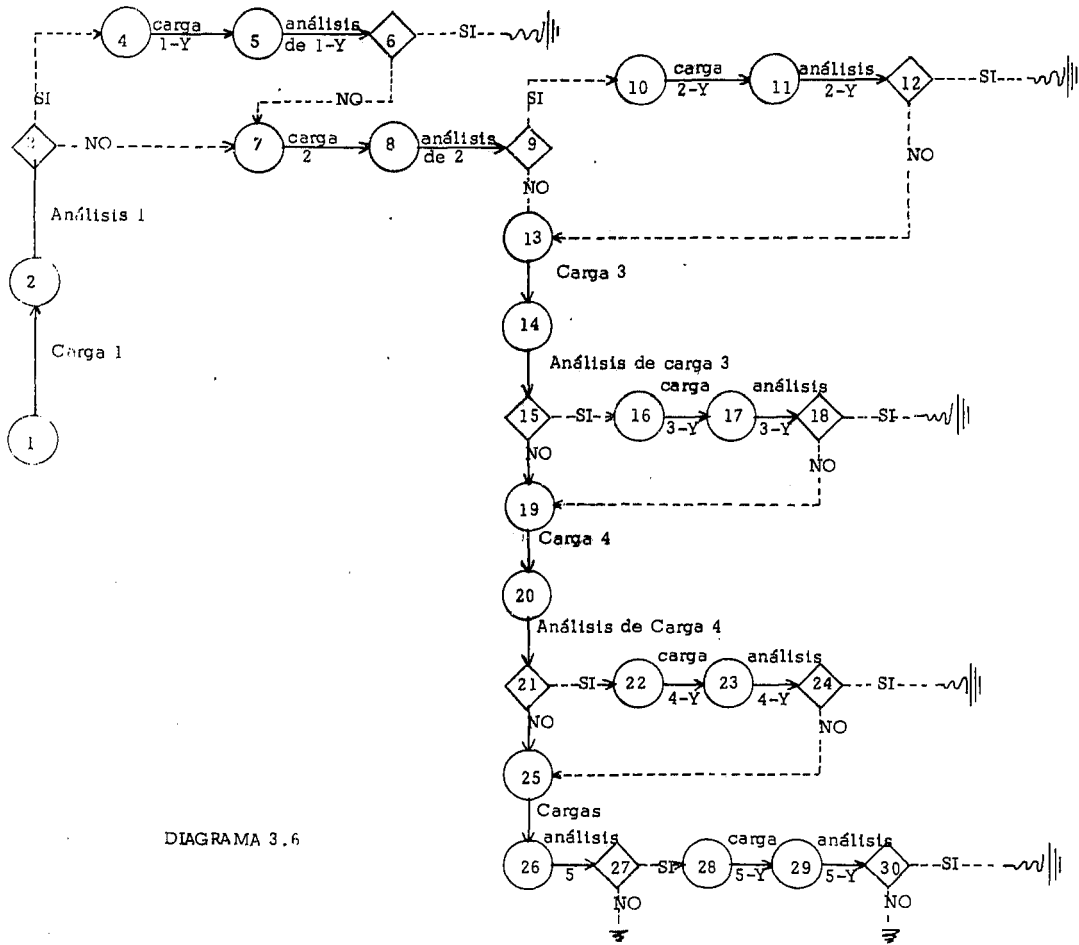


DIAGRAMA 3.6

a la carga 3. De haber obtención de producto terminado dentro de las especificaciones, se correría la carga en las condiciones Y. (carga 2.) De no obtenerse producto en aceptables condiciones se pasará a la carga 3.

3.- El proceso anotado, de no obtener resultados positivos, se iría corriendo hasta llegar a la carga 5 (para entonces se ha sustituido a las materias primas a, b, c, y d) en donde se sustituiría a e; de no obtener producto dentro de especificaciones, la causa sería la materia prima f.

Las conclusiones del diagrama son las siguientes:

- En el peor de los casos se correrán 10 cargas antes de detectar cual es la materia prima - causa. En el mejor de los casos bastará producir 2 cargas.

- En el peor de los casos se necesitarán 10 análisis y como mínimo 2 análisis de laboratorio.

- Si cada carga es de 10 toneladas, el inventario de producto malo que se tendría como máximo sería de 100 toneladas, pero con mucha suerte no habrá ninguno ( si desde la carga 1 se obtiene producto normal).

- En cuanto al tiempo mínimo y máximo para solucionar el problema y presentarle al cliente una proposición, es necesario calcular la duración del proyecto. Las duraciones de cada actividad son:

Cargas con condiciones de operación originales	1.2 días
Cargas con condiciones de operación ( <u>Y</u> ) modificadas	1 día
Análisis de laboratorio	0.5 días

En el diagrama 3:7 , aparece una duración de 16 días como el tiempo necesario para llevar a cabo el proyecto, ó sea el peor de los casos. El tiempo mínimo sería 3.2 días.

Las actividades 3-7, 9-13, 15-19 y 21-25, todas ellas ficticias tienen holguras totales de 1.5 días, todas las demás son críticas y forman la ruta crítica.

#### AFINACION DE LA RED

No siempre todas las formas de establecer un proyecto, pueden quedar incluídas en la primera red. En muchas ocasiones es necesario elaborar alternativas de lógica, lo que permite poder comparar y elegir la mejor. En este caso, si al cliente le parecieran exagerados los 16 días, obligarían a pensar en otra forma de programar la producción que

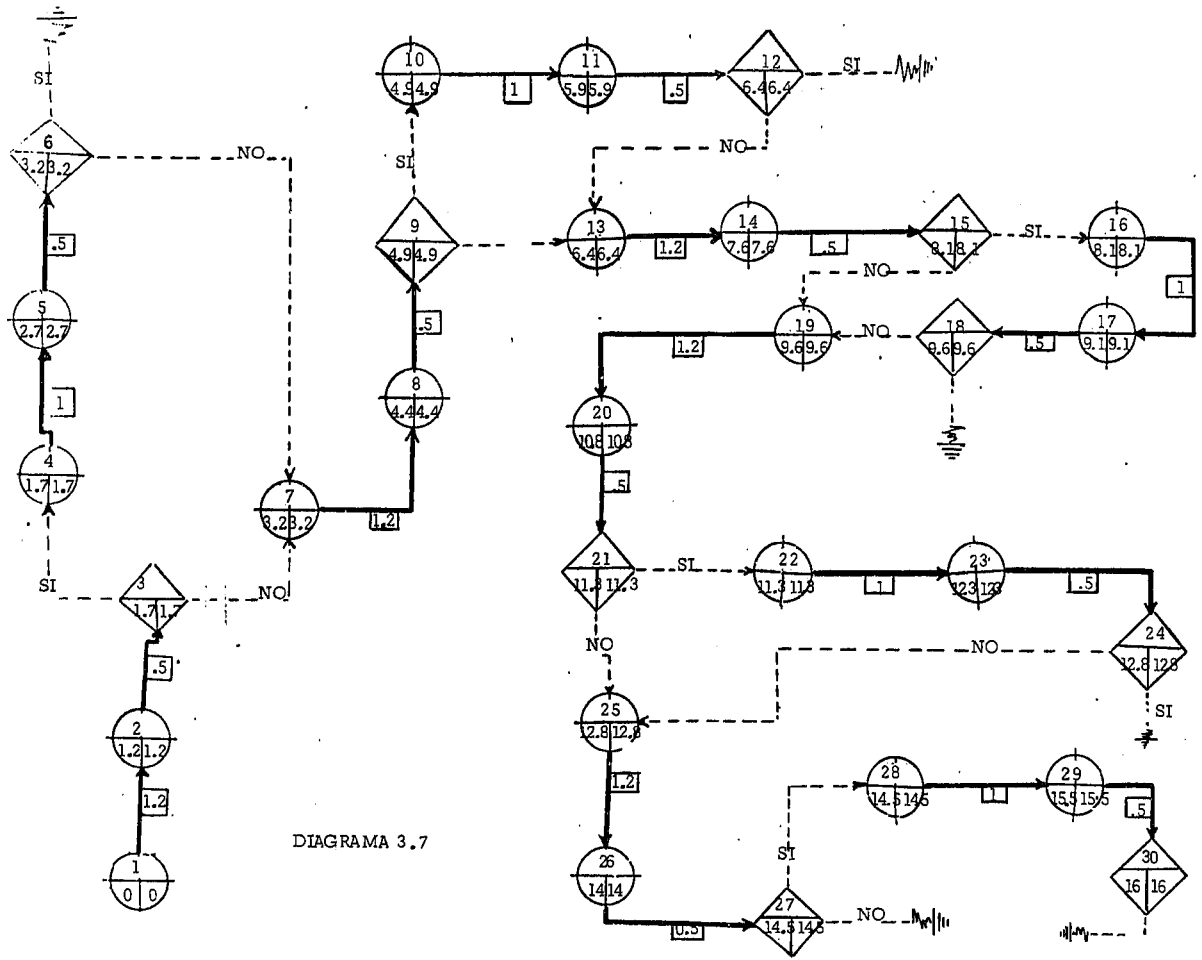


DIAGRAMA 3.7



podría consistir en procesar las cargas en forma seriada y " a ciegas", es decir, sin esperar los resultados del laboratorio de la carga anterior, para pasar a la siguiente. En esta forma, resultaría la red muy sencilla del diagrama 3.8 en donde la duración es de 11.5 días en total. Esta refinación de la lógica debe ser un paso obligado, en la programación de la producción.

En el diagrama 3.8, se observa que a pesar de que no se obtiene el análisis de laboratorio inmediato de cada carga, antes de pasar a la siguiente, este proceso de producir cargas sin saber como salió la anterior es válido sobre la base de que no origina una cantidad considerablemente mayor de material malo comparativamente al del programa del diagrama 3.7. Como ejemplo, hasta que termina la carga 2.y, (5-7), se inicia su análisis respectivo (8-10), que terminará 0.5 días después de iniciada la carga No. 3 (7-9). En el caso de que el análisis resultara positivo, es decir, dentro de las especificaciones requeridas, la sustitución de la materia prima C, en la carga 3, resultará innecesaria, pero no tendrá ninguna consecuencia negativa, salvo el consumo menor de una materia prima más cara una vez, en una carga. De cualquier manera, si se solicitó al proveedor original suficiente mate-

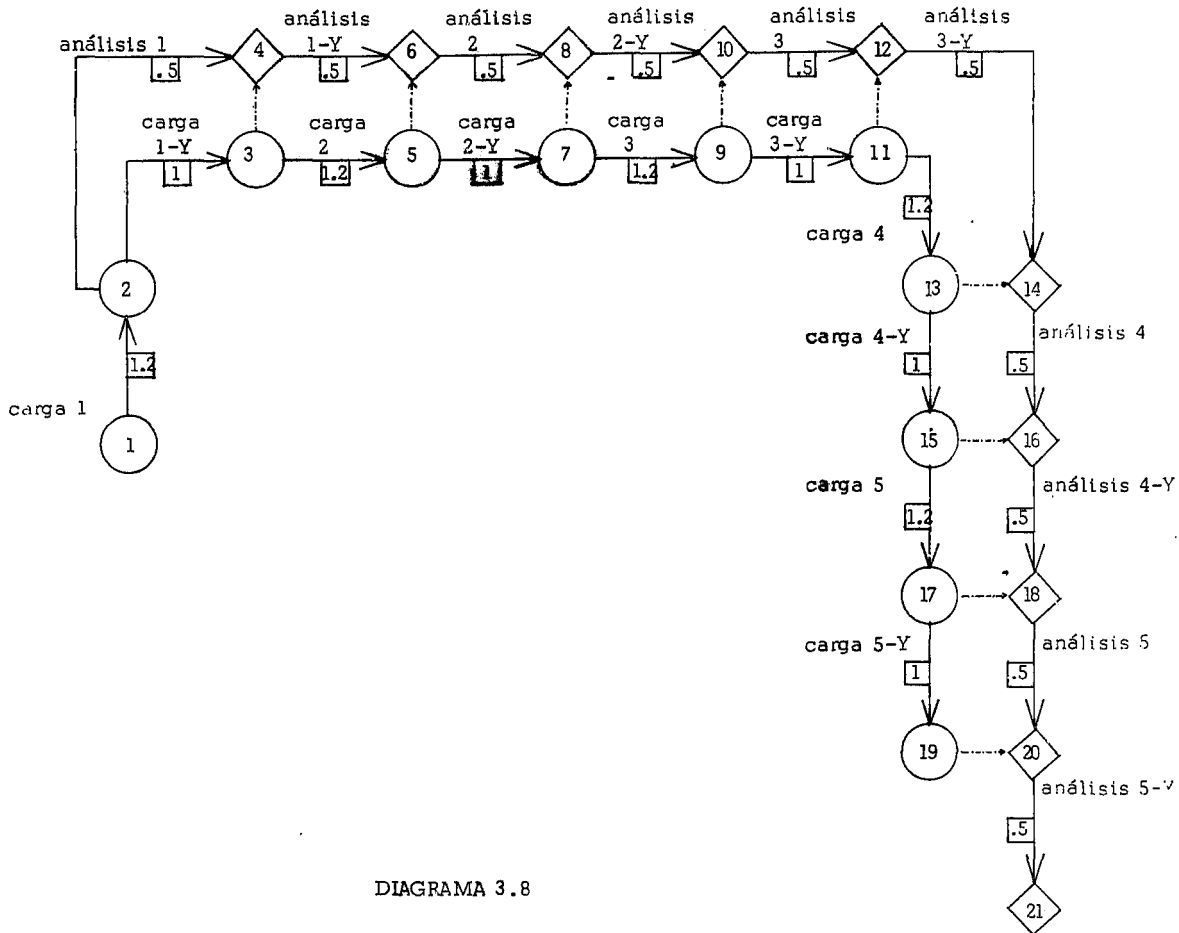


DIAGRAMA 3.8

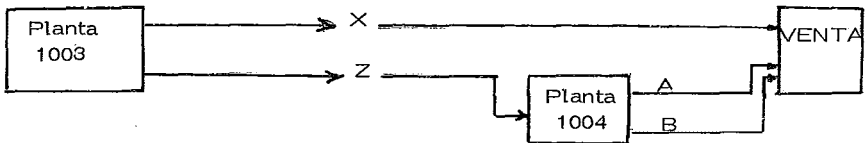
rial de a, b, c, d, e y f, para realizar las pruebas, después de encontrar a la culpable del problema de calidad, resultaría difícil que el proveedor aceptara una devolución de las materias primas no consumidas, en cuyo caso, habrían de utilizarse.

Bajo este nuevo programa, el tiempo más corto para iniciar una producción continua de material aceptable será de 3.4 días, y el tiempo más lejano (el peor de los casos), será de 11.5 días contra 3.2 días y 16 días respectivamente del programa anterior.

El beneficio de utilizar las redes resalta ante el surgimiento de nuevas posibilidades de programar las pruebas, que de otra manera sería más difícil desarrollar.

ILUSTRACION CASO -8

La planta 1003 fabrica los productos  $x$  y  $z$ . El primero se vende directamente al mercado, mientras que  $z$  es consumido en su totalidad como materia prima por los productos A y B que se producen en la planta 1004 y que son dirigidos exclusivamente para venta.



Los cuatro productos se llevan en inventario, puesto que la planta 1003 se programa en corridas alternadas de  $x$  y  $z$ , al igual que la planta 1004 con A y B. Las corridas de producción de cada uno de estos productos se realiza en apego a lotes económicos.

Tanto la planta 1003, como la 1004, se encuentran operando en condiciones inferiores a su máxima capacidad de producción, esto es, en 82% y 88% respectivamente.

En estas circunstancias, se presenta la necesidad de dejar de producir durante un tiempo determinado los cuatro productos, para permitir la realización de un proyecto que bien podría ser:

- Un paro de ambas plantas para realizar un mantenimiento mayor (anual)
- Un paro de las dos plantas para efectuar las modificaciones necesarias al equipo, para obtener una mayor capacidad de producción instalada.

- O bien la dedicación temporal de las dos plantas a la fabricación de un producto especial (pedido de un cliente específico), como podría ser una exportación, un pedido del gobierno, etc.

Para el caso de la ilustración, el uso de cualquiera de las tres suposiciones es irrelevante puesto que lo que se desea ejemplificar es la imposibilidad de las dos plantas, para producir  $z$ ,  $x$ ,  $A$  y  $B$ , durante un período determinado. En este caso, el "proyecto especial" tiene una duración de 3 semanas.

Esta situación, obligará a elevar el nivel de los inventarios, de manera que al inicio del paro, sean de tal magnitud que puedan satisfacer la demanda durante dicho paro:

Inventarios justo antes del paro = demanda/semana  $\times$  3 semanas.

Debido a que el producto  $z$  es exclusivamente un producto intermedio, su inventario en dicho momento podrá ser cero.

Al momento de conocerse la necesidad de realizar este paro, la planta 1003 iniciaba su corrida de  $z$  y la planta 1004 iniciaba también, su corrida de  $A$ . Los inventarios en almacén eran los siguientes:

TABLA 1		
(1)	(2)	(3)
<u>Producto</u>	<u>Inventario Real</u> (Ton)	<u>Inventario a Considerar</u> (Ton)
Z	0 + I. S.	0
X	74 + I. S.	74
A	0 + I. S.	0
B	60 + I. S.	60
	Total	134

Para efectos de programa, los inventarios de seguridad (I.S.) no deben de tomarse en cuenta, debido a su propia naturaleza y objetivo; por lo tanto, los inventarios a considerar son los que aparecen en la columna (3).

Los consumos y capacidades productivas de cada producto son los siguientes:

TABLA 2

	<u>Ventas/Semana</u> (Ton)		<u>Capacidad estándar de</u> <u>Producción/semana</u> (Ton)	<u>% de capacidad</u> <u>utilizada normalmente</u>
A	18.6		40.3	46.3%
B	10		24.0	41.7%
Sub Total Planta 1004	28.6		64.3	88.0%
<hr/>				
X	37.5		70	53.5%
Z { p/A	11.2 (60.5%)	25*	75	28.9%
p/B	10.4 (104%)			
	21.6			
Sub Total Planta 1003	59.1		175	82.4%

\*Consumo interno como materia prima suponiendo que A ó B, estén a máxima capacidad.

Lo primero por efectuar será entonces cambiar los turnos de ambas plantas, para poder producir a máxima capacidad y lograr los inventarios requeridos a la brevedad posible, ya que la realización del proyecto especial es urgente.

Los inventarios objetivo justo antes del paro podria ser:

TABLA 3

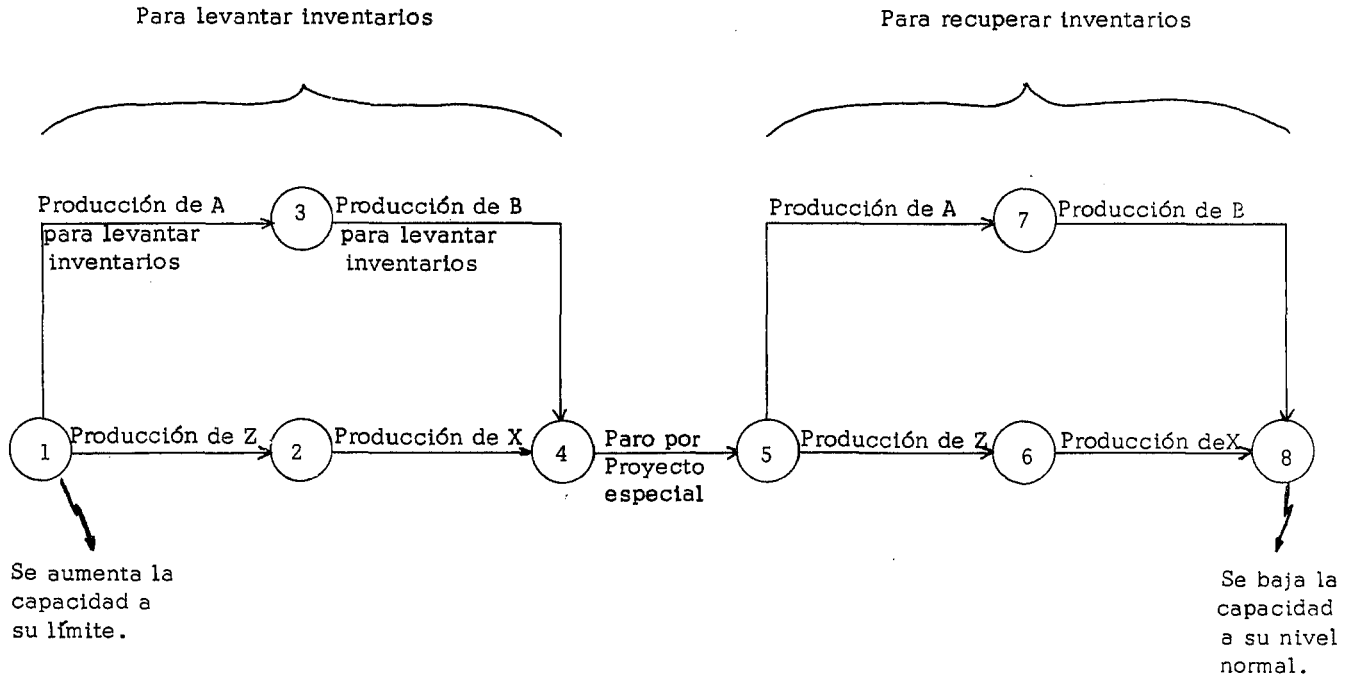
CONSUMOS P/TRES SEMANAS:

A	18.5 x 3	= 56
B	10 x 3	= 30
X	37.5 x 3	= 112.5
Z	0	
TOTAL		= 198.5

Sin embargo, estos inventarios serían suficientes para soportar el paro solamente, pero no para permitir el inicio regular de las corridas de cada producto después del paro; es decir, habría pérdida de ventas de A, en caso de que se arrancara la planta 1004 con B; lo mismo sucedería con Z ó X, en la planta 1003. Por esta razón, el planteamiento del programa de producción del diagrama 3.9 muestra las siguientes actividades:

- 1 - 2.- Se levantan los inventarios de z necesarios para las producciones de A y B anteriores al paro
- 1 - 3.- Se produce una corrida de A en cantidad suficiente para lograr el objetivo de la Tabla 3.
- 2 - 4.- Se produce X en cantidad suficiente para lograr el inventarios de la Tabla 3, y además para soportar la corrida inicial de z después del paro.
- 3 - 4.- Se produce B en cantidad suficiente para lograr el objetivo de la Tabla 3 y para permitir la corrida de A de arranque después del paro.

DIAGRAMA 3.9





- 4 - 5.- La realización del proyecto especial que finalmente significa paro de las plantas
- 5 - 6.- Corrida de z para levantar su inventario y para poder producir A y B.
- 6 - 8.- Corrida de x para levantar su inventario y para poder seguir cumpliendo con las ventas.
- 5 - 7.- Corrida de A para volver los inventarios a su normalidad
- 7 - 8.- Corrida de B para regularizar su nivel de inventarios.

Resumiendo, el inicio y fin de este programa de producción especial

lo marcan:

- El iniciar la creación de inventarios adicionales produciendo a toda capacidad.
- El volver a las capacidades de producción originales y recuperar los inventarios normales que permitan operar con corridas económicas de producción.

Obviamente, las corridas del diagrama 3.9 son muy superiores a las que corresponderían a los lotes económicos.

Por las actividades 2 - 4 y 3 - 4 los inventarios de x y B justo antes del paro deberán ser de 165 Ton y 56 Ton respectivamente.

El incremento de inventarios por lograr será:

<u>Producto</u>	<u>Inventario Inicial</u>	<u>Inventario deseado</u>	<u><math>\Delta</math> de Invs.</u>
A	0	56	56
B	60	56	(4)
<hr/>			
X	74	165	91
Z	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
TOTAL	134	278	144

Tiempo requerido para levantar inventarios

a) Puesto que la planta 1004 es la que en mayor medida ocupa normalmente su capacidad, es decir, es la que menor capacidad dispone para levantar los inventarios, es la que se utiliza para determinar el tiempo que tomará dicha operación:  $I_i + P - V = I_f$  (Ecuación general)

$\Theta_1$  = Tiempo durante el cual se produce A

$\Theta_2$  = Tiempo durante el cual se produce B

De acuerdo a los datos de la Tabla 2:

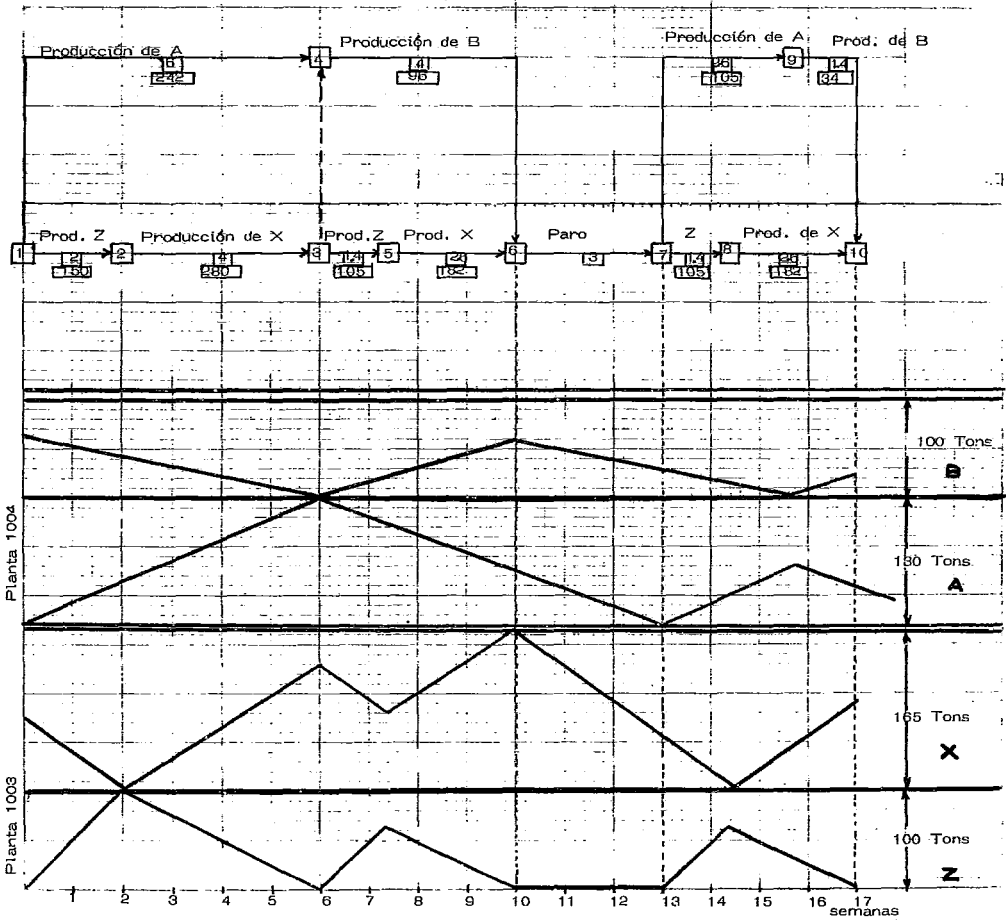
$$\text{Para A: } 0 + \Theta_1 (40.3 - 18.6) - \Theta_2 (18.6) = 56$$

$$\text{Para B: } 60 + \Theta_2 (24 - 10) - \Theta_1 (10) = 56$$

De donde  $\Theta_1 = 6$  semanas y  $\Theta_2 = 4$  semanas, siendo el tiempo a transcurrir antes del paro:  $\Theta_1 + \Theta_2 = 6 + 4 = 10$  semanas.

Programación.- El paso a seguir consistirá en programar las corridas considerando sus capacidades y consumos. Se empezaría por la corrida de Z, hasta que el inventario de X llegara a cero. En seguida se programaría a este producto hasta que se agotara Z; simultáneamente debería de efectuarse la misma operación con A y B. Como estos cálculos aritméticos originan errores, es más fácil diseñar el modelo de inventarios gráficamente, tal como se hizo en la gráfica 3.10. Basta trazar las rectas con las pendientes características de cada producto que representen su suministro (producción menos consumo) y su consumo solamente. Partiendo de los inventarios iniciales se trazan paralelas a las rectas de pendiente positiva cuando se está produciendo, y paralelas a las rectas con pendiente negativa cuando nada más se consume. El programa de producción que se proporcionará al personal de operación, sería como el diagrama de flechas que aparece en la parte superior del diagrama 3.10, que a su vez se dedujo de los modelos de inventarios dibujados como antes se mencionó. En dicha red, se puede apreciar que todas las actividades son críticas y por lo tanto no es necesario anotar las propiedades de los eventos y holguras. Nótese, que las flechas en este caso están a escala del tiempo programado. Las cantidades a producir en cada caso se especifican en los cuadritos inferiores a los de las duraciones. La duración del programa total será de 17 semanas. La red del diagrama 3.9, cuenta solamente 9 actividades, mientras que la del diagrama 3.10, incluye 11 actividades, como resultado de una refinación de la red al considerar los cambios de producción necesarios. Los modelos de los inventarios sirven como herramienta de control, si se dibujan con líneas punteadas las producciones reales, pudiendo estimar

DIAGRAMA 3:10



82.-

de inmediato la fecha del inicio del paro, si se atrasara alguna de las actividades que tienen lugar antes del evento 6, ó estimar la fecha en que se reducirán las capacidades de las plantas si se presenta un atraso en alguna de las actividades que tienen lugar antes del evento 10.

Esta técnica gráfica de programar la producción y los inventarios, permite hacer más clara la estrecha relación del diagrama de flechas y el comportamiento de los inventarios, y en consecuencia el medir los efectos que en estos habría ante la reducción de la duración del programa especial.

## CAPITULO IV

### REDUCCIONES AL TIEMPO DE DURACION DE LAS REDES

Este capítulo tiene como objeto ilustrar las ventajas de la reducción al tiempo de duración de las redes, cuando se aplican a programas de producción. Al igual que en las actividades, siempre hay una relación entre la duración y el costo de un proyecto. Los costos directos siempre aumentan a medida que la duración del proyecto se reduce mientras que los costos o gastos indirectos disminuyen.

Los costos directos son los resultantes de cada actividad, por lo que, al reducir la duración de una ó más actividades, los costos directos del proyecto aumentan. El sistema de "reducción a la duración" debe realizarse primeramente sobre las actividades críticas y dentro de éstas, aquellas que tengan los menores costos unitarios de reducción. Cuando todas las actividades se han comprimido a su duración mínima el proyecto estará a su vez en su costo máximo. Si no se comprime ninguna actividad, el proyecto estará en su duración normal, con su costo directo a su mínimo posible.

La figura 4.1 muestra la relación inversa de los costos indirectos y directos, así como lo que implica la duración óptima, que es a la que corresponde el costo total mínimo. La búsqueda de este punto, es la principal justificación para pretender reducir la duración de un proyecto.

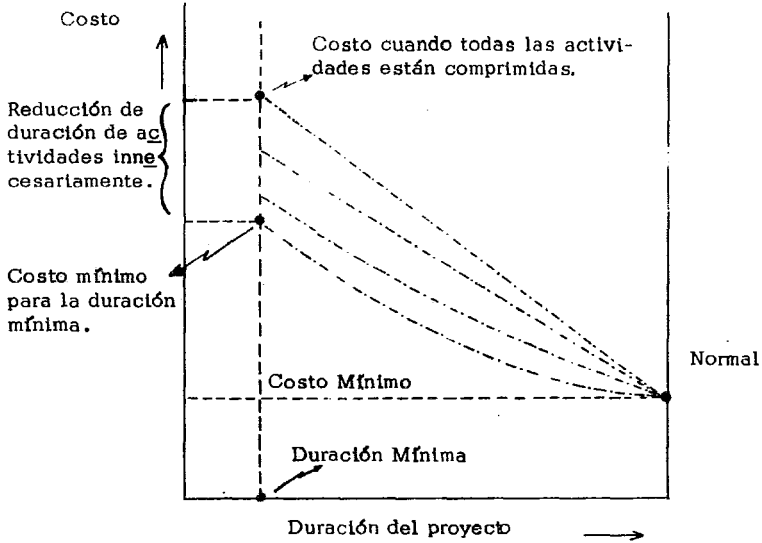
#### ILUSTRACION 4 -CASO 3

La red de actividades que representa el programa de producción aparece con todas sus actividades críticas. Esto en esencia no es cierto si se observa que la capacidad de la planta 1003 cuenta con una capacidad sobrante del 18%, contra solo un 12% de la planta 1004. Sin embargo, aceptando que este "cuello de botella" no pueda evitarse por el momento, la única alternativa, será reducir la duración de la actividad 6 - 7 (figura 3.10), que además de reducir el tiempo total del proyecto, (17 semanas) por ser una actividad crítica, afectará la duración de sus actividades precedentes por requerirse menor cantidad de inventarios adicionales.

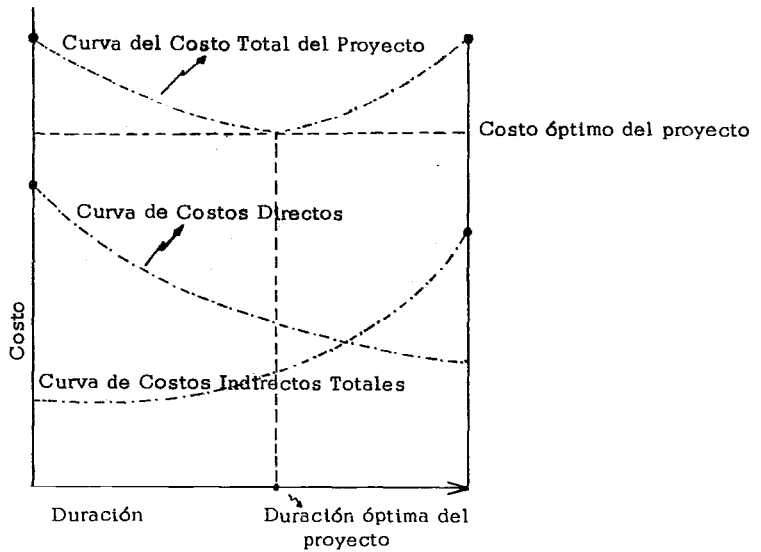
$$\begin{aligned} \text{Si:} \quad \Theta_1 &= D_{ij} \text{ de la actividad 1 - 4} \\ \Theta_2 &= D_{ij} \text{ de la actividad 4 - 6} \\ \Theta_3 &= D_{ij} \text{ de la actividad 6 - 7} \end{aligned}$$

DIAGRAMA 4.1

Curvas de Costo Directo del Proyecto



Curva del Costo Total del Proyecto





Las ecuaciones que relacionan estas duraciones son:

$$\Theta_1 (21.7) - \Theta_2 (18.6) = 56$$

$$-\Theta_1 (10) + \Theta_2 (14) = 4$$

O lo que es lo mismo:

$$\Theta_1 (21.7) - \Theta_2 (18.6) = If_A - Ii_A$$

$$-\Theta_1 (10) + \Theta_2 (14) = If_B - Ii_B$$

en donde  $If_A$  e  $Ii_A$  son los inventarios finales e iniciales de A respectivamente.

El mismo sistema de nomenclatura es aplicable a B.

Para el caso de A:  $If_A = \Theta_3 \times 18.6$

Para el caso de B:  $If_B = \Theta_3 \times 10 + 2.6 (10)$

Resolviendo se encuentra la ecuación de la recta con  $\underline{X}$  como  $(\Theta_1 + \Theta_2)$  y  $\underline{Y}$  como  $\Theta_3$  :

$$(\Theta_1 + \Theta_2) = (\Theta_3 - 1.6) / 0.1409 \text{ -----(a)}$$

Para eliminar del programa a  $\Theta_2$  , ó sea la corrida de B, se necesitaría que el inventario de B fuera suficiente para soportar la corrida de A después del paro (actividad 7 - 9), el paro (actividad 6 - 7), y la corrida inicial de A (actividad 1 - 4), ó sea:

60-26 = 34 toneladas = 3.4 semanas de inventario con lo cual para A serían:

$$\Theta_1 + \Theta_3 = 3.4 \text{ semanas}$$

Para A también:  $\Theta_1 (21.7) = \Theta_3 (18.6)$

Resolviendo, se encuentra que:  $\Theta_3 = 1.85$  y  $\Theta_1 = 1.55$  semanas

Cuando  $\Theta_3$  sea mayor de 1.85, será necesario incluir a la actividad 4-6 ó sea  $\Theta_2$ .

Para valores de  $\Theta_3 < 1.85$

$$\Theta_1 = \frac{\Theta_3 (18.6)}{21.7} = (0.855) \Theta_3 \text{ -----(b)}$$

Por lo tanto, para valores de  $\Theta_3 > 1.85$ , aplicará la ecuación (a) que incluye a  $\Theta_2$ :

$$\Theta_1 + \Theta_2 = \frac{\Theta_3 - 1.6}{0.1409}$$

El deducir y usar estas relaciones, puede originar en ocasiones el cometer errores, por lo cual, es aconsejable que se determine  $\Theta_1$  y  $\Theta_2$  para cada valor de  $\Theta_3$ , en forma gráfica, en la misma manera en que fué desarrollada la gráfica 3.10. También se obtendrá de inmediato la duración de  $\Theta_1$  y  $\Theta_2$ . Para determinar cuanto conviene reducir la duración del paro, se establece primeramente el costo de reducción por unidad de tiempo. En este caso es de \$50,000/semana, costo contra el cual no com-  
piten los ahorros de:

- Mantenición de inventarios

- Tiempo extra de mano de obra por trabajar a máxima capacidad que se obtendrán con la disminución de la duración de la actividad 6 - 7. Cuando la actividad 6 - 7 fuera un paro por mantenimiento ó de construcción para aumentar la capacidad instalada, los ahorros de los gastos indirectos por día no podrán competir contra el costo directo diferencial de reducir dicha actividad.

En este caso, la información de los ahorros en gastos indirectos es útil cuando se impusiera, por alguna razón de fuerza mayor, una reducción a la actividad 6-7. Suponiendo que se exigiera terminaran en solo dos semanas:

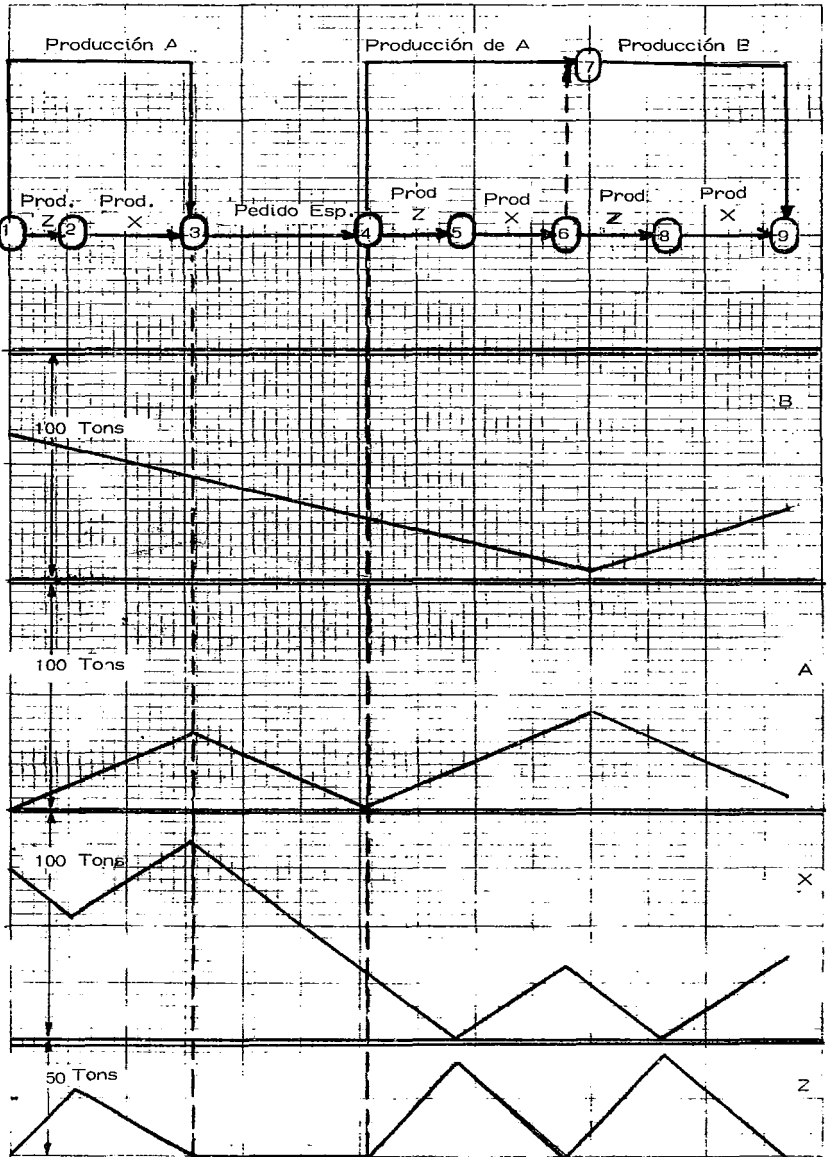
Costo de reducción	\$ 50,000.00
Ahorro de inventarios	\$ 35,000.00
y Tiempo Extra	
Costo Neto	\$ 15,000.00

para este caso  $\Theta_1 + \Theta_2$  será igual a 2.8 semanas, y la duración total del programa: especial será de 9.8 semanas en lugar de 17 semanas.

Si la actividad 6 - 7 se tratara de una corrida de producción para surtir un producto especial, y se aceptara producirla en dos partes, cada una de 1.5 semanas, entonces no habría necesidad de producir B. El diagrama 4.2 muestra como quedaría la red de actividades correspondiente. Aún cuando el dividir en dos corridas parciales la producción del pedido especial, tomara en total las mismas 17 semanas de programa a toda capacidad, se ganará lo siguiente:

- No es necesario esperar 10 semanas para obtener el producto especial, con esta alternativa se termina su primera mitad poco después de la tercera semana.
- Se divide en dos períodos la carga para el personal que trabaja en tiempos extras.
- Se evitan "picos" de inventarios, mismos que originan problemas de almacenaje y su costo correspondiente.

FIGURA 4.2



10 X 10 TO THE INCH 46 0782  
 1977  
 ANITALL & COMPANY

#### ILUSTRACION CASO 4

El siguiente caso ilustrará el procedimiento formal para reducir la duración de un programa de producción planteado sobre una red de actividades.

Una planta (1006) de extrusión e inyección elabora varios productos de plástico. El compuesto que utiliza lo obtiene de la planta 1005 que produce diferentes productos necesarios a las diferentes extrusoras e inyectoras de la planta 1006. Dadas las características del mercado de productos de plástico, se obtienen frecuentemente pedidos especiales que incluyen los siguientes pasos:

- 1) Diseñar el molde del producto
- 2) Construir el molde
- 3) Elaborar el compuesto, dentro de las especificaciones requeridas, en la planta 1005.
- 4) Diseñar el empaque del producto de plástico
- 5) Ordenar el empaque

Cuando se trata de un pedido muy grande, se establece una fecha límite de inicio de entregas, contra multas por cada día de atraso. La importancia de un pedido de gran magnitud exige desplazar a otros productos de la programación de las extrusoras ó inyectoras. oca-

stonando una ligera afectación a los clientes de esos productos menores, pero que pueden repercutir en pérdida de ventas si no se les da el tratamiento adecuado.

Bajo estas condiciones, un Pedido de las magnitudes antes anotadas, requiere de dos productos de plástico ( A y B) para un ensamble antes de ser empacado para su venta, ó sea, que los 5 pasos antes decritos, habrán de realizarse para cada una de las partes de plástico. Las actividades por llevar a cabo para obtener el producto terminado son las siguientes:

- 1) Diseño del molde para el producto A
- 2) Diseño del molde para el producto B
- 3) Elaboración del molde para A
- 4) Elaboración del molde para B
- 5) Diseño del empaque para el producto terminado C
- 6) Compra del empaque
- 7) Pruebas de laboratorio del compuesto para inyectar A
- 8) Pruebas de laboratorio del compuesto para inyectar B
- 9) Producción del compuesto (A) en la planta 1005
- 10) Producción del compuesto (B) en la planta 1005
- 11) Producción de A en la planta 1006
- 12) Producción de B en la planta 1006

13) Ensamble de las partes A y B - obtención de C

14) Empaque del producto C.

El diagrama 4.3 , muestra el plan para obtener C en las condiciones más favorables para la empresa , ya que las actividades como ensamble y empaque tienen una planeación "una tras otra" aún cuando podrían ser simultaneas en el caso de contar con mayor personal para realizar este tipo de labores .

La duración del programa de producción bajo estas condiciones es de 140 días .

Debido a que la fecha de cumplimiento de este pedido es de 60 días , el plan de producción del diagrama 4.3 es inaceptable .

La refinación de la lógica del plan, llevó al plan de producción del diagrama 4.4 que ya es más cercano al tiempo límite con una duración total de 95 días . Los cambios que llevaron al logro de esta reducción, dentro de las posibilidades de recursos de la empresa , fueron:

1) Las producciones de A y B en la planta 1006 , no tienen que estar totalmente terminadas para iniciar el ensamble . En cada caso , solamente se requiere de 5 días de producción de cada producto , para poder iniciar el ensamble . Esos 5 días están explicados por los



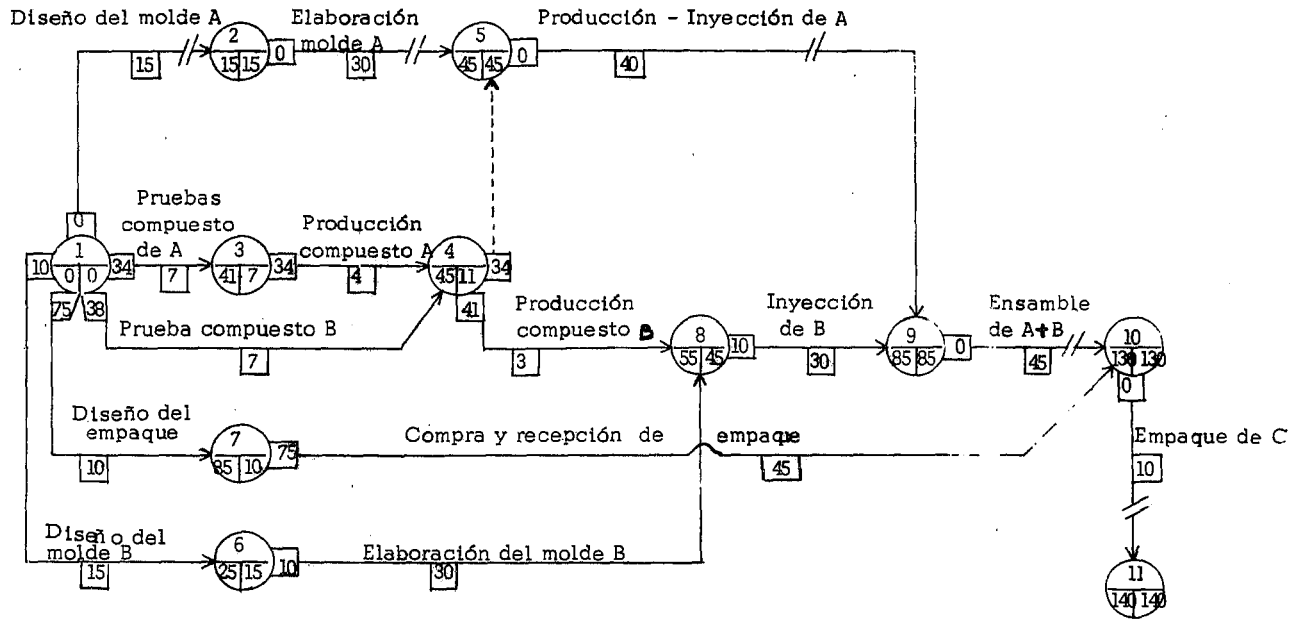
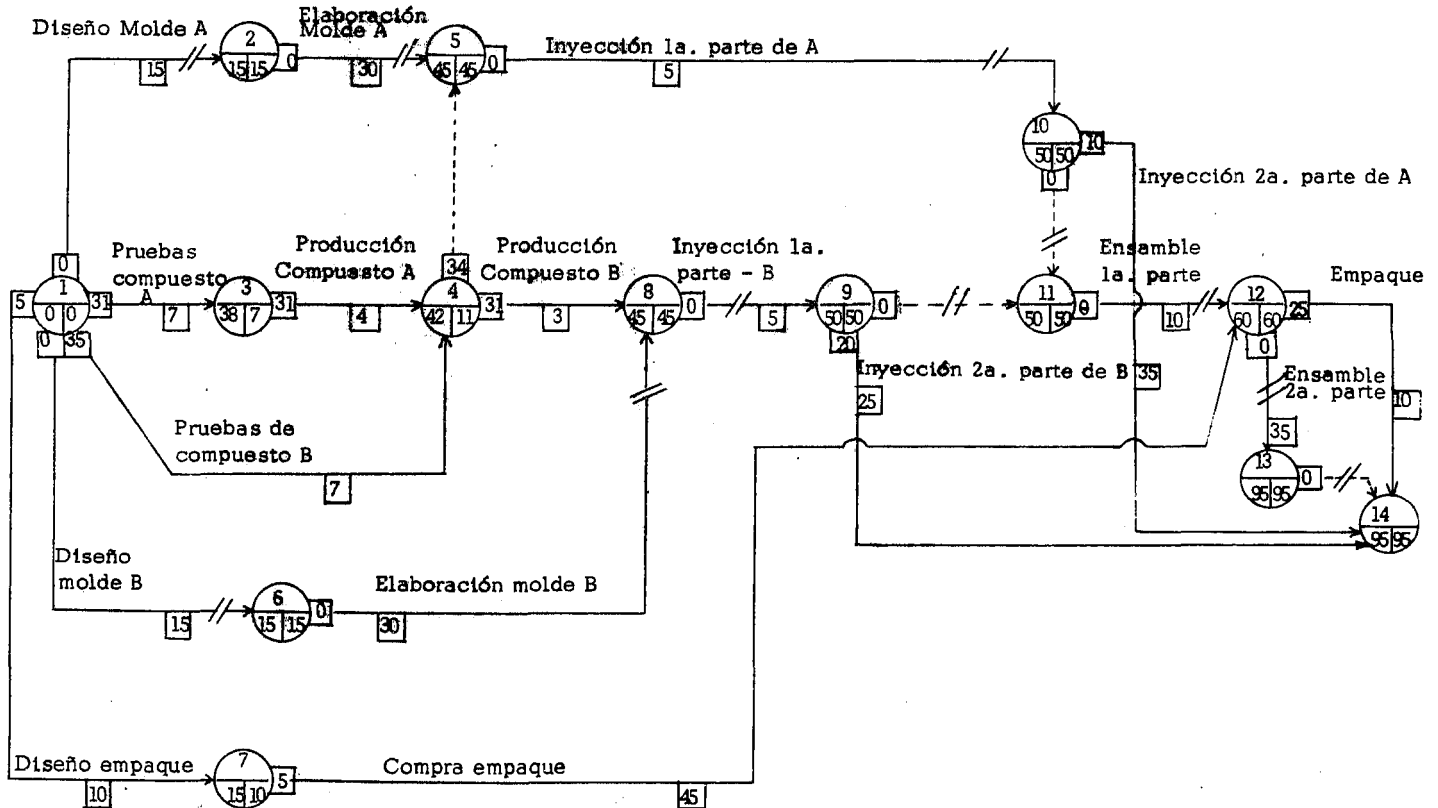


DIAGRAMA 4.3

DIAGRAMA 4.4



ajustes necesarios a las condiciones de operación de las inyectoras y a la necesidad de contar con un inventario mínimo de cada producto para poder asegurar una continuidad en la operación del ensamble.

2) Después de haber ensamblado una parte, se puede iniciar el empaque. Con asignación de personal de otras áreas para efectuar esta actividad, no es necesario esperar que todas las partes A y B estén ensambladas. La tabla 4 - 1, muestra las especificaciones de cada una de las actividades que forman este plan de producción.

Puesto que es necesario reducir en lo posible la duración del plan de producción, para poder cumplir con el compromiso de los 60 días, se deberá proceder a juzgar la magnitud de la reducción que conviene a la empresa. La primera etapa, será encontrar la curva del costo directo. De los procedimientos más prácticos, se ilustrará el siguiente:

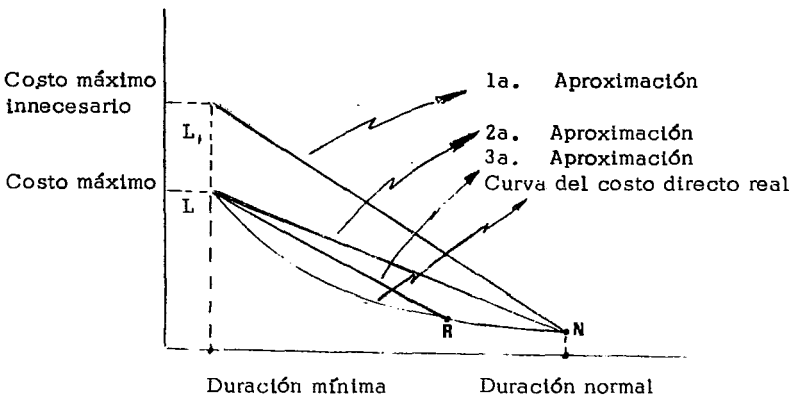


Tabla 4.1

No. de Actividad	Descripción	Duración	MAS PRONTA		MAS LEJANA		HOLGURA	
			Iniciación	Terminación	Iniciación	Terminación	Total	Libre
1-2	Diseño de Molde A	15	0	15	0	15	0	0
1-3	Pruebas de compuesto A	7	0	7	31	38	31	0
1-4	Pruebas de compuesto B	7	0	7	35	42	35	4
1-6	Diseño de Molde B	15	0	15	0	15	0	0
1-7	Diseño de empaque	10	0	10	5	15	5	0
2-5	Elaboración de molde A	30	15	45	15	45	0	0
3-4	Producción de compuesto A	4	7	11	38	42	31	0
4-5	Ficticia	0	11	11	45	45	34	34
4-8	Producción de compuesto B	3	11	14	42	45	31	31
5-10	Inyección 1a parte de A	5	45	50	45	50	0	0
6-8	Elaboración Molde de B	30	15	45	15	45	0	0
7-12	Compra de empaque	45	10	55	15	60	5	5
8-9	Inyección 1a parte de B	5	45	50	45	50	0	0
9-11	Ficticia	0	50	50	50	50	0	0
9-14	Inyección 2a parte de B	25	50	75	70	95	20	20
10-11	Ficticia	0	50	50	50	50	0	0
10-14	Inyección 2a parte de A	35	50	85	60	95	10	10
11-12	Ensamble 1a parte	10	50	60	50	60	0	0
12-13	Ensamble de la 2a parte	35	60	95	60	95	0	0
12-14	Empaque	40	60	70	75	95	25	25
13-14	Ficticia	0	95	95	95	95	0	0

- 1.- El punto N corresponde a la duración y costo normal del proyecto.
- 2.- El punto L, se encuentra reduciendo a su límite, todas las actividades que puedan reducirse.
- 3.- El punto L se encuentra alargando las actividades no-críticas en el punto L, hasta que se vuelvan críticas ó normales.
- 4.- El punto R se encuentra reduciendo las actividades críticas de menor costo unitario hasta que otras críticas se vuelvan no críticas.

Entonces la curva graficada con los puntos L, R y N dan una aproximación muy aceptable y cercana a la real. El pretender encontrar la curva del costo directo a través de un proceso de reducciones, conduce a tantas alternativas que incluso resulta complicado para sistemas mecanizados.

#### APROXIMACION AL PUNTO R

El primer paso es recabar la información sobre los costos de reducción unitarios de cada actividad crítica y de las que posiblemente lleguen a reducirse. De la tabla 4 - 1, las actividades que difícilmente tendrán que reducir su duración, son la 1-3, 1-4, 3-4 y 4-8. Esta discriminación se efectúa en base a las holguras totales de cada actividad, descartando a las ficticias que no tienen duración. En la tabla 4.2, aparecen las actividades factibles de reducirse, con su correspondiente costo unitario de reducción. En algunas actividades se incluyen 2 rangos de costo diferente.

El resumen de las razones que explican las posibles reducciones de las actividades es como sigue:

Diseño de Moldes y Empaque. -- El departamento de Ingeniería Industrial puede dejar algunos trabajos en elaboración para dar prioridad al diseño de los moldes para A y B, con los gastos que esto implica, y por otro lado, compensar por tiempo extra a su personal.

Elaboración de Moldes. -- El taller mecánico puede posponer otras actividades con mínimo costo, y por otro lado laborar en tiempo extra incluyendo días de descanso.

Producción en la Planta 1006. -- En lugar de asignar una inyectora a cada una de las partes A y B, se pueden asignar 2 inyectoras a cada producto, con el sacrificio por otro lado, de perjudicar el servicio en los productos que se fabrican de línea en dicho equipo. Adicionalmente, laborar en tiempo extra.

Ensamble y Empaque. -- Se puede contratar mano de obra eventual, con los costos adicionales de entrenamiento, y desperdicio de materiales. Así mismo, laborar en tiempo extra.

Compra de Empaque. -- El proveedor puede surtir en 30 días en lugar de 45 días, sacrificando sus beneficios en programas con secuencias de producción lógicas. El costo involucrado lo cargará al pedido.

El segundo paso consiste en reducir las actividades críticas de menor costo unitario de reducción, hasta que alguna actividad, originalmente crítica, se vuelva no-crítica, ó hasta que la (s) actividad (es) que se está reduciendo, llegue a su duración límite, lo que se cumpla primero. En muchas ocasiones, no es prudente reducir más, después de que una ó más actividades no-críticas se hayan vuelto críticas, debido a la multitud de alternativas que se van presentando.

1.- De la tabla 4-2, las actividades críticas de menor costo de deducción son la 11-12 y 12-13 que representan la operación de ensamble. Como su primer y segundo rango de costo unitario son inferiores al resto de las actividades críticas, se tratarán de reducir al máximo.

2.- La actividad 11-12 se reduce en 4 días, para llegar a su duración mínima de 6 días, sin afectar radicalmente a otras actividades. El costo involucrado es de  $600+(3 \times 800) = \$ 3,000.00$

3.- La actividad 12-13 se puede reducir en 6 días, tiempo en el que la actividad 10-14 se vuelva crítica y será necesario rehacer la elección de la actividad crítica por reducir. El costo correspondiente es de  $600+(800 \times 5) = \$ 4,600.00$

Tabla 4.2

	Duración	HOLGURA		Para 1er. Rango		Para 2° Rango		
		Total	Libre	Costo Unitario de reducción \$/día	Días a Reducir	Costo Unitario de reducción \$/día	Días a Reducir	Duración Mínima
1-2 Diseño Molde A	15	0	0	1000	4	1200	4	7
1-8 Diseño Molde B	15	0	0	1000	4	1200	4	7
1-7 Diseño de empaque	10	5	0	1000	2	1200	3	5
2-5 Elaboración Molde A	30	0	0	1500	6	2000	4	20
5-10 Inyección 1a parte de A	5	0	0	2000	2	-	-	3
6-8 Elaboración molde B	30	0	0	1500	6	2000	4	20
7-12 Compra de empaque	45	5	5	500	15	-	-	30
8-9 Inyección 1a parte de B	5	0	0	2000	2	-	-	3
9-14 Inyeccion 2a parte de B	25	20	20	2000	3	3000	7	15
10-14 Inyección 2a parte de A	35	10	10	2000	5	3000	9	21
11-12 Ensamble 1a parte	10	0	0	600	1	800	3	6
12-13 Ensamble 2a parte	35	0	0	600	1	800	17	17
12-14 Empaque	10	25	25	400	1	500	3	6



Las apreciaciones de criticidad mencionadas en los puntos 1 y 2 son fáciles de hacer con las anotaciones de las holguras totales en los cuadritos correspondientes de cada actividad y las interacciones que guardan dichas actividades y los eventos en el diagrama 4.4

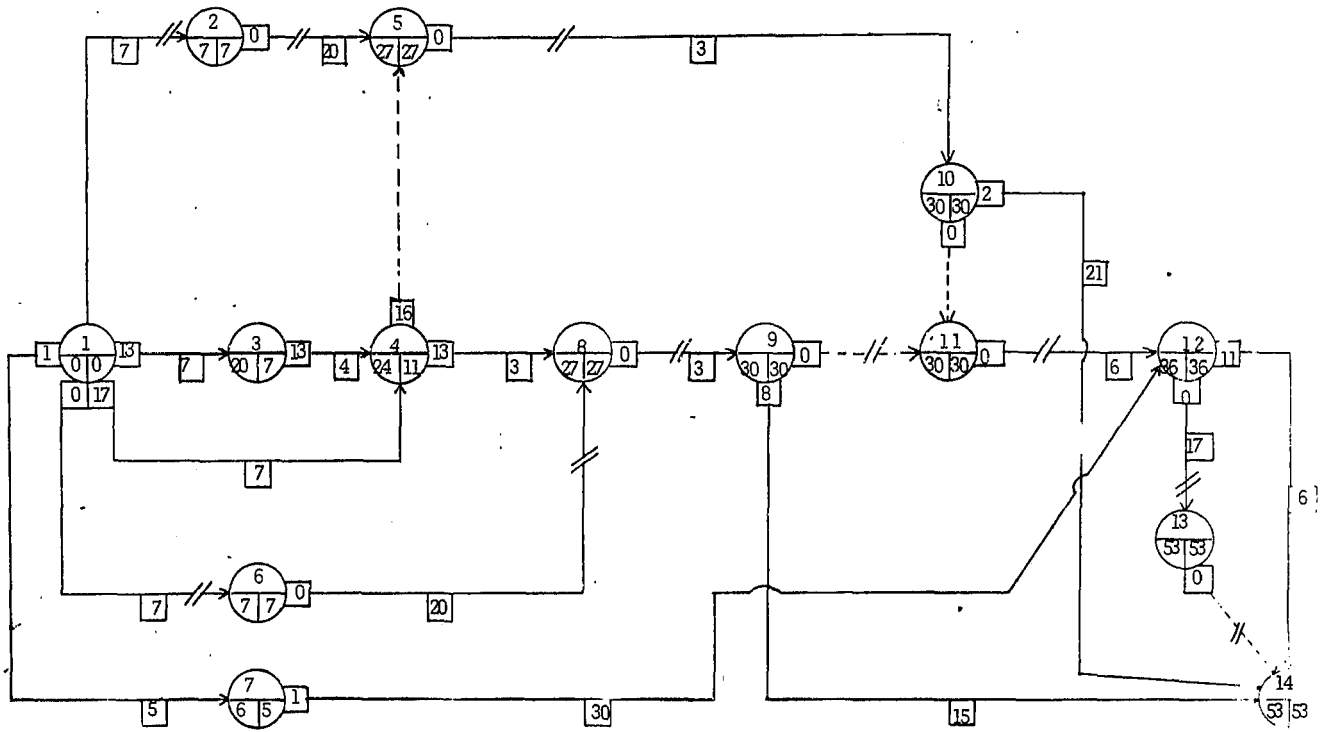
4.- Hasta aquí, el costo adicional por reducción es de \$7,600.00 y la duración del proyecto es de 85 días. En el diagrama 4.5, se aprecia que será necesario reducir simultáneamente 2 actividades de las 2 rutas críticas ya existentes y que con un día menos la actividad de compra de empaque (7-12) también se volverá crítica creando la 3a. ruta crítica. Como esto haría ya demasiado complicado el sistema actual de reducción, se da por encontrado el punto R a los 85 días de duración.

5.- El siguiente paso es encontrar el punto L, llevando a su duración mínima todas las actividades, tal como se muestra en el diagrama 4.6, en donde la duración del programa total es de 53 días. El costo de reducción es de \$155,800.00 que es un costo excesivo para los 53 días simplemente porque las actividades 1-7, 7-12, 9-14 y 10-14, no son críticas, es decir, se han reducido más de lo necesario.

a) De las actividades reducidas no críticas, se selecciona la de mayor costo unitario de reducción, en este caso, la 9-14 y la 10-14 con \$3000/día (por estar en su 2o. rango).



DIAGRAMA 4.6



b) Las actividades se podrán alargar en un tiempo equivalente a su holgura independiente siempre y cuando no rebasen su duración normal; en este caso, las actividades 9-14 y 10-14 tienen holguras independientes iguales a sus holguras totales, por lo que del diagrama 4.6 se aprecia que ambas actividades se podrán alargar en 8 y 2 días respectivamente, siendo los ahorros:-

Para la actividad 9-14:	$(3000 \times 7) + 2000 =$	\$ 23000
Para la actividad 10-14:	$3000 \times 2 =$	6000
	Total	= \$ 29000

c) Las actividades 1-7 y 7-12 no tienen margen independiente.

d) Se forman grupos de actividades a relajar ó alargar. Un grupo se forma por las actividades no críticas y no relajadas que parten del evento 1; otro grupo de las que llegan al evento 2; otro grupo las que parten del evento 2 y así sucesivamente. Cuando hay grupos con las mismas actividades obviamente se elimina a uno.

e) Se obtienen los costos unitarios de reducción de cada grupo, sumando los correspondientes a las actividades que lo forman.

f) Se selecciona para alargarse al grupo con mayor costo unitario de reducción.

g) Un grupo podrá alargarse como máximo en un tiempo equivalente a la holgura de menor valor de sus actividades componentes siempre y cuando ninguna de dichas actividades exceda su duración normal.

h) Después de alargar a un grupo se actualizan los valores de  $I_p$ ,  $T_L$  y márgenes de cada actividad y se vuelven a formar grupos. Este proceso se repite hasta agotar a los grupos.

En nuestro caso, como solamente existen dos actividades no críticas y no alargadas ( las demás no críticas están en su duración normal) ó sean la 1-7 y la 7-2, cada una constituye en sí un grupo. La de mayor costo unitario de reducción es la 1-7 que de inmediato se alarga en un día (equivalente a su margen total). El ahorro es de \$1200. No existiendo más grupos se dá por encontrado el punto  $L$  en un costo de:

Costo excesivo sin relajar	\$ 155,800
Ahorro por alargar	30,200
Costo neto	<u>125,600</u>

Nótese que las actividades 1-4, 1-3, 3-4, y 4-8, no son críticas, pero se encuentran en su duración normal.

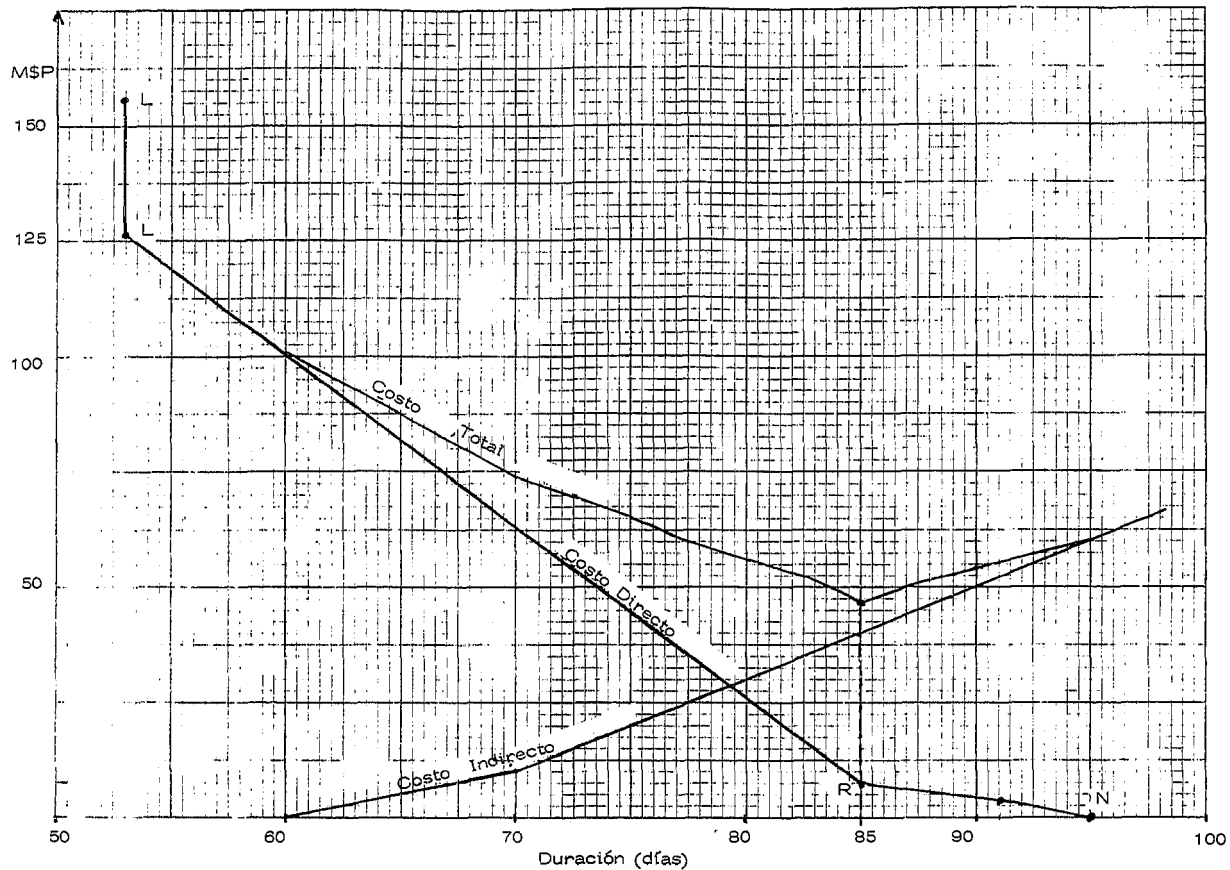
COSTO INDIRECTO

Para efecto de decisión los costos indirectos, de un programa de producción, se tomarán cuando representen, un cambio al desembolso en efectivo. En este caso, solamente a partir de 70 días de duración, se tendrán \$1000 por día de gastos indirectos. Por otro lado, por cada día de atraso en la entrega del producto C, más allá de los 60 días de duración del programa, se tendrá que pagar ( por compensación) al cliente, \$1000.

El diagrama 4.7, incluye en los datos anteriores, las curvas del costo directo y del indirecto, así como la del costo total. Se aprecia que el mínimo del costo total, corresponde a los 85 días de duración, ó sea, que será más conveniente pagar multa ó compensación por 25 días y gastos indirectos marginales durante 15 días que cumplir con el compromiso de los 60 días que implicaría una erogación de \$53,000 más que cumplir hasta los 85 días.

El procedimiento descrito da una aproximación adecuada para poder determinar los esfuerzos necesarios para reducir un programa de producción basándose en la ruta crítica.

DIAGRAMA 4.7



10 X 10 TO THE INCH 46 0782  
7 X 11 INCHES  
KUPPELL & CREER CO.  
MADE IN U.S.A.

Partiendo de la red de actividades, se procede a elaborar un programa de producción que establece los tiempos de iniciación y terminación de cada actividad asignando los recursos disponibles.

El MAP (Multiple Allocation Procedure) es la técnica que permite asignar los recursos en forma óptima a cada actividad. - Su objetivo es determinar el mejor límite y el mejor programa para cada tipo de recursos, de tal modo que el tiempo improductivo sea mínimo, o sea, distribuir los recursos utilizados lo más uniformemente posible.

Los recursos, hombres, materiales, equipo, dinero y tiempo, pueden ser fijos o variables dependiendo de su disponibilidad. Son fijos cuando los recursos asignados a la producción no pueden variarse con respecto al tiempo; el ejemplo clásico es el equipo o maquinaria que generalmente tiene un límite fijo. Son recursos variables cuando pueden variarse con respecto al tiempo, siendo la mano de obra y los materiales, generalmente representativos de este tipo. Cuando se cuenta con ambos tipos de recursos, se les denomina recursos combinados.

Durante el proceso de la asignación, es importante considerar que hay dos tipos de actividades:



DIVISIBLES.- Aquellas que pueden dividirse en más de una etapa para su realización; como ejemplo se pueden mencionar a las - operaciones de empaque, pesadas de materias primas, y en general aquellas tareas en las que la intervención de la mano de obra permite suspenderlas durante un tiempo determinado sin perjuicio de la calidad del trabajo.

INDIVISIBLES.- Son aquellas actividades que bajo ninguna circunstancia pueden dividirse en más de una etapa sin perjuicio de la calidad del trabajo. El ejemplo clásico es una reacción química en una producción tipo "lote" o carga.

Al MAP se le ha llamado también MAPA de un programa, porque éste último se representa en un diagrama a escala con las siguientes características:

- 1.- En una hoja de papel cuadriculado se establece la escala del tiempo, procurando coincidir las líneas verticales con la unidad de tiempo utilizado.
- 2.- A lo largo del centro de la hoja, se traza la ruta crítica. La longitud correspondiente a cada actividad estará a escala del tiempo.
- 3.- Cada evento se numera igualmente que en la red de actividades.
- 4.- Las actividades se representan con línea continua en su duración y con línea punteada el equivalente a su holgura

libre.

- 5.- Las actividades ficticias se representan con líneas punteadas. Corren verticalmente cuando no tienen holgura libre y horizontalmente, (en su equivalente a su holgura) cuando la tienen.

Es de suponer, que a medida que los recursos se van asignando, las actividades no- críticas se van volviendo críticas, debido a la limitación de los recursos . Por esta razón, cuando los recursos son de límite fijo, la duración total del programa podrá ser mayor que la anotada en la red (o plan) original. Puede suceder, a consecuencia de esto último, que algunas actividades originalmente críticas, al finalizar la tarea de programar ya no sean críticas.

Un programa será más eficiente mientras mayor sea la relación de recursos utilizados / recursos disponibles, o sea, la eficiencia de utilización de los recursos (?). Como en muchos casos es de esperarse que la duración del programa exceda a la duración del diagrama de flechas (plan), un programa será perfecto cuando ? sea igual al 100% y cuando la duración del programa no exceda a la del proyecto original (red de actividades).

#### ILUSTRACION CASO-5

La planta 1007 produce esencias, sabores y fragancias . Los productos obtenidos son muy numerosos ya que son mezclas de diversas formulaciones con diferentes materias primas.

La mayoría de las ventas se realiza con productos de formulaciones estándar que se llevan en inventario. Sin embargo, un alto porcentaje de productos se produce solamente bajo pedido debido a las diferentes especificaciones requeridas por los clientes que consumen cantidades de menor importancia y a los numerosos productos de prueba que los clientes utilizan para promociones especiales y exploraciones de ciertos mercados. La falta de certeza de que estos productos vuelvan a repetirse, impide llevarlos en inventario por el alto costo que significaría su obsolescencia.

La formulación o producto final está formado de varias formulaciones y materias primas mezcladas en forma específica de acuerdo a la tecnología de preparación de cada producto, como resultado, en su mayoría, de múltiples investigaciones.

PROBLEMA. - En las condiciones arriba señaladas, se recibe un pedido de un producto especial, llamado X- que será utilizado por el cliente para una prueba. Si esta resultara positiva, posteriormente y bajo un pronóstico de venta, el producto podrá ser producido para inventario. Dada la importancia del cliente, se deberá tratar de que este producto se termine lo más pronto posible.

La composición del producto X es la siguiente:

<u>TIPO DE COMPONENTE</u>	<u>CODIGO</u>
Fórmula A	F-A
Fórmula B	F-B
Materias Primas- 13	M-13
Materias Primas- 14	M-14

Las composiciones de las fórmulas A y B son:

<u>FORMULA A</u>		<u>FORMULA B</u>	
<u>TIPO DE COMPONENTE</u>	<u>CODIGO</u>	<u>TIPO DE COMPONENTE</u>	<u>CODIGO</u>
Materias Primas-1	M-1	Sub-Fórmula 1	S-1
Materias Primas-2	M-2	Sub-Fórmula 2	S-2
Sub-Fórmula 1	S-1	Sub-Fórmula 3	S-3

Todas las materias primas se llevan en inventario.

Las composiciones de las sub-Fórmulas 1, 2 y 3 son:

<u>Sub-Fórmula 1 (S-1)</u>	
<u>COMPONENTE</u>	<u>CODIGO</u>
Materias Primas-3	M-3
Materias Primas-4	M-4

<u>Sub-Fórmula 2 (S-2)</u>	
<u>COMPONENTE</u>	<u>CODIGO</u>
Materias Primas-5	M-5
Materias Primas-6	M-6
Materias Primas-7	M-7

<u>Sub-Fórmula 3 (S-3)</u>	
<u>COMPONENTE</u>	<u>CODIGO</u>
Materias Primas-1	M-1
Materias Primas-8	M-8

El procedimiento de mezclado establece el siguiente orden de preparación:

- 1).- Preparación de sub-Fórmulas S-1, S-2 y S-3 por separado.  
Control de calidad y ajuste de cada una.
- 2).- Preparación de las fórmulas F-A y F-B por separado.  
Control de calidad y ajuste de cada una.
- 3).- Mezclar hasta homogenizar F-A, F-B, M-13 y M-14.  
Reposo y control de calidad. Ajuste final.

Para simplificar, se han denominado a un grupo de materias primas de características similares, pero diferentes entre sí, como M-1, M-2, etc.

La preparación de las materias primas involucradas, son actividades dignas de mayor consideración, ya que significan la localización en el almacén, transporte el área de preparación de materias primas, su vaciado parcial a recipientes para ser pesadas en básculas o balanzas según las cantidades y precisión requeridas, tomando todo esto un tiempo considerable.

Las actividades mayores del programa de producción del producto X son:

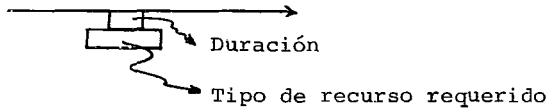
- 1).- Preparar M-1 y M-8
- 2).- Mezclar M-1 y M-8 para obtener S-3
- 3).- Preparar M-5, M-6 y M-7

- 4).- Mezclar M-5 M-6 y M-7 para obtener S-2
- 5).- Preparar M-3 y M-4
- 6).- Mezclar M-3 y M-4 para obtener S-1
- 7).- Preparar S-4
- 8).- Mezclar una parte de S-1 y S-2, S-3 y S-4 para obtener F-B
- 9).- Preparar M-1 y M-2
- 10).- Mezclar el resto de S-1, M-1 y M-2 para obtener F-A
- 11).- Mezclar las cantidades necesarias de F-A, F-B, M-13, y M-14  
Para obtener la primera parte de X. Esto se debe a que el  
volumen de los mezcladores, resulta insuficiente para sopor  
tar los volúmenes totales de los componentes del producto  
X, y de aquí que se tenga que dividir en dos partes.
- 12).- Empacar la la. parte de X, para desocupar el mezclador y  
poder efectuar en seguida la siguiente mezcla.
- 13).- Mezclar el resto de cada uno de los componentes de X para  
obtener el segundo lote de este producto.
- 14).- Empacar el segundo lote de X.

La fórmula F-A es la que en volumen ocupa la mayor proporción dentro del producto X, y por esta razón tiene que producirse también en 2 partes, cada una en proporción respectiva a cada una de las dos cargas de X. En el caso de S-1. puesto que todo su volumen requerido puede producirse en una sola carga de un mezclador, resultará en una duplicación de esfuerzos, sin ahorro de tiempo, el pretender dividir su producción en dos cargas parciales para surtir respectivamente a cada una de las dos cargas de F-A.

El diagrama 5-1, indica que la duración total de la producción requerida de X, será de 48 horas laborables equivalentes a 6 días hábiles de 8 horas cada una.

El diagrama 5-1, de ninguna manera puede considerarse un programa de producción definitivo, puesto que no está indicando las cargas de trabajo tanto para hombres, como para equipo. En este caso el diagrama 5-1 está asignando, a través de las interacciones de las actividades, los materiales necesarios y solamente señalando los recursos unitarios requeridos (por hora) de mano de obra y equipo mediante los cuadros de información que se encuentran abajo de los de las duraciones de cada actividad:

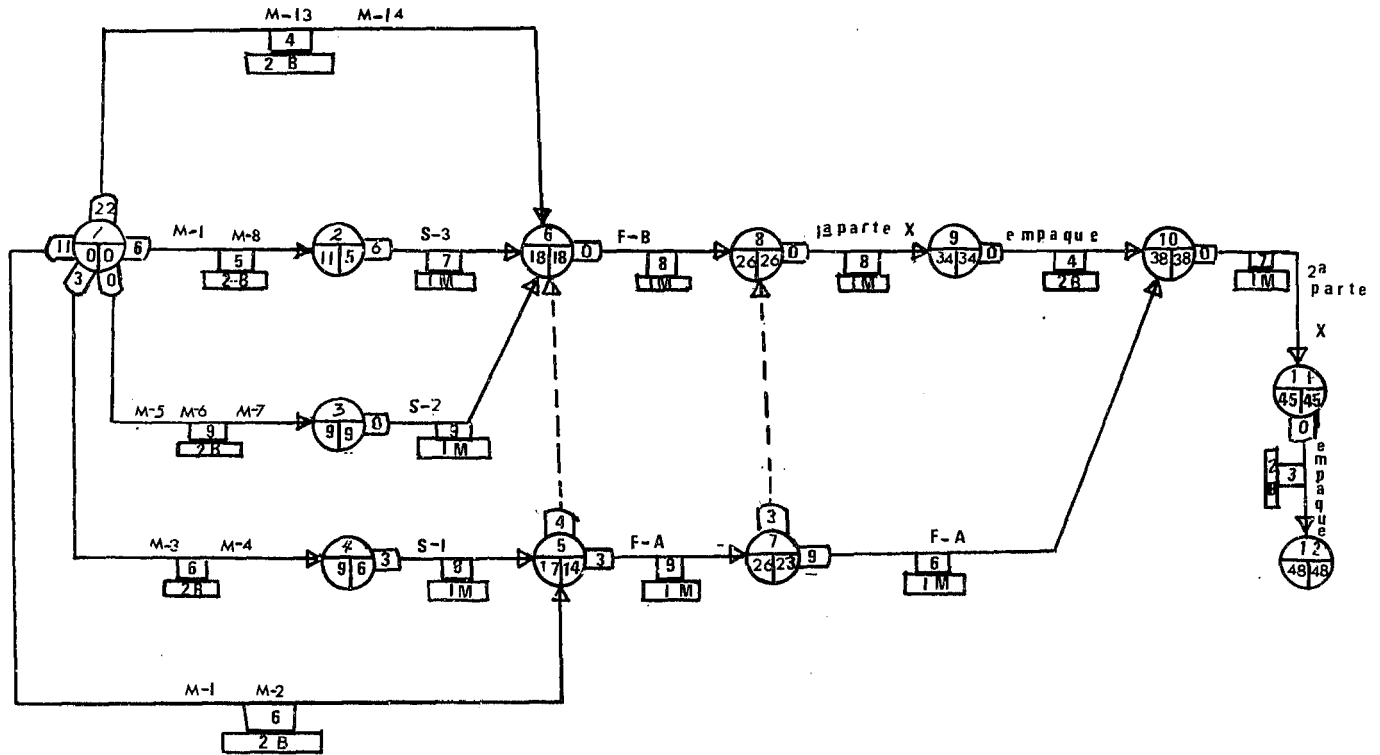


La tabla 5-1 describe las propiedades de cada actividad incluyendo las especificaciones de sus respectivos recursos. Esta tabla se incluye para mayor claridad pero no es necesaria durante el desarrollo de la asignación de recursos en la programación de la producción.

Las actividades de preparación de materias primas y empaque se realizan por hombres clasificados como tipo B. Las operaciones de mezclado requieren de un mezclador y necesitan de un obrero clasificado como tipo A.

El procedimiento de asignación que se debe de seguir para lograr

DIAGRAMA 5-1





CODIGO	DESCRIPCION	DURACION	RECURSOS				MAS PRONTA		MAS LEJANA		HOLGURA
			HOMBRES B MEZCLADORES Y		HOMBRES A		INIC	TERM	INIC	TERM	
			UNIT	TOTAL	UNIT	TOTAL	I <sub>p</sub>	T <sub>p</sub>	I <sub>l</sub>	T <sub>l</sub>	
1-2	Preparación de materias primas para S-3	5	2	10	-	-	0	5	6	11	6
1-3	Preparación de materias primas para S-2	9	2	18	-	-	0	9	0	9	0
1-4	Preparación de materias primas para S-1	6	2	12	-	-	0	6	3	9	3
1-5	Preparación de materias primas p/F-A	6	2	12	-	-	0	6	11	17	11
1-8	Preparación de materias primas p/X	4	2	8	-	-	0	4	22	26	22
2-6	Mezcla para producir S-3	7	-	-	1	7	5	12	11	18	6
3-6	Mezcla para producir S-2	9	-	-	1	9	9	18	9	18	0
4-5	Mezcla para producir la. parte de S-1	8	-	-	1	8	6	14	9	17	3
5-6	Actividad Ficticia	0	-	-	-	-	14	14	18	18	4
5-7	Mezcla para producir la 1a. parte de F-A	9	-	-	1	9	14	23	17	26	3
6-8	Mezcla para producir F-B	8	-	-	1	8	18	26	18	26	0
7-8	Actividad Ficticia	0	-	-	-	-	23	23	26	26	3
7-10	Mezcla para producir la 2a. parte de F-A	6	-	-	1	6	23	29	32	38	9
8-9	Mezcla para producir la 1a. parte de X	8	-	-	1	8	26	34	26	34	0
9-10	Empaque del primer lote de X	4	2	8	-	-	34	38	34	38	0
10-11	Mezcla para producir la 2a. parte de X	7	-	-	1	7	38	45	38	45	0
11-12	Empaque del segundo lote de X	3	2	6	-	-	45	48	45	48	0
T O T A L				74		62					

Tabla 5.1

un programa de producción óptimo, en este caso es el siguiente:

PRIMER PASO.- DETERMINACION APROXIMADA DEL NIVEL DE RECURSOS  
REQUERIDOS

Las actividades que necesitan de los obreros clasificados tipo B, deben de programarse de tal forma de lograr la mayor uniformidad posible en su requerimiento. Del diagrama 5-1 se observa que dichas actividades principian en el tiempo cero y terminan en la hora 48. Dividiendo las horas hombre tipo B totales que requiere el proyecto, entre la duración del proyecto, nos dará la primera aproximación del nivel requerido, o sea,  $74H-H/48H=1.5$  hombres, es decir, que esto sugiere una asignación de 2 hombres al programa de producción en cuestión. Analizando más la red del diagrama 5-1 resalta la utilización de obreros calificados como B en dos grandes etapas; la primera del tiempo cero a la hora 17 ( $T_1$  de la actividad 1-5) y la segunda, de menor importancia, de la hora 34 a la 48. Puesto que los requerimientos importantes están en la primera etapa, que está formada de  $60H-H$ , el nivel requerido que resulta es:

$$\frac{60H-H}{17 \text{ Horas}} = 3.5 \approx 4 \text{ hombres}$$

Como la actividad 1-8 tiene una holgura total de 22 horas, es procedente suponer que aún en el caso de que perdiera toda su holgura, podrá ser llevada a cabo por la misma cuadrilla de los 4 hombres.

La cuadrilla de los 4 hombres resultará también suficiente para la realización de las actividades 9-10 y 11-12.

Puesto que la relación de operador de mezclador (clasificación tipo A) es tan estrecha a la del mezclador mismo, se omite el mencionar a ese tipo de operarios y en adelante se hará referencia solamente a mezcladores. Del diagrama de actividades se aprecia, que los mezcladores se utilizarán aproximadamente desde la hora 9 hasta la 45, o sea, durante 36 horas, requiriéndose un total de 62 horas mezclador, lo cual da un nivel de  $62 \text{ H-M} / 36 \text{ H} = 1.7$  mezcladores, es decir 2 mezcladores en total. Hasta aquí, se puede resumir el primer paso:

"Para determinar los niveles de recursos necesarios, se divide el total de tiempo-recursos requeridos entre el tiempo aproximado durante el que se necesitarán".

## 2º PASO

Se elabora un formato como el de la figura 5-2, en el que se especificará la siguiente información:

### 1a. COLUMNA

Códigos de secuencia de cada actividad

### 2a. COLUMNA

Duración de cada actividad

### 3a. COLUMNA

Descripción de los recursos utilizados por cada actividad por la unidad de tiempo utilizada.



4a. COLUMNA

El resultado de multiplicar las columnas 2a y 3a., es decir, los recursos-tiempo requeridos.

5a. COLUMNA

Los valores de  $I_p$  (iniciación más pronta) de cada actividad, dejando un espacio adicional.

6a. COLUMNA

Los valores de  $T_p$  (terminación más pronta), o sea la suma de las columnas 2a. y 5a. igualmente se deja un espacio adicional.

7a. COLUMNA

Los valores de la holgura total de cada actividad dejando también un espacio adicional.

8a. COLUMNA

Prioridad, la cual señalará el orden de programar cada actividad de acuerdo al siguiente procedimiento:

PROCEDIMIENTO DE PRIORIDADES

- 1.- A partir del evento 1, de las cinco actividades que de él parten, será necesario elegir una actividad para programar. Si después de programarla quedaran recursos, se podría programar a otra actividad y así sucesivamente hasta que se cumpliera cualquiera de estas dos condiciones.
  - Que no haya recursos por asignar
  - Que no haya actividades por programar.
- 2.- La elección o prioridad de las actividades por programar se establece en base a las siguientes características:
  - 1.º En base a su criticalidad (primero las actividades

críticas, después las de holgura más pequeña, etc.), usando los valores de la columna 7.

2.º Si hubiera igualdad en el grado de criticalidad entre dos o más actividades, se dará la mayor prioridad, a aquella actividad con los mayores recursos requeridos. Usar los valores de la columna 4.

3.º Si aún persistiera la identidad, se decidirá en función de los mayores recursos unitarios requeridos. Usar los valores de la columna 3a.

4.º Si a pesar de los criterios antes descritos aún hubiera igualdad, entre dos o más actividades, el orden se dará en función del código de secuencia.

#### PROCEDIMIENTO DE ASIGNACION

- 1.- En nuestro caso, las prioridades se pueden establecer fácilmente en base al grado de criticalidad, siendo la actividad 1-3 la elegida para programar. Como se emplean 2 hombres clase B por hora transcurrida, en cada uno de los cuadros del diagrama a escala, a la derecha de la columna 8, se escribe 2A del tiempo 1 al tiempo 9, ya que son 9 horas la duración de la actividad 1-3.
- 2.- En el diagrama de barras que se encuentra en la parte inferior, se encierra o dibuja con lápiz el número de hombres utilizados por el tiempo transcurrido, y se escribe para mayor claridad,

el número de la actividad que usa esos recursos.

Puesto que aún existen recursos por asignar, se programa la actividad 1-4, del inicio del programa al tiempo 6. En el diagrama de barras, se marcan a los otros dos hombres restantes. Hasta el momento, están programados 4 hombres del tiempo 0 a la hora 6 y 2 hombres de la hora 6 a la hora 9, por lo tanto, se debe de seguir programando en la hora 6. Esto significa que las actividades 1-2 1-5 y 1-8 no podrán iniciarse ahora antes del tiempo 6.

#### PROCEDIMIENTO DE INDICADORES

Es conveniente utilizar un artificio de "indicadores" que señalen el tiempo en el que se debe estar programando, para evitar omisiones y errores. Las reglas para usar estos indicadores son las siguientes:

- a).- Se establece un indicador por cada tipo de recurso que se esté manejando.
- b).- Cuando haya más de un recurso, se establecerá además un indicador general del programa
- c).- Un indicador solamente puede moverse cuando no hay recursos por asignar o actividades pendientes de programar.
- d).- En cada posición del indicador, se asignan los recursos disponibles para la actividad con máxima prioridad. Si los recursos disponibles fueran insuficientes para esta actividad se asignarán a la actividad con la prioridad siguiente y

así sucesivamente hasta que se programe una actividad y el indicador avance.

e).-Cuando el indicador general del programa avanza, significa que los indicadores de cada recurso ya avanzaron.

f).-El indicador de un recurso, no puede detenerse en una posición menor que la del indicador del programa.

En el caso de la figura 5-2, los indicadores están al pié del diagrama de programación, y tienen los siguientes movimientos:

Al no haber recursos por asignar en el tiempo cero, el indicador del recurso M (mezcladores) avanza hasta el tiempo 6 hora en que la actividad 4-5 puede programarse.

El indicador general del programa, por lo tanto, avanza también hasta la hora 6.

#### PROCEDIMIENTO DE ACTUALIZACION

Será necesario actualizar las holguras de las actividades 1-2,1-5 y 1-8, con el objeto de poder seguir utilizando este elemento para determinar las prioridades de programación:

1.- Esta actualización debe de realizarse inmediatamente después de que el indicador general del programa, se haya movido.

2.- La tabla de eventos de la figura 5-2 es el punto de partida. Debido a que en el evento 1, la  $I_p$  para las actividades 1-2 1-5 y 1-8 ya no es cero sino 6, se tacha el cero y se actualiza con seis.

3.- El valor nuevo de  $I_p$ , se actualiza para cada una de las tres actividades en la columna 5.



4.- Se calculan los nuevos valores de las terminaciones más prontas ( $T_p$ ) con el objeto de determinar si los eventos de terminación de las actividades se verán afectados. Como la actividad 1-2 tiene ahora un valor de  $T_p$  igual a 11, significa que el  $I_p$  del evento 2, originalmente con un valor de 5 tiene que actualizarse a un tiempo de 11. En este caso solamente hay una actividad que parte del evento, 2, o sea, la 2-6 cuyos nuevos valores de  $I_p$  (11) y  $T_p$  (18) se anotan a la derecha de las cifras originales. El evento 6, con un  $I_p$  original de 18, ya no se ve afectado.

Los nuevos valores de las terminaciones más prontas de las actividades 1-5 y 1-8 ya no afectan a los eventos 5 y 8 por ser todavía menores a las  $I_p$  respectivas de dichos eventos.

5.- Las holguras totales de las actividades 1-2, 2-6, 1-5, y 1-8, se disminuyen en cantidades equivalentes a los aumentos que sufrieron sus  $I_p$  respectivamente.

A continuación, se repiten los procedimientos de prioridades, asignación, indicadores y actualización.

EN LA HORA 6- Para los recursos tipo B, la actividad 1-2 es de máxima prioridad, por lo que se programa de la hora 6 a la hora 11. Se asignan 2 hombres / hora en el diagrama de barras. (Cada vez que se programa una actividad se puede marcar con una X en la columna de prioridad, para facilitar la labor de selección)

No hay más recursos disponibles en la hora 6 y el indicador del Re-

curso B avanza a la hora 9, tiempo en que la actividad 1-3 desocupa a 2 hombres B. Se actualizan las actividades 1-5, y 1-8 con una  $I_p$  de 9. El evento 5 ahora con  $I_p$  de 15 hace necesario actualizar a las actividades 5-6 y 5-7 que a su vez afectan al evento 7 con una nueva  $I_p = 24$ , por lo que también se actualizan las actividades 7-8 y 7-10.

Con respecto al recurso M, solamente se puede utilizar por la actividad 4-5 que se programa de la hora 6 a la 14. El indicador del recurso tipo M avanza a la hora 9. Igualmente lo hace el indicador general del programa.

EN LA HORA 9- Las actividades 1-5 y 1-8 tienen prioridades 1 y 2 respectivamente por lo que se programa a la actividad 1-5 de la hora 9 a la 15. El indicador B avanza a la hora 11 en que la terminación de la actividad 1-2 liberará recursos B. Se actualiza 1-8 con  $I_p = 11$ .

La única actividad que puede programarse a partir de la hora 9, con recursos M, es la 3-6, que se asigna con un mezclador hasta la hora 18. El indicador M y el del programa se recorren hasta la hora 11 en que por secuencia podría iniciarse la actividad 2-6.

EN LA HORA 11- Se programa a la actividad 1-8 hasta la hora 15 con hombres B. Hasta este punto se lleva al indicador B.

La actividad 2-6 no puede programarse porque no hay mezcladores disponibles sino hasta la hora 14, en que terminará la actividad 4-5

y tiempo al cual se hace avanzar al indicador M. La actividad 2-6 se actualiza con una  $I_p = 14$ ; al volverse su holgura total negativa (-3) se está implicando que el programa total se terminará en 3 unidades de tiempo adicionales a las 48 originales. Esto se aprecia fácilmente por el efecto en cadena que tienen las  $I_p$  y la  $T_p$  de las actividades 6-8, 8-9, 9-10, 10-11 y 11-12 cuyas actualizaciones también arrojan holguras negativas (-3) y el valor de la  $T_p$  de la última actividad, o sea la 11-12, que resulta en la hora 51.

EN LA HORA 14- No hay actividades que programar que requieran de hombres B, avanzando, el indicador B hasta la hora 37 que es la  $I_p$  de la actividad 9-10.

Se programa la actividad 2-6 con un mezclador durante 7 horas, hasta el tiempo 21. El indicador M se avanza hasta el tiempo 15, cuando terminarán las actividades 1-5 y 1-8.

EN LA HORA 15- No hay mezcladores disponibles sino hasta la hora 18, hasta donde se hacen avanzar los indicadores de M y del programa. Sin embargo, la actividad 5-6 que es ficticia y no necesita de recursos, se programa de inmediato.

En cualquier punto, las actividades ficticias deben de programarse con prioridad máxima.

Se actualiza la actividad 5-7 y por consecuencia la 7-8.

DE LA HORA 18 a la 33- En la hora 18 se programa a la 5-7, (un mezclador durante nueve horas). Los indicadores se mueven a la

hora 21 en donde se programa a la actividad 6-8; los indicadores se mueven a la hora 27. Aquí se programa primero a la actividad ficticia 7-8 y después a la 7-10. Los indicadores avanzan a la hora 29.

En la hora 29 se programa a la actividad 8-9 (1ª parte de X) con un mezclador hasta la hora 37. Los indicadores se hacen avanzar hasta la hora 33 tiempo en que la actividad 7-10 termina y libera un mezclador.

EN LA HORA 33- El diagrama 5-1 establecía una secuencia de una tras otra para las actividades 9-10, 10-11 y 11-12 ya que se supuso la necesidad de desocupar el mezclador empacando la 1ª parte de X, para posteriormente elaborar el 2ª lote de X.

Sin embargo, al contar con 2 mezcladores, la actividad 10-11 (2ª lote de X) puede iniciarse tan pronto como termina la 7-10 y en paralelo a la 9-10, o sea, el empaque del 1ª lote de X.

La actividad 10-11 se programa del tiempo 33 a la hora 40.

La actividad 9-10 se programa ahora como 9-12 al terminar la 8-9 (hora 37) y la actividad 11-12 se programa al terminar la 10-11. Aquí termina el proceso de la programación.

#### CONCLUSIONES SOBRE LOS RESULTADOS:

- 1) Se cometió un error u omisión en la construcción de la red, y sin embargo en el proceso de la asignación de recursos, se

detectó y se corrigió. La duración del programa total será de 43 horas.

2) Se necesitan 2 mezcladores durante 31 horas seguidas cada uno, los cuales serán asignados al programa de producción del producto X a partir del inicio de la hora 7 y la hora 10 respectivamente.

3) Se requiere de 4 obreros (clasificación B) desde la hora 0 hasta la hora 15. Nuevamente desde el inicio de la hora 38 hasta la 43 solamente 2 obreros salvo la hora 40 que requiere de 4. Al respecto, se puede evaluar la conveniencia de atrasar el programa una hora más, para evitar el traslape de mano de obra en la hora 40.

4) El diagrama 5-3 muestra el programa de producción que sería proporcionado al personal de operación, elaborado de acuerdo a las reglas dadas al respecto, al principio de este capítulo. Las cargas de trabajo para cada mezclador se pueden distinguir claramente ya que a uno se la ha denominado A y al otro B.

En el caso de los obreros, para diferenciar una pareja de la otra, a una se le ha marcado con ('). La duración del programa es de 44 horas, ya que no es conveniente, por el ahorro de una hora asignar una pareja de hombres adicionales durante la hora 40.

La descripción de cada actividad podría detallarse en el diagrama 5-3, o combinarse con una lista auxiliar de descripciones detalladas de cada trabajo.

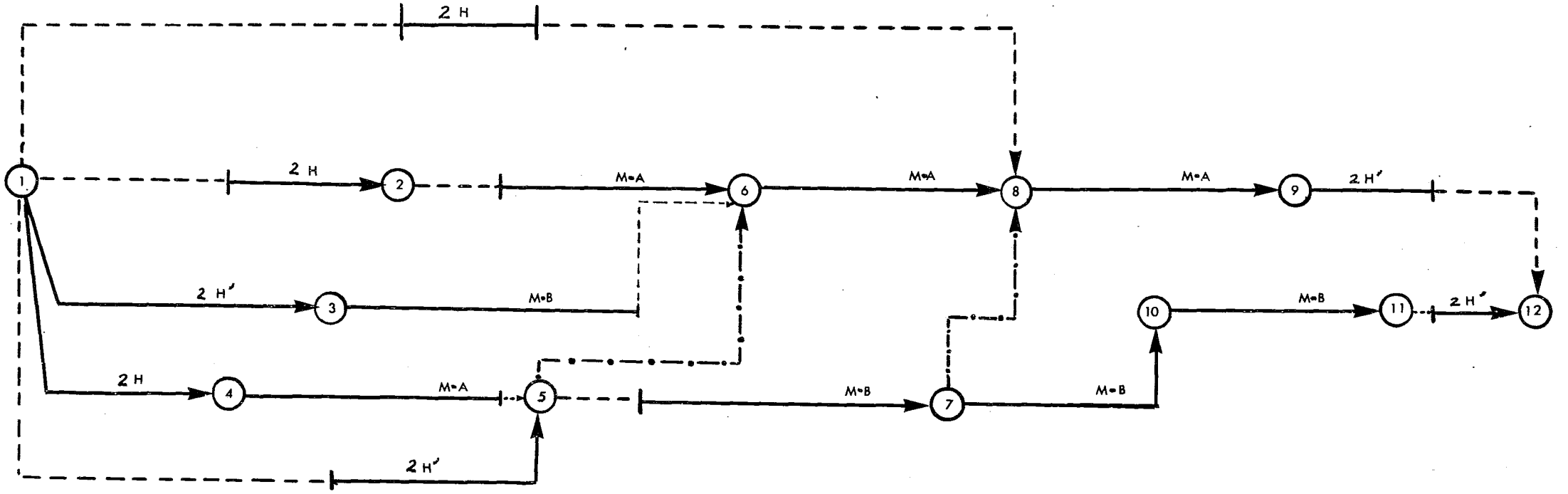


DIAGRAMA 5-3

Si se pretendiera lograr una duración menor de este programa, se podrían reducir los tiempos de aquellas actividades con menor costo unitario de reducción, como muy posiblemente lo fueran las labores de preparación de materias primas, mediante un aumento al nivel de obreros requeridos.

## CONCLUSIONES

1.- La planeación y la programación de la producción en la Industria Química, es abundante en "situaciones especiales" transitorias, que rompen sistemáticamente los sistemas que ayudan a planear y controlar los procesos continuos.

2.- El CPM ó ruta crítica es una técnica aplicable a una situación transitoria, (denominada proyecto), con un principio y un fin definibles. La elaboración de la red de actividades es una herramienta de trabajo que por sí misma ayuda a definir los problemas a los que se habrá uno de enfrentar.

Siendo la industria química muy costosa en cuanto a los tiempos no aprovechables de los equipos, por la cuantía de su inversión, se hace necesario que en los cambios de producción, pruebas específicas de proceso, problemas de calidad, creación de inventarios especiales, etc., es decir en todas aquellas actividades o situaciones temporales, se asegure la utilización óptima de dicho equipo. Es la ruta crítica la técnica que más fácilmente se adapta a estos casos proporcionando los mejores resultados, ya que permite identificar en forma lógica y secuencial aquellas actividades que hacen crítico el cumplimiento del programa en cuestión. Permite asimismo, en su representación gráfica (un escala de tiempo) obtener un modelo de trabajo a seguir.

3.- Una vez obtenida la red de actividades y establecida la ruta crítica, la reducción de las actividades críticas y el alargamiento de las no críticas permiten definir la duración de un programa de producción en la forma más económica, en función de los costos directos de cada actividad relacionadas con la producción y los costos y gastos indirectos, ya que este sistema permite balancear fácilmente la asignación de dichos costos y gastos en función del tiempo.



4.- El MAP, es un procedimiento complementario al CPM útil para asignar los recursos necesarios (hombres, equipo y materiales) en un programa de producción, permitiendo obtener la máxima uniformidad en el nivel de los requerimientos de dichos recursos. Su desarrollo a partir de la ruta crítica, puede hacerse mediante cálculos manuales, que junto con el adiestramiento derivado de la práctica, resultan en una herramienta poderosa en la programación y en el control de la producción que requiere de programas elaborados en poco tiempo y de ajustes inmediatos. Una ilustración "ad Hoc" de este método se da en el uso de equipos de asignación múltiple o periódica, es decir, aquellos que pueden manejar diferente tipo de materias primas o productos semiprosesados.

5.- Una aplicación adicional que puede darse al CPM - MAP es el diseño de programas de producción de determinados productos cuya demanda es aislada o periódica y que por razones de costo y/o servicio se sabe que cada una de sus corridas de producción tendrán las mismas características de operación.

6.- Finalmente cabe señalar que la flexibilidad de estas técnicas pueden aplicarse a cualquier tipo de proyecto de producción independientemente de su importancia o magnitud. La Industria Química Nacional se está desarrollando a un ritmo tan acelerado, que es necesario planificar lo mejor posible los elementos de dicho desarrollo. El uso del CPM y sus técnicas colaterales, pueden facilitar la labor también en el área de la producción.

## BIBLIOGRAFIA

### Tema: Planeación y Control de Producción

- |  |                   |   |
|--|-------------------|---|
| 1.- Control de la Producción                         | Franklin G. Moore | Mc Graw Hill                            |
| 2.- Control de Producción                            | William Voris     | Editorial Hispano Europea               |
| 3.- Manual de la Producción                          | Alford & Bangs    | Editorial Uteha                         |
| 4.- Production Planning and Inventory Control        | John F. Magee     | Mc Graw Hill                            |
| 5.- Production Forecasting Planning and Control      | E.A.Mac. Niece    | Editorial John Wiley                    |
| 6.- Production Planning and Control                  | Bock & Holstein   | Editorial Charles E. Merrill Books Inc. |
| 7.- Readings in Production and Operations Management | Elwood S. Buffa   | Editorial Wiley                         |

### Tema: Control de Inventarios

- |  |                             |                               |
|--|-----------------------------|-------------------------------|
| 1.- Analytic Models for Managerial and Engineering Economics | Herbert Schweyer            | Editorial Reinhold            |
| 2.- Gestión Económica de Stocks                              | Albert Rambaux              | Editorial Hispano Europea     |
| 3.- Introduction to Operations Research                      | Churchman & Ackoff & Arnoff | Editorial Wiley International |
| 4.- Process Engineering Economics                            | Herbert F. Schweyer         | Mc Graw Hill                  |

Tema: Ruta Crítica

- |  |                    |                         |
|--|--------------------|-------------------------|
| 1.- Determinación de la Ruta Crítica     | R. L. Martino      | Editorial Técnica       |
| 2.- Introduction to Pert                 | Harry F. Evarts    | Editorial Allyn & Bacon |
| 3.- Project Management with CPM and Pert | Moder and Phillips | Editorial Reinhold      |

Tema: Asignación de Recursos

- |  |                     |                                      |
|--|---------------------|--------------------------------------|
| 1.- Economic Analysis for Engineering and Managerial Decision Making | Norman Barish       | Mc Graw Hill                         |
| 2.- El Control de los Costos de Producción                           | Phill Carroll       | Editorial Fondo de Cultura Económica |
| 3.- Planeación de Operaciones Aplicada                               | R. L. Martino       | Editorial Técnica                    |
| 4.- The Design of Production Systems                                 | Salah E. Elmaghraby | Editorial Reinhold                   |
| 5.- Asignación y Programación  | R. L. Martino       | Editorial Técnica                    |

Temá: Ruta Crítica y Control de Producción

- |  |                     |   |
|--|---------------------|---|
| 1.- Pert-A new Management Planning and Control Technique | Gabriel N. Stilian  | Editorial AMA                             |
| 2.- Planificación y Control de Producción                | Antonio Arjona Cina | Ediciones Deusto-Bilbao Colección Gestión |
| 3.- Production Control, a quantitative approach          | John E. Biegel      | Prentice Hall                             |
| 4.- Production Control in Practice                       | K. G. Lockyer       | Editorial Pitman                          |
| 5.- Schedule, Cost and Profit Control With Pert          | Robert W. Miller    | Mc Graw Hill                              |