

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



APLICACION DE MODELOS DE PRODUCCION
PARA EL PROGRAMA DEL CURSO SISTEMAS
DE PRODUCCION A NIVEL LICENCIATURA

POR

ING. MARIA SUSANA GARZA SOLIS

T E S I S

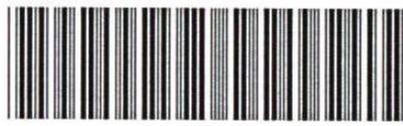
EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA ADMINISTRACION CON ESPECIALIDAD
EN INVESTIGACION DE OPERACIONES

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. MAYO DE 2000

2000
G379
FIME
2000
M2
Z5853
TM

APLICACION DE MODELOS DE PRODUCCION
PARA EL PROGRAMA DEL CURSO SISTEMAS
DE PRODUCCION A NIVEL LICENCIATURA

M. S. G. S.



1020130097

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



APLICACION DE MODELOS DE PRODUCCION
PARA EL PROGRAMA DEL CURSO SISTEMAS
DE PRODUCCION A NIVEL LICENCIATURA

POR

ING. MARIA SUSANA GARZA SOLIS

T E S I S

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA ADMINISTRACION CON ESPECIALIDAD
EN INVESTIGACION DE OPERACIONES

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. MAYO DE 2000

0136-84760

TM
25853
•M2
FINE
2000
6379



FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



APLICACION DE MODELOS DE PRODUCCION
PARA EL PROGRAMA DEL CURSO SISTEMAS
DE PRODUCCION A NIVEL LICENCIATURA

POR

ING. MARIA SUSANA GARZA SOLIS

T E S I S

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA ADMINISTRACION CON ESPECIALIDAD
EN INVESTIGACION DE OPERACIONES

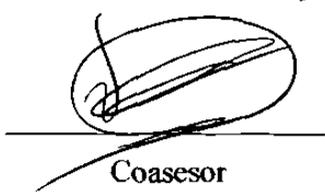
SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. MAYO DE 2000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis Aplicación de Modelos de Producción para el programa del curso Sistemas de Producción a Nivel Licenciatura, realizada por la alumna Ing. María Susana Garza Solís, matrícula 189819 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Administración con especialidad en Investigación de Operaciones.

El Comité de Tesis


Asesor
M.A. Liborio Arturo Manjarrez Santos


Coasesor
M.C. Roberto Villarreal Garza


Coasesor
M.C. Matías Botello Treviño


Vo.Bo.
M.C. Roberto Villarreal Garza
División de Estudios de Post-grado
San Nicolás de los Garza, N.L. a Mayo de 2000.

PROLOGO

Al cursar la materia de Modelos de Sistemas de Producción, encontré que la mayoría del material bibliográfico de apoyo, carece en la mayoría de las ocasiones de casos realmente prácticos aunados a los conceptos teóricos, es mi intención el tratar de cubrir las necesidades del alumno de esta materia en dicho aspecto.

El escrito inicia con los conceptos más importantes sobre algunos modelos como el Modelo Relación Costo-Volumen-Utilidad, Modelos de Inventarios, Modelos de Secuenciación, Modelos de Líneas de Ensamble y el Modelo PERT-Costo, enseguida de cada modelo se presenta un caso práctico con el fin de que el alumno pueda inmediatamente visualizar la aplicación y afianzar el concepto.

Espero la presente obra sea de utilidad al estudiante de Licenciatura y Postgrado para apoyarlo y permitirle tener un enfoque mas de los Modelos de Producción.

San Nicolás de los Garza, Nuevo León

Ma. Susana Garza Solís

Mayo de 2000

INDICE GENERAL

	Página
Síntesis	1
Introducción	2
Capítulo	Página
1. LA FUNCION DEL CONTROL DE PRODUCCION	3
2. MODELO RELACION COSTO-VOLUMEN-UTILIDAD	
2.1 Terminología referente al modelo	7
2.2 Diagrama de Punto de Equilibrio	8
2.3 Descripción del problema	10
2.3.1 Obtención del modelo matemático	11
2.3.2 Solución del modelo	12
3. MODELOS DE INVENTARIOS CON DEMANDA INDEPENDIENTE	
3.1 Funciones del Inventario	15
3.2 Costos del Inventario	16
3.3 Tipos de Modelos de Inventarios	19
3.3.1 Modelo del tamaño del lote económico	19
3.3.2 Modelo de descuento por volumen	25
3.3.3 Modelo de cantidad de orden de producción	27
3.4 Modelos Probabilísticos con tiempos de entrega constantes	29

3.4.1	Modelo Probabilístico cuando no es posible calcular el costo de quedarse sin inventario	31
3.5	Sistemas de Períodos Fijos	33
4.	MODELOS DE SECUENCIACION	
4.1	El concepto de Secuenciación	35
4.2	Secuenciación de N tareas en una máquina	36
4.2.1	Regla TPM para minimizar el tiempo de flujo medio en una máquina	37
4.2.2	Regla PP para minimizar el tiempo de flujo medio ponderado en una máquina	38
4.2.3	Regla TPM para minimizar el tiempo de tardanza medio en una máquina	39
4.2.4	Regla FET para minimizar el tiempo de tardanza máximo en una máquina	41
4.2.5	Algoritmo de Hodgson para minimizar la cantidad de tareas atrasadas en una máquina	42
4.2.6	Regla THM para minimizar el retraso medio	44
4.2.7	Algoritmo de Wilkerson-Irwin para reducir o minimizar la tardanza media en una máquina	46
4.3	Secuenciación de N trabajos en M máquinas	48
4.3.1	Algoritmo para minimizar el tiempo de flujo medio en M máquinas en Paralelo	49
4.3.2	Algoritmo para reducir la duración de la secuencia, así como tiempos de flujo medio en M máquinas	50
4.3.3	Regla para reducir la tardanza máxima en M máquinas en paralelo	51
4.3.4	Regla de la holgura para reducir la tardanza en M máquinas	53
4.3.5	Algoritmo para minimizar el tiempo total de proceso de varias órdenes de trabajo en dos máquinas	54
4.3.6	Algoritmo para minimizar el tiempo total de proceso de varias órdenes de trabajo en tres máquinas	55

4.3.7	Algoritmo para minimizar el tiempo total de proceso de N tareas en M máquinas	57
4.3.8	Algoritmo para minimizar el tiempo total de proceso de varios trabajos ordenados tecnológicamente en dos máquinas	58
4.3.9	Algoritmo para minimizar el tiempo total de proceso de varios trabajos ordenados tecnológicamente en M máquinas	60
5.	Modelos de Líneas de Ensamble	
5.1	Descripción del modelo	65
5.1.1	Procedimiento para obtener el balanceo de líneas de ensamble	66
5.1.2	Solución de un caso práctico	67
6.	Modelo PERT-Costo	
6.1	Descripción del modelo	70
6.1.1	El método PERT como técnica de administración de proyectos	71
6.1.2	Análisis PERT-COSTO	72
6.1.3	Solución de un caso práctico	74
7.	Conclusiones y Recomendaciones	79
8.	Bibliografía	81
9.	Listado de Figuras	83
10.	Glosario de Términos	85
11.	Resumen Autobiográfico	88

SINTESIS

El propósito de esta tesis es el de presentar un panorama general sobre los Modelos de Sistemas de Producción como son: el Modelo Relación Costo-Volumen-Utilidad, Modelos de Inventarios, Modelos de Secuenciación, Modelos de Líneas de Ensamble y el Modelo PERT-Costo.

Se explican brevemente cada uno de los modelos anteriores, como se aplican, bajo que condiciones, así como también sus limitaciones.

En lo particular no se profundiza en las demostraciones matemáticas, teniendo en cuenta la amplia cantidad de textos existentes que lo hacen. Para la solución de los casos prácticos se utilizó en algunos casos de apoyo del paquete Excel en el trazo de gráficas así como para la solución de algunas ecuaciones y el ajuste de curvas.

INTRODUCCION

Esta tesis tiene como objetivo apoyar un curso curricular de la Maestría en Ciencias de la Administración llamado Modelos de Sistemas de Producción, ofreciendo al maestro y al alumno de esta materia una recopilación de los temas concernientes a esta materia, sin la cual tendría que hacer referencia a una amplia bibliografía.

Este material no profundiza en el aspecto matemático de los temas ya que pienso la principal carencia de los textos que tratan estos temas, se encuentra en lo concerniente al área de las aplicaciones.

La metodología empleada es la siguiente:

- 1) Se presenta un panorama general de los diversos Modelos de Sistemas de Producción, sus principales conceptos y las condiciones bajo las que se presentan.
- 2) En los casos prácticos se tomaron datos de los departamentos de producción de varias empresas, se presentaron los planteamientos de los problemas, los datos con los que se contaba y la solución más adecuada basándose en la teoría del modelo.

1 LA FUNCION DEL CONTROL DE PRODUCCIÓN

Un modelo es un medio que nos permite representar una situación real para poder analizarla por medio de variables. Los modelos pueden ser físicos, a escala, gráficos, simbólicos, matemáticos, probabilísticos, etc. El área de administración de la producción se apoya en muchos modelos que iremos cubriendo poco a poco, el modelo más sencillo de producción está compuesto por tres partes: entrada, salida y proceso como puede apreciarse en la Figura 1.1

El objetivo del control de producción es el utilizar recursos limitados para la producción de bienes que satisfagan la demanda de la clientela y además obviamente generar una ganancia para los inversionistas. Los recursos incluyen la maquinaria, mano de obra y materias primas. Las restricciones por otra parte, incluyen la disponibilidad de los recursos, tiempo de entrega de los productos y las políticas de la administración.

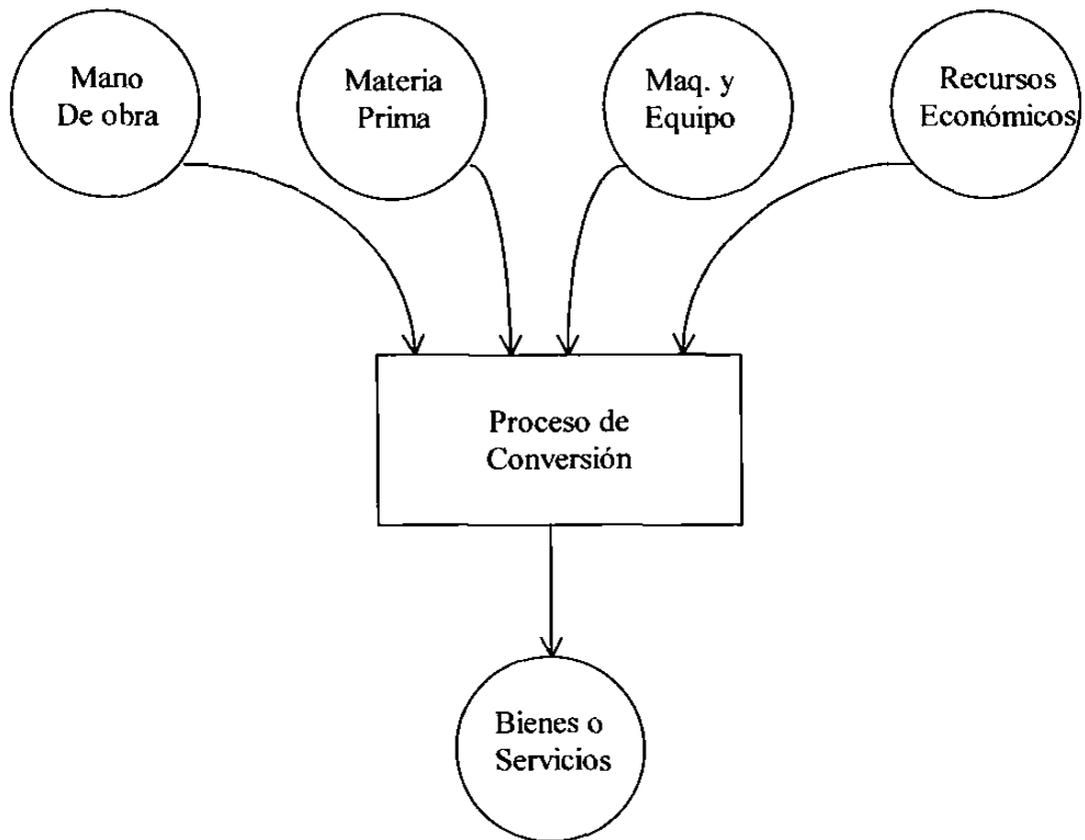


Figura 1.1

En cualquier organización, el beneficio de llevar un control de producción es el aumentar el nivel de **productividad**, la cual se define como el cociente de la producción obtenida y los recursos necesarios para obtenerla. El papel del control de producción es el de reducir el tiempo ocioso mediante la eficiente coordinación de la gente, equipo y materiales disponibles. Se puede mejorar la productividad por medio del diseño y métodos de producción eficientes.

La administración de la producción existe primordialmente para planear y controlar los esfuerzos de los empleados y el flujo de materiales dentro de la organización. A medida que las materias primas avanzan de un proceso operativo a otro, su estado cambia

y necesita ser monitoreado, la administración debe ocuparse de que todo se desarrolle sin interrupciones y en forma eficiente. Si hay carencia de algunas partes o si en ciertas estaciones de trabajo se forman cuellos de botella, la pérdida de productividad asociada, debe ser considerada un problema de control de producción.

Algunos conceptos importantes:

Producción Analítica: En este caso, la materia prima entra al principio de una serie de procesos que la convierten en uno o más productos útiles, por ejemplo la destilación fraccional del petróleo.

Producción Sintética: Varias materias primas entran a la producción en diferentes etapas, combinándose al final en uno o más productos terminados; por ejemplo, una planta que fabrica automóviles.

Integración Vertical y Horizontal: En la integración vertical tenemos que una compañía produce sus propios insumos, o dispone de su propia producción; por ejemplo, una fábrica de alimentos procesados que se surte de sus propios campos de cosecha. En la horizontal los suministros son de fuentes externas.

Ley de Rendimientos Disminuidos: Ningún modelo se comporta linealmente en la vida real.

La mejor estructura de Control de Producción es aquella que responde a los siguientes cuestionamientos:

- ¿ Todas las actividades de planeación, programación y control de inventario están identificadas claramente ?

- ¿ La gente responsable de tomar las decisiones cuenta con un sistema de información confiable ?
- ¿ Existe algún procedimiento para tratar con situaciones imprevistas y tomar las previsiones necesarias ?

Una vez satisfechas estas preguntas solo resta asegurar que el personal involucrado maneje las mejores técnicas disponibles para toma de decisiones.

2 MODELO RELACION COSTO - VOLUMEN - UTILIDAD

2.1 Terminología referente al modelo

El análisis de Costo-Volumen-Utilidad involucra diversos procedimientos analíticos que se basan en el conocimiento de los costos fijos (aquellos que no están en función de las tasas de salida, por ejemplo, depreciación, impuestos, seguros, energía, etc.) y de los costos variables (por ejemplo, los costos de mano de obra directa, materias primas, etc.) para determinada compañía. Conociendo el comportamiento de los costos, es posible determinar el volumen de ventas en el que se alcanzará el punto de equilibrio, así como el monto de ventas requerido para calcular el nivel de ventas necesario para generar las utilidades deseadas.

En la figura 2.1 podemos observar que los costos fijos tienen la forma de una función constante, no cambian en función de las unidades producidas, a diferencia de los costos variables representados en la figura 2.2, los cuales muestran una función lineal creciente.

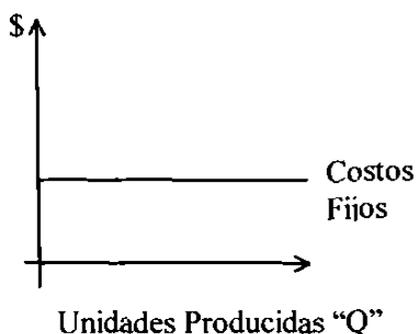


Figura 2.1

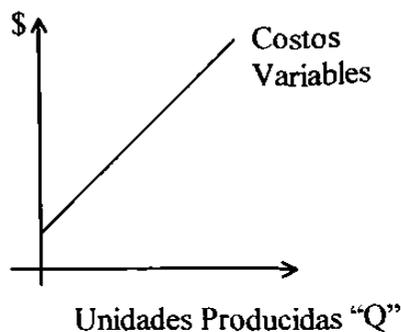


Figura 2.2

Al sumar ambas funciones tenemos que:

$$\text{Costos Fijos} + \text{Costos Variables} = \text{Costos Totales}$$

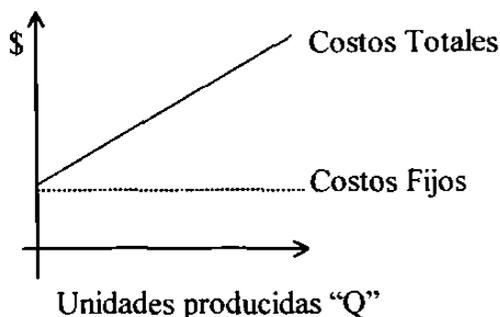


Figura 2.3

En la vida real esta linealidad en la función no es de esperarse ni posible de obtener.

2.2 Diagrama de Punto de Equilibrio

Una aplicación muy importante del modelo Costo-Volumen-Utilidad es la determinación del volumen del punto de equilibrio, que representa el volumen de ventas en que los ingresos coinciden con los costos totales, siendo las utilidades iguales a cero. Esto nos permite expresar relaciones entre los ingresos, los costos, los volúmenes y las utilidades, estas relaciones determinadas proporcionan el modelo general de la actividad

financiera de la compañía, el cual es útil para la planeación a corto plazo, para la evaluación de la actuación y para el análisis de alternativas concernientes a decisiones.

Diagrama de Punto de Equilibrio

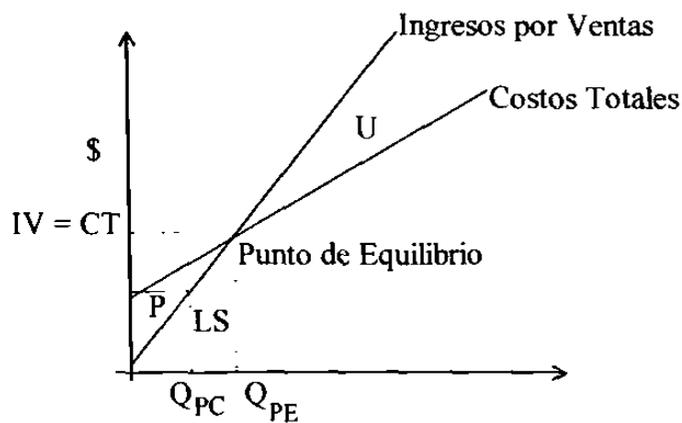


Figura 2.4

Donde:

P = Area de Pérdidas

U = Area de Utilidad

PC = Punto de Cierre (Ingresos por Ventas = Costos Fijos)

Q_{PC} = Cantidad de unidades al Punto de Cierre

Q_{PE} = Cantidad de unidades en el Punto de Equilibrio

LS = Límite de Supervivencia ($Q_{PC} \leq LS \leq Q_{PE}$)

Utilidad = Ingresos por Ventas - Costos Totales

2.3 Descripción del problema

Una empresa que fabrica contenedores plásticos ha encontrado que los costos fijos de su compañía son de \$4,500.00 y el costo variable por unidad producida es de \$4.50. Además se cuenta con un estudio de mercado con la siguiente información:

Cantidad	Precio
0	\$55
100	\$40
300	\$34
500	\$28
800	\$23
1100	\$18
1400	\$12
1600	\$5

La gerencia desea determinar lo siguiente:

- La función que represente la utilidad de la empresa
- El Punto de Equilibrio en unidades
- Los Límites de sobrevivencia
- La cantidad a producir y vender para obtener la máxima utilidad

Resumiendo la información:

Cantidad	Precio	Cantidad	Costo Variable	Cantidad	Ingresos de Ventas
0	\$55	0	\$0	0	\$0
100	\$40	100	\$450	100	\$4000
300	\$34	300	\$1350	300	\$10200
500	\$28	500	\$2250	500	\$14000
800	\$23	800	\$3600	800	\$18400
1100	\$18	1100	\$4950	1100	\$19800
1400	\$12	1400	\$6300	1400	\$16800
1600	\$5	1600	\$7200	1600	\$8000

Cantidad	Costo Total
0	\$4500
100	\$4950
300	\$5850
500	\$6750
800	\$8100
1100	\$9450
1400	\$10800
1600	\$11700

2.3.1 Obtención del modelo matemático

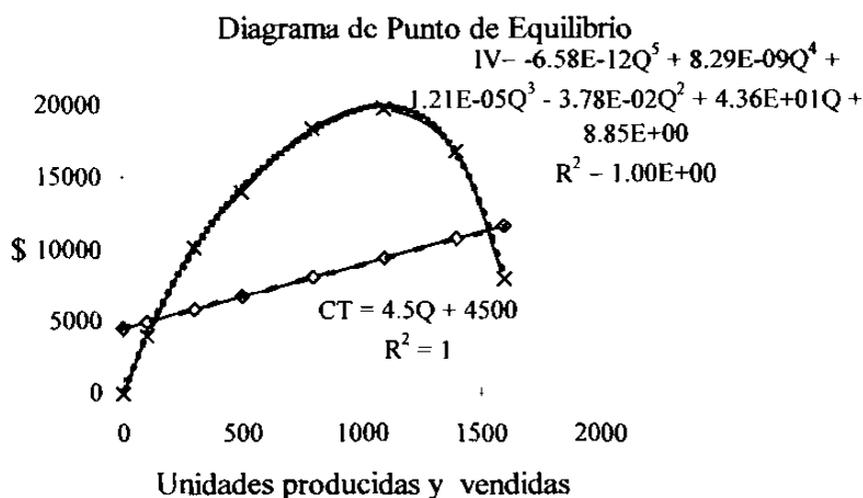


Figura 2.5

Se graficaron los datos de ingresos y costos totales utilizando el software Excel de MS Office para obtener las gráficas que aparecen con líneas continuas, sobre la gráfica de dispersión se utilizó el análisis de regresión para obtener las ecuaciones de ingresos y costos cuyas gráficas aparecen con líneas punteadas así como el coeficiente de correlación.

2.3.2 Solución del Modelo

- Sabiendo que $U = IV - CT$, la función que representa la utilidad de la empresa es:

$$U(Q) = -6.58E-12Q^5 + 8.29E-09Q^4 + 1.21E-05Q^3 - 3.78E-02Q^2 + 3.91E+01Q + 4491.15$$

- Para encontrar el Punto de Equilibrio del modelo, igualamos la ecuación de Ingresos de Ventas a la de Costo Total

$$-6.58E-12Q^5 + 8.29E-09Q^4 + 1.21E-05Q^3 - 3.78E-02Q^2 + 4.36E+01Q + 8.85E+00 = 4.5Q + 4500$$

Simplificando:

$$-6.58E-12Q^5 + 8.29E-09Q^4 + 1.21E-05Q^3 - 3.78E-02Q^2 + 3.91E+01Q + 4491.15 = 0$$

Utilizando el método de bisección, encontramos dos raíces reales, que representan los dos puntos de equilibrio en unidades

$$Q_1 \approx 130.61, \quad Q_2 \approx 1538.21$$

- Para determinar los Límites de sobrevivencia, necesitamos previamente conocer el Punto de Cierre, el cual ocurre cuando los Ingresos por Ventas son iguales a los costos fijos:

$$-6.58E-12Q^5 + 8.29E-09Q^4 + 1.21E-05Q^3 - 3.78E-02Q^2 + 4.36E+01Q + 8.85 = 4500$$

$$-6.58E-12Q^5 + 8.29E-09Q^4 + 1.21E-05Q^3 - 3.78E-02Q^2 + 4.36E+01Q - 4491.15 = 0$$

Resolviendo para Q por el método de bisección obtenemos

$$Q_1 \approx 113.79, \quad Q_2 \approx 1648.26$$

El segundo valor es descartado por estar fuera del dominio de nuestra función, por lo tanto, los Límites de sobrevivencia en unidades son:

$$113.79 \leq LS \leq 130.61$$

- Para encontrar el número de unidades necesarias para obtener la máxima utilidad partimos de la función que nos representa la Utilidad, sabiendo que:

$$U(Q) = -6.58E-12Q^5 + 8.29E-09Q^4 + 1.21E-05Q^3 - 3.78E-02Q^2 + 3.91E+01Q + 4491.15$$

Gráficamente:

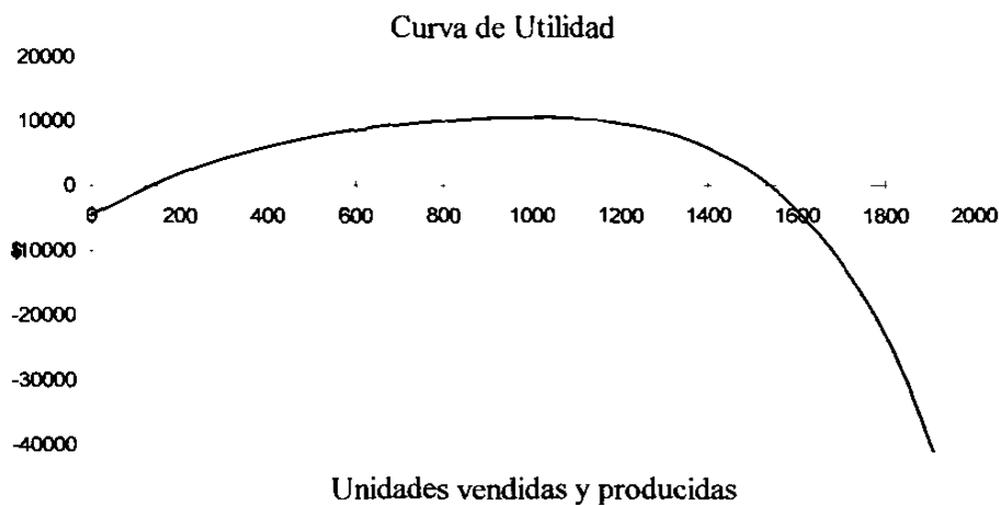


Figura 2.6

Derivamos con respecto a Q e igualamos a cero

$$U'(Q) = -3.29E-11Q^4 + 3.32E-8Q^3 + 3.63E-5Q^2 - 7.56E-2Q + 39.1 = 0$$

Resolviendo para Q utilizando el método de bisección, encontramos una raíz real $Q = 1002.84$, evaluando $U''(1002.84)$ nos arroja un signo negativo, lo cual indica que se trata de un máximo y nos proporciona una utilidad de $U(1002.84) = \$10618.88$

3 MODELOS DE INVENTARIOS

CON DEMANDA

INDEPENDIENTE

3.1 Funciones del inventario

Un inventario es cualquier recurso almacenado que se utiliza para satisfacer una necesidad actual o futura. Las materias primas, el trabajo en proceso y los bienes terminados son ejemplos de inventario.

Debido a que el inventario es uno de los activos más costosos de muchas compañías, éstas deben intentar lograr un equilibrio entre la inversión en inventario y los niveles de servicio al cliente. La minimización del costo es una importante función que se obtiene como resultado de lograr este equilibrio.

El inventario sirve básicamente para:

- Ofrecer un almacenamiento de bienes para cumplir la demanda de los clientes.
- Separar los procesos de producción y distribución.
- Tomar ventaja de los descuentos por cantidad.
- Protegerse de la inflación y de los cambios de precios.
- Protegerse contra el inventario agotado.

- Permitir un flujo suave de operación.

La preocupación fundamental de la administración consiste en desarrollar políticas de inventario que reduzcan los costos totales de operación de la empresa. Básicamente son dos decisiones relevantes a determinar: la cantidad que hay que pedir cada vez, y cuándo debe pedirse.

3.2 Costos del inventario

Los costos en que puede incurrir una empresa a consecuencia de los niveles de inventario, pueden agruparse en tres categorías: el costo de ordenar, el costo de llevar en inventario y el costo que sufre la empresa si hay faltantes en sus existencias.

El **costo de ordenar** se genera cada vez que se coloca un pedido, comienzan con la requisición de compra, siguiendo con la expedición de la orden de compra, el seguimiento de la misma, recibo de los artículos, su colocación en el inventario y pago a los vendedores, como puede apreciarse en la figura 3.1. La determinación de estos costos tiene que hacerse mediante estudios especiales; como se requiere el costo de incremento por pedido, las estimaciones de costos de los departamentos de compras, recibo y contabilidad se usan para amparar sus operaciones a diferentes niveles de los pedidos para todo el año.

- 3) anual del departamento, multiplicar ambos porcentajes para obtener un factor de prorrateo para cada caso (local, nacional y de importación). Multiplicar cada uno de los factores de prorrateo por el costo total del departamento.
- 4) Investigar el Costo Anual del Departamento Contable e identificar el porcentaje de pólizas correspondientes a proveedores, dicho porcentaje multiplicarlo por el costo del departamento y dividirlo entre 3 (si manejamos tres tipos de órdenes de compra).
- 5) Investigar el Costo Anual del Departamento de Sistemas y determinar el porcentaje de reportes correspondientes a proveedores, multiplicar dicho porcentaje por el costo del departamento y dividirlo entre 3 (si manejamos tres tipos de órdenes de compra).
- 6) Tomar del paso 2 el costo local, nacional o de importación según sea el caso y sumarlo a los calculados en los pasos 3 y 4.
- 7) Dividir la sumatoria de los costos del paso anterior entre el número de órdenes de compra del tipo en cuestión que hayan sido colocadas al año.

El **costo de llevar el inventario** es aquel en el que incurre la empresa porque ha decidido mantener inventarios, al igual que el costo de ordenar, éste costo es difícil de determinar. La siguiente tabla nos brinda un panorama representativo:

Artículo	Rango aproximado
Intereses sobre el dinero invertido en inventarios	4 - 10%
Seguros	1 - 3%
Impuestos	1 - 3%
Almacenamiento (puede incluir calefacción, alumbrado o refrigeración)	0 - 3%
Obsolescencia y depreciación	4 - 16%

Procedimiento para calcular el costo de llevar en Inventario

Pasos:

- 1) Investigar los siguientes costos anuales:
 - a) Costo del Departamento de Almacén

- b) Costo de Oportunidad
 - c) Costo de los Seguros
 - d) Costo de Obsolescencia y Deterioro
 - e) Costo de Pérdidas
 - f) Costo por Incumplimiento
 - g) Costo del Inventario Promedio $\left(\frac{\text{Inventario Inicial} + \text{Inventario Final}}{2} \right)$
2. Dividir los costos de los incisos a, b, c, d, e, entre el costo del inciso g y multiplicarlos por 100, la sumatoria de estos términos nos dará el porcentaje I a multiplicar por el precio del artículo, cuyo resultado representa el costo de llevar en inventario el artículo durante un año.

3.3 Tipos de modelos de inventario

Los modelos de inventario consideran dos casos: la demanda de un producto puede ser dependiente o independiente de la demanda de otros productos, en lo particular trataremos con la administración de productos de demanda independiente, de los cuales consideraremos tres modelos:

1. Modelo del tamaño del lote económico
2. Modelo de descuento por volumen
3. Modelo de cantidad de orden de producción

3.3.1 Modelo del tamaño del lote económico

Esta técnica es de las técnicas de manejo de inventarios más antiguas, es fácil de utilizar, pero se basa en una gran cantidad de suposiciones:

- La demanda es un valor constante y conocido.
- El tiempo de entrega es también constante y conocido.

- Se recibe el inventario en forma instantánea.
- No se consideran descuentos por cantidad.

Obviamente el objetivo de nuestro modelo será el de minimizar los costos totales, que son la suma del costo de ordenar más el costo de llevar en inventario el artículo; el tamaño óptimo de la orden de compra será aquella que minimice los costos totales.

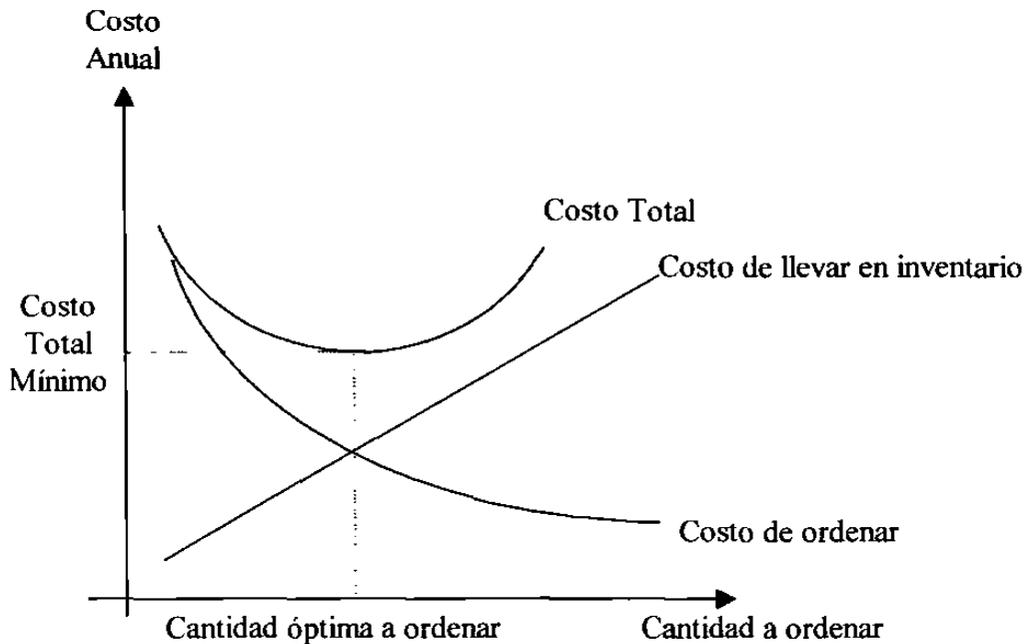


Fig. 3.2

En la gráfica de la figura 3.1 podemos observar que la cantidad óptima a ordenar ocurre en el punto de intersección de las curvas del costo de ordenar y el costo de llevar en inventario. Si definimos:

Q = número óptimo de unidades a ordenar

D = demanda anual en unidades del producto

S = costo de colocar la orden de compra del producto

H = costo de llevar en inventario el producto

Sabemos que para minimizar el costo total:

Costo de Ordenar = Costo de llevar en inventario

$$\frac{D}{Q} S = \frac{Q}{2} H$$

Despejando para Q obtenemos el número óptimo de unidades por orden de compra

$$Q = \frac{2DS}{H}$$

También se puede determinar el número de órdenes colocadas al año, así como el tiempo entre las mismas:

N = número esperado de órdenes

$$N = \frac{\text{Demanda}}{\text{Cantidad ordenada}}$$

$$N = \frac{D}{Q}$$

T = tiempo esperado entre las órdenes

$$T = \frac{\text{Número de días laborales en el año}}{N}$$

El costo total anual del inventario se expresa:

$$TC = \frac{D}{Q} S + \frac{Q}{2} H$$

Por último conociendo la cantidad a ordenar, nos resta solamente determinar el punto de reorden:

ROP = (Demanda diaria) (Tiempo que tarda el proveedor en entregar la orden),

donde la demanda diaria se encuentra dividiendo la demanda anual entre el número de días laborables en el año.

Solución de un caso práctico

Una empresa pequeña del ramo microbiciada se dedica a la compraventa de los siguientes artículos: suero de leche, cloruro de calcio, clorito de sodio y carbonato de sodio, desean en lo particular analizar la cantidad óptima a ordenar de suero de leche, el cual constituye el 20% de su inventario, así como el número de órdenes a colocar en el año y el punto de reorden. La empresa desconoce el costo de llevar en inventario el artículo (el cual se maneja por kilos) y también el costo de ordenar, pero nos ha proporcionado los siguientes datos a partir de su departamento contable:

En el año se colocaron 2000 órdenes de compra distribuidas de la siguiente manera:

600 Locales

400 Nacionales

1000 De Importación

Proveedores:

Suero de leche, se adquiere en Torreón Coahuila

Clorito de Sodio, de Illinois

Cloruro de Calcio y Carbonato de Sodio, se compran en la ciudad

Costo Anual del departamento de Compras: \$433046.00

Llamadas	Sueldos de Compradores
Locales: \$15,000.00	Locales: \$56752.00
Nacionales: \$6872.00	Nacionales: \$67585.00
Internacionales: \$31258.00	Internacionales: \$98546.00
Total: \$ 53130.00	Total: \$222883.00

Costo Anual del departamento de Contabilidad: \$534500.00

Se manejaron 400 pólizas:

180 proveedores

180 facturas

40 comisiones

Costo Anual del departamento de Almacén: \$45,520.00

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Sueldos: } \$32320.00 \\ \text{Gastos Grales. : } \$8,546.00 \\ \text{Depreciación: } \$4654.00 \end{array} \right.$$

Costo de Oportunidad: \$13215.00

Costo de Seguros: \$26567.00

Costo de Obsolescencia y Deterioro: \$5340.00

Costo por Pérdidas y Robo: \$6865.00

Inventario Promedio: \$73750.00

Nota: el proveedor tarda 15 días en surtir el suero a un precio de \$4.00 por kilogramo.

Solución:

Comenzamos calculando el costo de colocar la orden de compra nacional (Torreón Coah.).

Calculamos un factor de prorrateo:

Teléfono	Sueldos	Factor de prorrateo
12%	30%	0.036

Costo Total = \$ 433046 (.036) + (\$ 534500) (0.45) / 3 = \$ 95764.66

Costo de colocar la orden de compra \$ 95764.66 / 400 = \$ 239.41

En seguida determinamos el costo de llevar en inventario un kilogramo de suero

Multiplicamos los costos por 20%

Costo de llevar en inventario = $\frac{\sum \text{costos}}{\text{inventario promedio en \$}} * 100$

Costo de llevar en inventario = $\frac{9104 + 3964.5 + 5313.4 + 1068 + 1372}{73750} * 100 = 28.23\%$

Entonces nuestros datos son:

Demanda anual – 30000 kg.

Costo de ordenar = \$239.41

Precio por artículo – \$4.00

Costo de llevar en inventario = \$4 (28.23%) – \$1.13

Cantidad óptima a ordenar:

$$Q = \frac{2(30000)(239.41)}{1.13} \approx 3566 \text{ kg.}$$

Número de órdenes al año:

$$N = \frac{30000}{3566} \approx 9 \text{ órdenes al año}$$

Tiempo entre las órdenes:

$$T = \frac{300}{9} \approx 33 \text{ días entre las órdenes}$$

Demanda diaria:

$$d = \frac{30000}{300} = 100 \text{ kg. diarios}$$

$$\text{ROP} = 100 \text{ kg} * 15 \text{ días}$$

∴ cuando haya en inventario 1500 kg. hay que colocar una orden de compra.

3.3.2 Modelo de descuento por volumen

Algunas compañías ofrecen descuentos por compras en grandes cantidades, la empresa puede verse tentada a colocar una orden de compra por gran volumen para aprovechar un buen descuento, pero hay que ser cuidadosos pues aunque el costo del producto disminuye, el costo de llevar en inventario se incrementa. Hay que tener presente que nuestro objetivo sigue siendo el disminuir el costo total. Ahora el costo del producto será un factor a considerar, por tanto tenemos que el costo total anual del inventario se determina:

Costo total = Costo de ordenar + Costo de llevar en inventario + Costo del producto

ésto es:

$$T_c = \frac{D}{Q} S + \frac{QH}{2} + PD$$

Donde:

D = Demanda anual en unidades

S = Costo de ordenar

P = Precio unitario

H = Costo de llevar en inventario

Procedimiento para encontrar el Costo Total Anual mínimo de inventario:

- 1) Calcular un valor de Q para cada descuento mediante: $Q = \sqrt{\frac{2DS}{IP}}$, donde IP es el costo de llevar en inventario el artículo en función del porcentaje de su costo.
- 2) Si la cantidad ordenada es menor como para poder obtener el descuento, se incrementa la cantidad para poder entrar en el rango del descuento.
- 3) Calcular el costo total para cada Q, incluyendo las que hubiesen tenido que ser ajustadas.
- 4) Elegir el valor de Q que genere el menor costo total.

Solución de un caso práctico

Retomando el caso anterior de la compra del suero, consideremos que el proveedor ofrece al cliente un descuento por compra en volumen de acuerdo con lo siguiente:

Cantidad en kg.	Descuento en %	Precio
0 - 5000	0	\$ 4.00
5000 - 10000	4	\$ 3.84
10,000 en adelante	10	\$ 3.60

Siguiendo los pasos, comenzamos por calcular los valores de Q

$$\text{Con el precio de } \$ 4.00, Q = \frac{2(30000)239.41}{(0.2823)(4)} = 3566.65 \approx 3567 \text{ kg.}$$

$$\text{Con el precio de } \$ 3.84, Q = \frac{2(30000)239.41}{(0.2823)(3.84)} = 3640.20 \approx 5000 \text{ kg.}$$

$$\text{Con el precio de } \$ 3.60, Q = \frac{2(30000)239.41}{(0.2823)(3.60)} = 3759.59 \approx 10000 \text{ kg.}$$

Calculando el costo total:

Precio unitario	Cantidad de la orden	Costo Total
\$ 4.00	3567	\$ 124028.89
\$ 3.84	5000	\$ 119336.46
\$ 3.60	10000	\$113818.23

Nos conviene ordenar 10,000 kg. pues tenemos el menor costo total.

3.3.3 Modelo de cantidad de orden de producción

Este modelo es aplicable cuando el inventario no se recibe en su totalidad al mismo tiempo, en este caso el inventario se va formando a través de un período de tiempo después que la orden fue colocada o también cuando la producción y venta de unidades se produce en forma simultánea, como se puede apreciar en la fig. 3.2. Es necesario entonces el considerar la tasa de producción diaria y la tasa de demanda diaria.

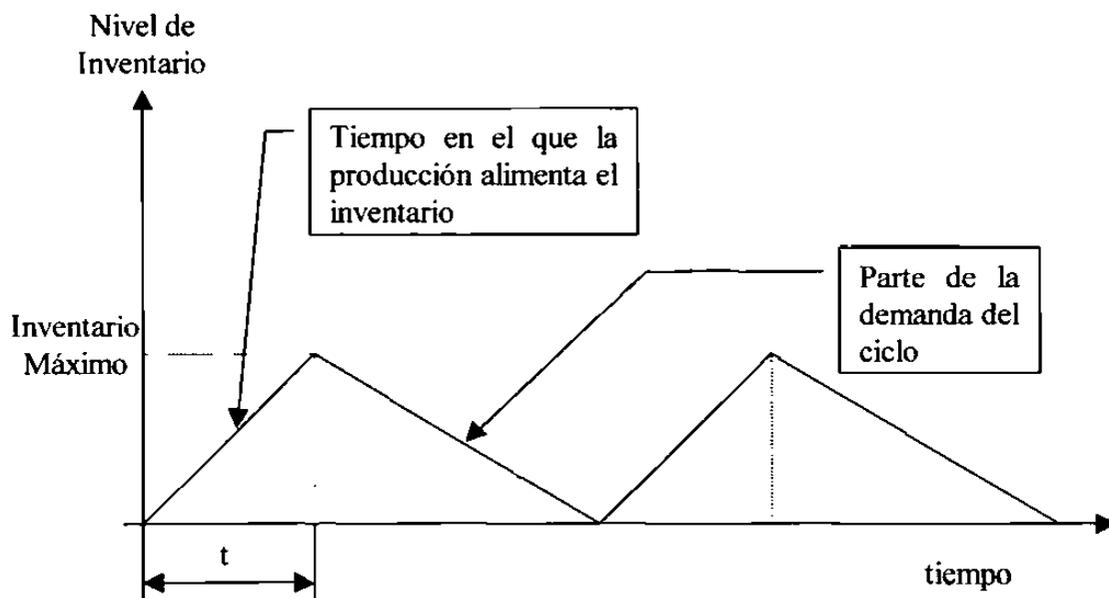


Fig. 3.3

Para obtener el modelo se igualan los costos de preparación a los costos de manejo y se resuelve para Q .

Tenemos que:

Q = número de piezas por orden

H = costo de llevar en inventario

p = tasa de producción diaria

d = tasa de demanda diaria o de utilización

t = duración de la corrida en días

Primero determinamos el nivel máximo de inventario, el cual es igual al total producido durante la corrida de producción menos el total utilizado durante la corrida, esto es: $pt - dt$, pero como Q es igual al total producido, entonces $Q = pt$, entonces:

$$\text{Nivel máximo de inventario : } p \left(\frac{Q}{p} \right) - d \left(\frac{Q}{p} \right) = Q \left(1 - \frac{d}{p} \right)$$

$$\text{El costo de llevar en inventario, sería: } \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{d}{p} \right) H$$

Igualando el costo de ordenar y el costo de llevar en inventario, obtenemos Q :

$$\frac{D}{Q} S = \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{d}{p} \right) H$$

$$Q = \frac{2DS}{H \left(1 - \frac{d}{p} \right)}$$

Solución de un caso práctico

Una empresa que se dedica a la elaboración y venta de celdas motrices, en particular el modelo 85G-17 tiene una demanda anual de 35,455 unidades. La empresa proporciona los siguientes datos:

Costo de preparación : \$ 515.4

Costo de llevar en inventario: \$ 82.46 por unidad por año

Tasa de producción diaria: 221 celdas

Tasa de demanda diaria: 118 celdas

Se desea determinar la cantidad de producción cuando se consume el inventario mientras se realiza la producción.

Solución:

$$Q = \frac{2DS}{H \left(1 - \frac{d}{p}\right)}$$

$$\therefore Q = \frac{2(35455)(515.4)}{82.46 \left(1 - \frac{118}{221}\right)} \approx 975 \text{ celdas}$$

3.4 Modelos Probabilísticos con tiempos de entrega constantes

Los modelos anteriores consideran que la demanda es un factor constante y distribuido en forma uniforme; si la demanda no es conocida, es posible representarla mediante una distribución de probabilidad, lo cual es conocido como modelo probabilístico.

Al manejar una demanda incierta, es necesario protegerse para el caso de tener un faltante mediante un inventario de seguridad, lo cual consiste en tener una cantidad de unidades que sirvan de respaldo al punto de reorden. Anteriormente teníamos que el punto de reorden era:

$$ROP - d * L$$

Donde d = demanda diaria y L = tiempo que tarda el proveedor en surtir la orden

Ahora es:

$$ROP = d * L + ss \quad (ss = \text{inventario de seguridad})$$

La cantidad de unidades a mantener en el inventario de seguridad depende del costo que genera tener un faltante y el costo de cargar con unidades extra en el inventario. El costo de faltante se determina, multiplicando el número de unidades faltantes por la probabilidad del costo de quedarse sin inventario por el número de veces al año que puede ocurrir el faltante.

Solución de un caso práctico

Una empresa que se dedica a la venta de software ha determinado que su punto de reorden para el paquete Print Master Gold es de 40 unidades. El costo de llevar en inventario el producto por unidad por año es de \$ 20, y su costo de faltante es de \$ 120 por unidad. Las estadísticas de los últimos años muestran la siguiente demanda durante el punto de reorden. El número de órdenes colocadas por año es de 5.

Se nos proporciona la siguiente distribución de probabilidad

# de unidades	Probabilidad
20	0.1
30	0.2
40	0.4
50	0.2
60	0.1

¿ Cuántas unidades deben tenerse como inventario de seguridad ?

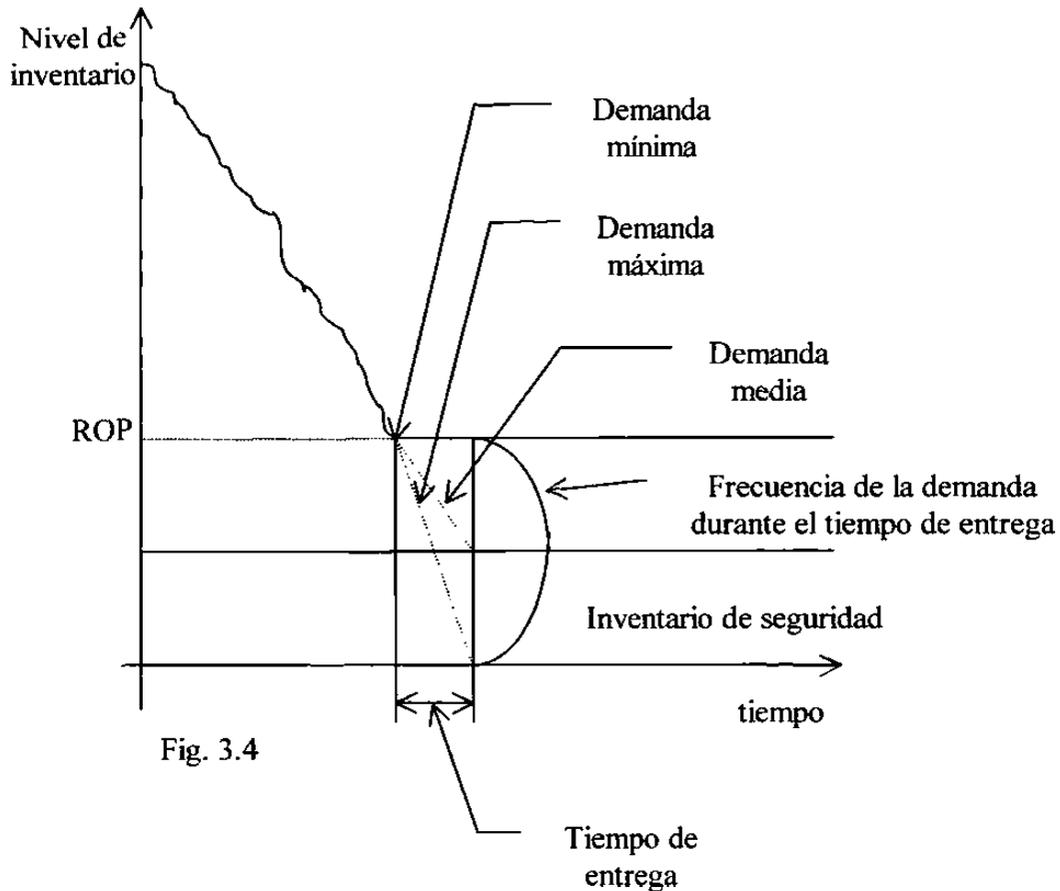
Solución:

Inventario de seguridad	Costo adicional de manejo	Costo de falta de inventario	Costo Total
20	$20(\$20) = \400	\$0	\$400
10	$10(\$20) = \200	$10(0.1)(\$120)(5) = \600	\$800
0	$0(\$20) = \0	$10(0.2)(\$120)(5) + 20(0.1)(\$120)(5) = \$2400$	\$2400

El inventario de seguridad que genera el menor costo es de 20 unidades, por lo tanto se debe modificar el ROP a 60 unidades.

3.4.1 Modelo Probabilístico cuando no es posible determinar el costo de quedarse sin inventario.

Si fuera imposible o muy complicado calcular el costo de faltante, la política sería el mantener una cantidad suficiente de unidades para cumplir un determinado nivel de servicio previamente establecido. La figura 3.3 muestra la utilización del inventario de seguridad cuando la demanda es probabilística.



El procedimiento consiste en definir cual es el porcentaje de la demanda que se desea cubrir, si la demanda durante el tiempo de entrega sigue una distribución normal, mediante los datos de ventas se calculan la media y la desviación estándar.

Sabemos que : $z = \frac{x - \mu}{\sigma}$, donde

μ = Demanda media

σ = Desviación estándar

x = Demanda media + Inventario de seguridad

ss = Inventario de seguridad $x - \mu$

$$\therefore z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{ss}{\sigma}$$

Se encuentra el valor de z que corresponda al área elegida de nivel de servicio y se despeja para ss . En la figura 3.4 se aprecia la representación gráfica.

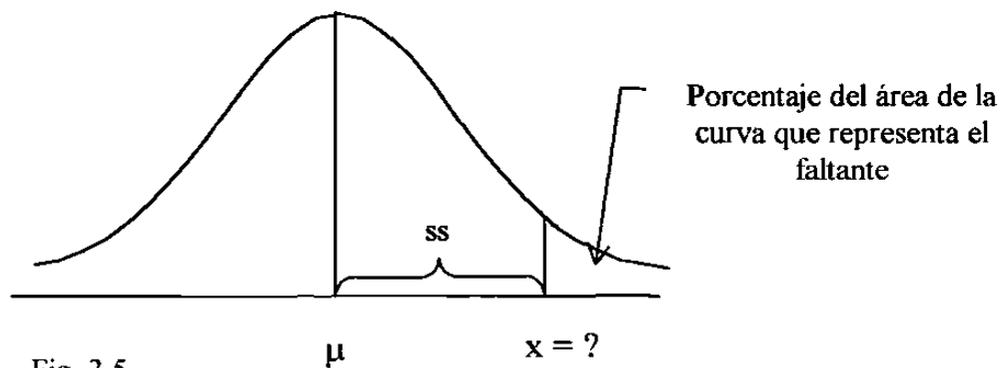


Fig. 3.5

3.5 Sistemas de períodos fijos

En un sistema de períodos fijos la cantidad en inventario se verifica basándose en una frecuencia uniforme de tiempo, la cantidad ordenada es la necesaria para regresar al nivel de inventario predeterminado como se muestra en la figura 3.5

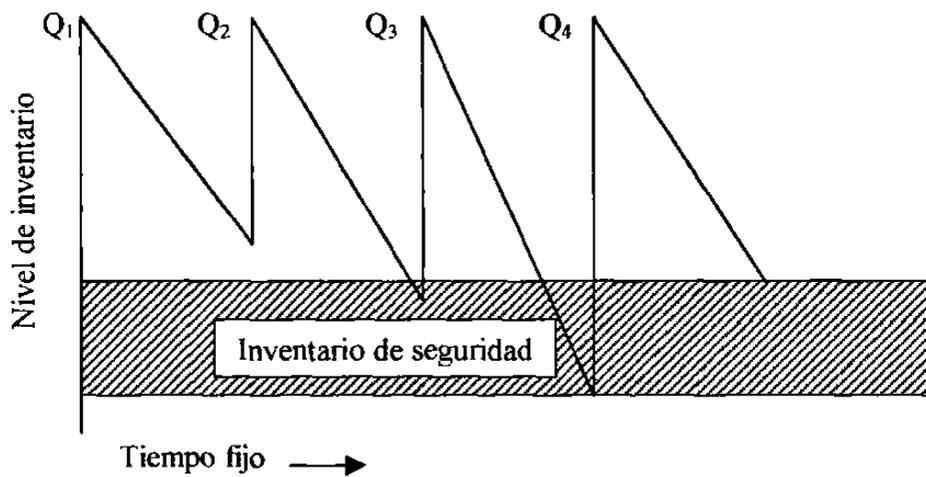


Fig. 3.6

Este tipo de control de inventario aplica cuando los vendedores hacen visitas periódicas en un intervalo fijo de tiempo, o cuando se desea economizar al colocar órdenes de compra combinadas para ahorrar costos. No existe un conteo físico de unidades sino hasta llegar el momento de la siguiente revisión, esto es conveniente si tenemos pocos empleados o desempeñan muchas funciones. No obstante hay que tener cuidado, ya que si se coloca una orden de gran volumen puede reducir a cero el inventario, por lo tanto es necesario tener un nivel de inventario de seguridad mayor para contar con protección contra los faltantes de inventario.

4 MODELOS HEURISTICOS DE SECUENCIACION

4.1 El concepto de secuenciación

La secuenciación tiene como objetivo encontrar el orden óptimo de elaboración de los diferentes procesos requeridos por N trabajos distintos en M máquinas de acuerdo a ciertas medidas de desempeño global. El enfoque mas frecuente es el de programar la secuencia considerando reglas heurísticas. Existen muchos objetivos al planear una secuenciación, el mas obvio es el de incrementar la utilización de los recursos, esto es, reducir el tiempo de ocio. Para un conjunto finito de tareas, la utilización de recursos es inversamente proporcional al tiempo requerido para terminar todas las tareas. Otro fin importante es el de reducir el inventario de productos en proceso, es decir minimizar el número promedio de tareas en espera a realizarse mientras las máquinas están ocupadas.

Por último, los retrasos deben ser reducidos al mínimo para evitar incurrir en penalizaciones por no cumplir con fechas de entrega establecidas.

Antes de iniciar el tema se presentan algunas definiciones necesarias:

Tiempo de proceso : el tiempo estimado que tomará terminar una tarea, considerando el tiempo de preparación si fuese necesario.

Tiempo de entrega : el tiempo límite establecido para entregar una tarea, un retraso en la fecha de entrega se considera penalizado.

Retraso : la desviación entre el tiempo necesario para terminar la tarea y el tiempo de entrega. Una tarea tendrá retraso positivo si se termina después de su fecha de entrega y retraso negativo si se termina antes de dicho tiempo.

Tardanza : es la medida positiva del retraso, entonces, si una tarea se termina antes de tiempo tendrá un retraso negativo pero cero tardanza; por otra parte si tiene retraso positivo, tendrá el mismo valor positivo de tardanza.

Holgura : la diferencia entre el tiempo de entrega de la tarea y su tiempo de proceso.

Tiempo de flujo : equivale al tiempo de proceso más el tiempo que la tarea espera para ser procesada.

4.2 Secuenciación de N tareas en una máquina

El problema de secuenciación más elemental ocurre cuando un conjunto de tareas espera a ser realizado y solamente hay disponible una máquina. Se conocen los tiempos de proceso y los tiempos de entrega de cada tarea, los cuales son independientes del orden en el cual serán llevadas a cabo las tareas. El caso consiste en decidir cual tarea se realizará primero, cual en segundo orden, etc.

La elección de la secuencia afectará cuando cada tarea será completada, pero la duración de la secuencia permanece constante. En seguida se presentan las reglas concernientes a este caso.

4.2.1 Regla TPM para minimizar el tiempo de flujo medio en una máquina

Al programar n tareas en una sola máquina el tiempo de flujo medio se minimiza secuenciando primero la tarea de tiempo de proceso menor (TPM), esto es, $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$. Donde el tiempo de flujo medio se calcula mediante:

$$F_s = \frac{1}{n} \left[n t_1 + (n-1) t_2 + \dots + 2 t_{(n-1)} + t_n \right]$$

Solución de un caso práctico

Se desea minimizar el tiempo de flujo medio de las siguientes tareas, a continuación se presenta la duración de cada una de ellas en horas:

Tarea	Tiempo de proceso
1	6
2	7
3	8
4	4
5	12
6	13
7	5
8	3

Solución :

La secuencia TPM es : 8, 4, 7, 1, 2, 3, 5, 6

El tiempo de flujo medio es :

$$F_s = \frac{1}{8} [8(3) + 7(4) + 6(5) + 5(6) + 4(7) + 3(8) + 2(12) + 1(13)] = 25.13 \text{ hrs.}$$

Además de minimizar el tiempo de flujo medio, la regla TPM minimiza el retraso medio, el tiempo de espera medio y el número medio de trabajos en espera en el inventario de productos en proceso.

4.2.2 Regla PP para minimizar el tiempo de flujo medio ponderado en una máquina

Una variación de la regla TPM es la regla de Programación Ponderada (PP), la cual se utiliza cuando cada orden de trabajo tiene diferente grado de importancia. El encargado de programar la producción asigna un valor ponderado w_i , a cada orden de trabajo o tarea; mientras mayor sea el valor, más es su importancia. Así, al dividir el tiempo de proceso entre el factor de ponderación, la tendencia es mover las tareas más importantes hacia una posición mas al inicio de la secuencia.

Al programar n órdenes de trabajo en una máquina donde cada orden de trabajo i tiene una ponderación w_i , el tiempo de flujo medio ponderado es minimizado al secuenciar en el siguiente orden:

$$\frac{t_1}{w_1} \leq \frac{t_2}{w_2} \leq \dots \leq \frac{t_n}{w_n}$$

Donde el tiempo de flujo medio ponderado está dado por:

$$F_{w,s} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i F_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Solución de un caso práctico

Minimice el tiempo de flujo medio ponderado de las siguientes tareas:

Tarea (i)	Tiempo de proceso (t_i)	Ponderación (w_i)	t_i / w_i
1	6	3	2
2	7	2	3.5
3	8	1	8
4	4	2	2
5	12	3	4
6	13	2	6.5
7	5	2	2.5
8	3	1	3

Solución:

La secuencia resultante es: 1, 4, 7, 8, 2, 5, 6, 3

El tiempo de flujo medio es:

$$F_s = \frac{1}{8} [8(6) + 7(4) + 6(5) + 5(3) + 4(7) + 3(12) + 2(13) + 1(8)] = 27.38 \text{ hrs.}$$

El tiempo de flujo medio ponderado es:

$$F_{w,s} = \frac{405}{16} = 25.31 \text{ hrs.}$$

4.2.3 Regla TPM para minimizar el tiempo de tardanza medio en una máquina

Al programar n tareas en una sola máquina el tiempo de retraso medio se minimiza asignando primero la tarea de tiempo de proceso menor (TPM), esto es,

$$t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n.$$

El retraso medio está dado por:

$$L_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - d_i)$$

Solución de un caso práctico

Minimice el tiempo de retraso medio de las siguientes tareas:

Tarea (i)	Tiempo de proceso (t _i)	Tiempo de entrega (d _i)
1	6	12
2	7	9
3	8	20
4	4	20
5	12	22
6	13	39
7	5	43
8	3	50

Solución :

Con la regla TPM obtenemos la secuencia: 8, 4, 7, 1, 2, 3, 5, 6; de donde:

Tarea (i)	Tiempo necesario para terminar (c _i)	Tiempo de entrega (d _i)	Retraso (L _{i,s})
8	3	50	-47
4	7	20	-13
7	12	43	-31
1	18	12	6
2	25	9	16
3	33	20	13
5	45	22	23
6	58	39	19

El retraso medio es: - 1.75 horas

4.2.4 Regla FET para minimizar el tiempo de tardanza máximo en una máquina

Esta regla fue mencionada por Jackson en 1955 y se identifica como la regla de fecha de entrega temprana (FET), es utilizada para minimizar la tardanza máxima en las tareas. Desafortunadamente, la regla tiende a retrasar mas tareas y a incrementar la tardanza media.

Al programar n tareas en una sola máquina el tiempo de tardanza máximo se minimiza asignando primero la tarea con fecha de entrega más temprana (FET), esto es,

$$d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_n$$

Solución de un caso práctico

Retomando el ejemplo anterior donde cinco tareas resultaron con retraso con una media de -1.75 horas y un retraso máximo de 23 horas.

La regla FET nos conduce a:

Tarea (i)	Tiempo necesario para terminar (c _i)	Tiempo de entrega (d _i)	Retraso (L _{i,s})
2	7	9	-2
1	13	12	1
3	21	20	1
4	25	20	5
5	37	22	15
6	50	39	11
7	55	43	12
8	58	50	8

El número de tareas con retraso aumentó de 5 a 7; el retraso medio incrementó de -1.75 horas a 6.38 horas. No obstante, el retraso máximo pasó de ser 23 horas a 15 horas.

4.2.5 Algoritmo de Hodgson para minimizar la cantidad de tareas atrasadas en una máquina

Pasos:

1. Ordene todas las tareas mediante la regla FET, si ninguna o una tarea tienen retraso, pare, si no, continúe con el paso 2.
2. Comenzando al inicio de la secuencia FET y siguiendo hacia el final, identifique la primera tarea con retraso. Si no hay más tareas retrasadas, vaya al paso 4; de lo contrario, al paso 3.
3. Suponga que la tarea retrasada está en la *i*-ésima posición de la secuencia. Examine las primeras *i* tareas en la secuencia e identifique aquella con el mayor tiempo de proceso y sepárela. Revise el tiempo de las otras tareas para reflejar el cambio, regrese al paso 2.

1. Coloque todas las tareas que haya separado en cualesquier orden al final de la secuencia.

Solución de un caso práctico

Considerando el ejemplo anterior, en el paso 1 la regla FET nos indica la secuencia: 2, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 con siete tareas con retraso. Siguiendo con los pasos:

Tarea i	2	1	3	4	5	6	7	8
Tiempo de proceso t_i	7	6	8	4	12	13	5	3
Tiempo necesario para terminar c_i	7	13	21	25	37	50	55	58
Tiempo de entrega d_i	9	12	20	20	22	39	43	50
Retraso L_i	-2	1	1	5	15	11	12	8

La tarea 1 es la primera con retraso, y de las dos primeras, la tarea 2 tiene el tiempo de proceso mayor, por lo tanto, se aparta.

Tarea i	1	3	4	5	6	7	8
Tiempo de proceso t_i	6	8	4	12	13	5	3
Tiempo necesario para terminar c_i	6	14	18	30	43	48	51
Tiempo de entrega d_i	12	20	20	22	39	43	50
Retraso L_i	-6	-6	-2	8	4	5	1

La tarea 5 es la primera con retraso, y de las primeras cinco es la que tiene el tiempo de proceso mayor, por tanto se separa.

Tarea i	1	3	4	6	7	8
Tiempo de proceso t_i	6	8	4	13	5	3
Tiempo necesario para terminar c_i	6	14	18	31	36	39
Tiempo de entrega d_i	12	20	20	39	43	50
Retraso L_i	-6	-6	-2	-8	-7	-11

No hay más tareas con retraso, la primera parte de la secuencia es: 1, 3, 4, 6, 7, 8 y por último las tareas 2 y 5 en cualquier orden, por lo tanto:

Tarea (i)	Tiempo necesario para terminar (c _i)	Tiempo de entrega (d _i)	Retraso (L _{i,s})
1	6	12	-6
3	14	20	-6
4	18	20	-2
6	31	39	-8
7	36	43	-7
8	39	50	-11
2	46	9	37
5	58	22	36

Hay dos tareas con retraso.

El retraso medio es de 4.12 horas y el máximo es de 37 horas.

4.2.6 Regla THM para minimizar el retraso medio

Otra regla de secuenciación que considere el retraso medio es la regla de tiempo de holgura menor (THM). El tiempo de holgura de una tarea se define como el tiempo de entrega – tiempo de proceso de dicha tarea. Como su nombre lo indica la secuenciación de las tareas se basa en ordenarlas de acuerdo a su tiempo de holgura de menor a mayor.

Solución de un caso práctico

Minimizar el retraso medio de las siguientes tareas:

Tarea (i)	Tiempo de proceso (t _i)	Tiempo de entrega (d _i)
1	6	12
2	7	9
3	8	20
4	4	20
5	12	22
6	13	39
7	5	43
8	3	50

Solución : Calculando primero las holguras

Tarea (i)	Tiempo de proceso (t _i)	Tiempo de entrega (d _i)	Tiempo de holgura (SL _i)
1	6	12	6
2	7	9	2
3	8	20	12
4	4	20	16
5	12	22	10
6	13	39	26
7	5	43	38
8	3	50	47

Ordenando la secuencia tenemos: 2, 1, 5, 3, 4, 6, 7, 8; por tanto

Tarea (i)	Tiempo necesario para terminar (c _i)	Tiempo de entrega (d _i)	Tardanza (T _i)
2	7	9	0
1	13	12	1
5	25	22	3
3	33	20	13
4	37	20	17
6	46	39	7
7	51	43	8
8	54	50	4

La tardanza media es de 6.625 horas

4.2.7 Algoritmo de Wilkerson-Irwin para reducir o minimizar la tardanza media en una máquina

Pasos:

1. Inicializar el conjunto de tareas con el orden FET. Compare las primeras dos tareas de la lista e identifiqelas como a y b respectivamente. Si $\max(t_a, t_b) \leq \max(d_a, d_b)$, asigne la tarea a a la columna α ; y b a la columna β .
De lo contrario, de lo contrario asigne la tarea más corta a α y la otra a β . La tercera tarea en el orden FET es asignada a la columna γ .
2. Compare β y γ para verificar si β se incluirá con α en la lista programada. Si $t_\beta \leq t_\gamma$ o si $F_\alpha + \max\{t_\beta, t_\gamma\} \leq \max\{d_\beta, d_\gamma\}$, mueva la tarea en la columna β a la α , y la tarea en la columna γ a la β . La siguiente tarea en la lista FET se vuelve γ . Si no hay más tareas en la lista FET, añada las tareas α y β a la programación y pare. De lo contrario, repita el paso 2. Si las dos condiciones previamente mencionadas no se cumplen, vaya al paso 3,
3. Ponga a β de vuelta en la lista FET y mueva la tarea γ a la columna β . Compare α y β , para ver si β se unirá a α en la lista programada. Si $t_\alpha \leq t_\beta$ o si $F_\alpha - t_\alpha + \max\{t_\alpha, t_\beta\} \leq \max\{d_\alpha, d_\beta\}$, mueva la tarea en la columna β a la columna α y seleccione las siguientes dos tareas de la lista FET como las nuevas β y γ . Regrese al paso 2. Si ambas condiciones no se cumplen, vaya al paso 4.
3. Ponga la tarea de la columna α nuevamente en la lista FET y asigne la última tarea en la lista programada como como la nueva α . Regrese al paso 3. Si no hay tarea en la lista programada ponga a β en dicha lista y las primeras dos tareas en la lista FET se convierten en β y γ . Vaya al paso 2.

Solución de un caso práctico

Minimice el retraso medio de las siguientes tareas.

Tarea (i)	Tiempo de Proceso (t _i)	Tiempo de entrega (d _i)
1	6	12
2	7	9
3	8	20
4	4	20
5	12	22
6	13	39
7	5	43
8	3	50

Solución:

Secuenciando con la regla FET:

Tarea (i)	Tiempo necesario Para terminar (c _i)	Tiempo de Entrega (d _i)
2	7	9
1	13	12
3	21	20
4	25	20
5	37	22
6	50	39
7	55	43
8	58	50

α	β	γ
2	1	3
1	3	4
1	4	
4	3	5
3	5	6
5	6	7
5	7	
7	8	6

La secuencia es:

Tarea (i)	Tiempo necesario para terminar (c_i)	Tiempo de entrega (d_i)	Tardanza (T_i)
2	7	9	0
1	13	12	1
4	17	20	3
3	25	20	5
5	37	22	15
7	42	43	0
6	55	39	16
8	58	50	8

La tardanza media es igual a 6 horas

4.3 Secuenciación de N trabajos en M máquinas

El problema de secuenciación se complica al considerar varias máquinas, primero se considerará el problema de M máquinas en paralelo, en este caso, cada tarea pasa solamente por uno de los procesadores. Posteriormente se presentará el problema de M máquinas en serie, donde cada tarea debe pasar por cada máquina en el mismo orden.

4.3.1 Algoritmo para minimizar el tiempo de flujo medio en M máquinas en paralelo

Paso 1 : Ordene las tareas en el orden TPM

Paso 2 : Programe las tareas de una en una, asignándolas en la máquina con menor cantidad de tiempo asignado. Rompa los empates en forma arbitraria.

Solución de un caso práctico

Minimice el tiempo de flujo medio de las siguientes tareas:

Tarea (i)	Tiempo de proceso (t _i)
1	2
2	4
3	5
4	3
5	2
6	7
7	8
8	5
9	6
10	3

Solución:

La secuencia TPM es : 1, 5, 4, 10, 2, 3, 8, 9, 6, 7

Secuencia Máquina A : 1, 10, 8, 7

Secuencia Máquina B : 5, 2, 9

Secuencia Máquina C : 4, 3, 6

Duración de la secuencia : 18 horas

Tiempo de flujo medio : 8.1 horas

La figura 4.1 muestra la secuencia resultante

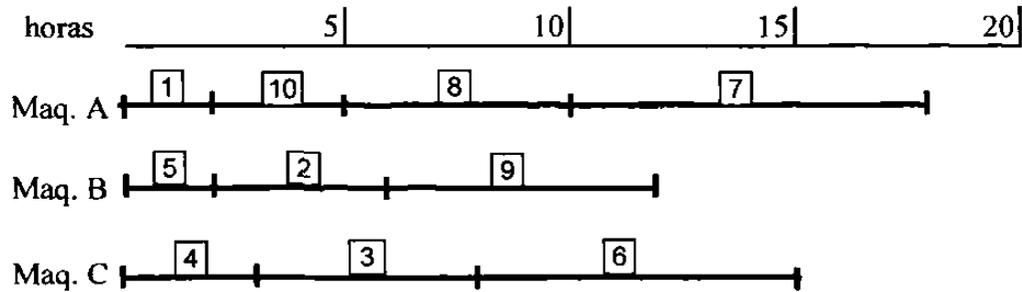


Fig. 4.1

4.3.2 Algoritmo para reducir la duración de la secuencia, así como tiempos de flujo medio en M máquinas

Paso 1 : Secuenciar las tareas de acuerdo con el tiempo de proceso de mayor duración.

Paso 2 : Asigne cada tarea de la lista anterior a la máquina que tenga menor tiempo asignado. Considere los empates en forma arbitraria.

Paso 3 : Después que las tareas han sido asignadas, invierta la secuencia en cada máquina siguiendo el orden TPM.

Solución de un caso práctico

Reducir la duración de la secuencia del ejemplo anterior.

Solución:

La nueva secuencia sería 7, 6, 9, 3, 8, 2, 4, 10, 1, 5; por lo tanto:

Secuencia Máquina A : 10, 2, 7

Secuencia Máquina B : 5, 1, 8, 6

Secuencia Máquina C : 4, 3, 9

Duración de la Secuencia : 16 horas

Tiempo de Flujo medio : 8.1 horas

La figura 4.2 muestra la gráfica de Gantt correspondiente al paso 2. La inversión de la secuencia para cada procesador aparece en la figura 4.3.

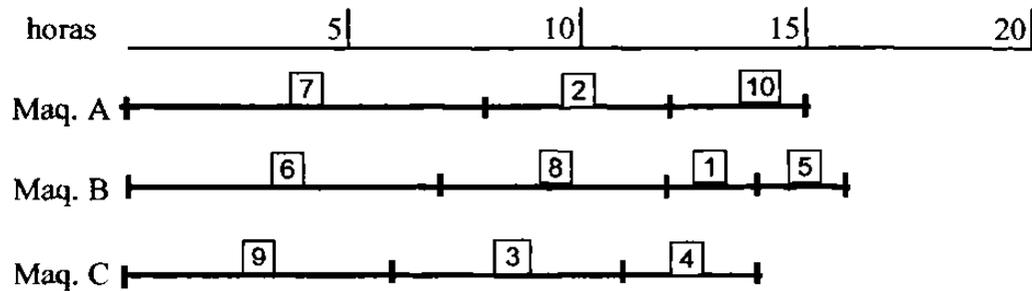


Fig. 4.2

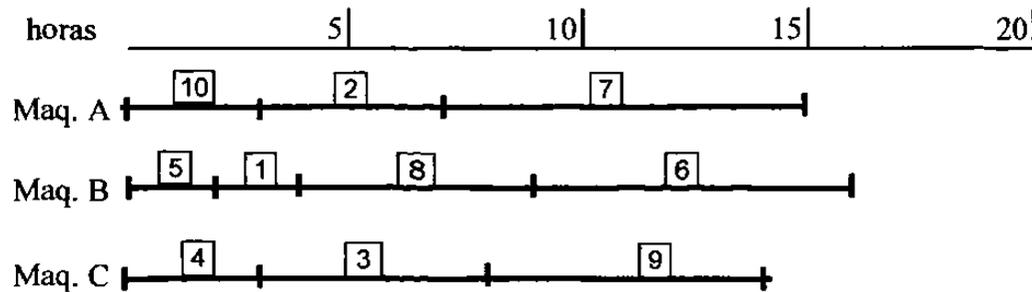


Fig. 4.3

4.3.3 Regla para reducir la tardanza máxima en M máquinas en paralelo

Paso 1 : Secuenciar las tareas en el orden FET

Paso 2: Tome las tareas del listado anterior de una en una y prográmelas en la máquina

1020130097

con menor tiempo asignado. Resuelva los empates en forma arbitraria.

Solución de un caso práctico

Reduzca la tardanza máxima de las siguientes tareas:

Tarea (i)	Tiempo de proceso (t _i)	Tiempo de entrega (d _i)	Tiempo de holgura (SL _i)
1	2	5	3
2	4	7	3
3	5	16	11
4	3	7	4
5	2	5	3
6	7	10	3
7	8	13	5
8	5	10	5
9	6	9	3
10	3	8	5

Solución :

La secuencia FET es : 1, 5, 2, 4, 10, 9, 6, 8, 7, 3

Secuencia Máquina A : 1, 4, 6

Secuencia Máquina B : 5, 10, 8, 3

Secuencia Máquina C : 2, 9, 7

Duración de la secuencia : 18 horas

Tardanza media : 0.9 horas

Tardanza máxima : 6 horas

Trabajos con tardanza : 3

La figura 4.4 muestra el diagrama de Gantt correspondiente.

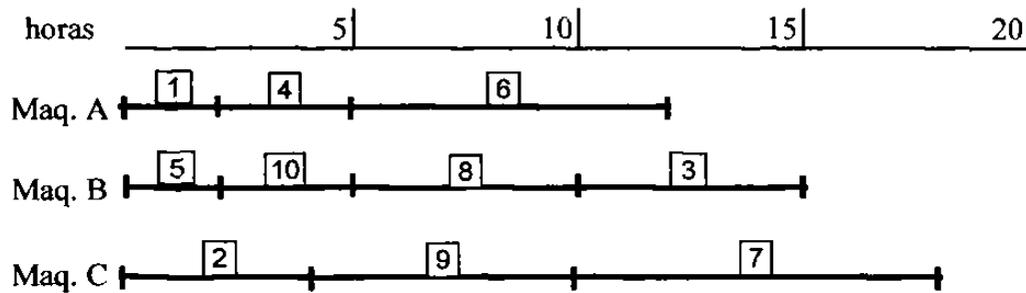


Figura 4.4

4.3.4 Regla de la holgura para reducir la tardanza en M máquinas

Paso 1 : Ordenar las tareas de acuerdo a su holgura

Paso 2: Tomando las tareas de una en una de la lista del paso anterior, prográmelas en la máquina con menor tiempo asignado. Considere los empates en forma arbitraria.

Solución de un caso práctico

Emplee la regla de la holgura para reducir la tardanza de las tareas del caso anterior.

Solución:

Secuencia de acuerdo con la holgura de menor a mayor : 1, 2, 5, 6, 9, 4, 7, 8, 10, 3

Secuencia Máquina A : 1, 6, 10, 3

Secuencia Máquina B : 2, 4, 7

Secuencia Máquina C : 5, 9, 8

Duración de la secuencia : 17 horas

Tardanza media : 1 hora

Tardanza máxima : 4 horas

Trabajos con tardanza : 4

La figura 4.5 muestra el diagrama de Gantt correspondiente.

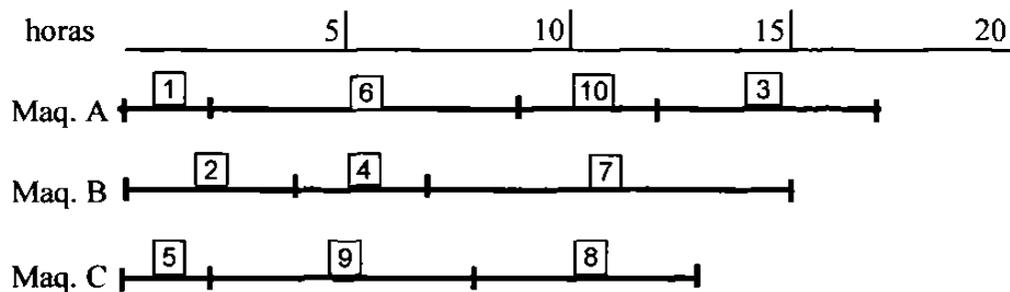


Fig. 4.5

4.3.5 Algoritmo para minimizar el tiempo total de proceso de varias órdenes de trabajo en dos máquinas

El algoritmo para resolver este problema fue diseñado por Johnson y nos permite minimizar el tiempo de procesamiento para colocar en secuencia un grupo de trabajos a través de dos instalaciones. Además minimiza el tiempo ocioso total en las máquinas.

Pasos:

1. Tabule las tareas con sus respectivos tiempos en cada máquina.
2. Si el valor más pequeño está bajo la máquina A, éste se programa primero. Si el valor más pequeño está bajo la máquina B, éste se programa al final.
3. Eliminar la tarea ya secuenciada y repetir el paso 2.

Condiciones:

El Algoritmo de Johnson requiere que todos los trabajos pasen primero por la máquina A y luego por la máquina B.

Solución de un caso práctico

El jefe de producción de un taller debe procesar 6 trabajos específicos a través de 2 máquinas. El tiempo en horas para procesar cada trabajo se muestra a continuación:

Ordenes de Trabajo	Duración	
	Máquina A	Máquina B
1	7	2
2	15	1
3	2	10
4	1	9
5	8	3
6	12	15

Se desea conocer la secuencia que minimice el tiempo total de proceso para los 6 trabajos, dicho tiempo mínimo y el tiempo total de ocio de las máquinas.

Solución:

De acuerdo al algoritmo de Johnson la secuencia indicada sería : 4, 3, 6, 5, 1, 2

El tiempo mínimo para terminar los trabajos es de 46 horas con un tiempo de ocio de 6 horas en la máquina B. Ver Figura 4.6

4.3.6 Algoritmo para minimizar el tiempo total de proceso de varias órdenes de trabajo en tres máquinas

Se utiliza el algoritmo de Johnson con las siguientes adecuaciones:

1. Se hace un tabulador con sus duraciones
2. Se suman los tiempos de cada trabajo $A + B$ y $B + C$
3. Se utiliza la regla de Johnson como si fueran dos máquinas

Condiciones:

El algoritmo requiere que todos los trabajos pasen primero por la máquina A, luego por la máquina B y finalmente por la C. Además debe cumplirse cualquiera de las siguientes condiciones:

Tiempo mínimo de la máquina A debe ser \geq Tiempo máximo en la máquina B, o

Tiempo mínimo de la máquina C debe ser \geq Tiempo máximo en la máquina B

Solución de un caso práctico

El jefe de producción de un taller debe procesar 7 trabajos específicos a través de 3 máquinas. El tiempo en horas para procesar cada trabajo se muestra a continuación:

Ordenes de Trabajo	Duración			A+B	B+C
	Máquina A	Máquina B	Máquina C		
1	5	2	4	7	6
2	3	1	4	4	5
3	5	6	4	11	10
4	3	5	2	8	7
5	6	2	3	8	5
6	3	5	5	8	10
7	4	5	2	9	7

Se desea conocer la secuencia que minimice el tiempo total de proceso para los 6 trabajos, dicho tiempo mínimo y el tiempo total de ocio de las máquinas.

Solución:

Siguiendo los pasos, la secuencia óptima es: 2, 6, 3, 4, 7, 1, 5, llevada a cabo en un tiempo mínimo de 36 horas. El tiempo de ocio para la máquina A es de 0 horas; para B, 5 horas y para C, 12 horas. Tiempo total de Ocio : 17 horas. Ver Figura 4.7

4.3.7 Algoritmo para minimizar el tiempo total de proceso de N tareas en M máquinas

El algoritmo consta de los siguientes pasos:

1. Se hace un tabulador
2. Determinar el JV_i de cada trabajo de la siguiente manera:

$$JV_i = \frac{k}{\min(t_A + t_B) \circ \min(t_B + t_C) \circ \dots \circ \min(t_L + t_M)}$$

$$\begin{cases} k = 1 \Leftrightarrow t_A \geq t_M \\ k = -1 \Leftrightarrow t_A < t_M \end{cases}$$

3. Ordenar los trabajos de mayor a menor dependiendo de los JV_i de cada trabajo, y esa es la secuencia óptima que minimiza el tiempo total de proceso.

Condición : que todas las tareas pasen por la Máquina A, B, C, D, , M

Solución de un caso práctico

El jefe de producción de un taller debe procesar 6 trabajos específicos a través de 5 máquinas. El tiempo para procesar cada trabajo se muestra a continuación:

Ordenes de trabajo	Duración					
	Máquina A	Máquina B	Máquina C	Máquina D	Máquina E	JVi
1	8	4	4	3	8	1/7
2	3	7	8	4	2	1/6
3	8	5	5	2	10	- 1/7
4	3	5	9	4	6	- 1/8
5	5	2	2	3	2	1/4
6	9	4	4	8	3	1/8

Solución:

La secuencia óptima es: 3, 4, 6, 1, 2, 5

Tiempo mínimo para realizar la secuencia : 56 horas

El tiempo de ocio para la máquina A es de 0 horas; para B, 14 horas; para C, 17 horas; para D, 30 horas y para E, 25 horas. Tiempo de Ocio Total : 86 horas

Ver Figura 4.8

4.3.8 Algoritmo para minimizar el tiempo total de proceso de varios trabajos ordenados tecnológicamente en dos máquinas

Seguir los siguientes pasos:

1. Listar los trabajos que se van a hacer únicamente en A, en cualquier orden.
2. Listar los trabajos que se harán únicamente en B, en cualquier orden.
3. Listar los trabajos de orden AB y usar la regla de Johnson.
4. Listar los trabajos de orden BA y usar la regla de Johnson.
5. El orden óptimo en A es: el encontrado en el paso 3, seguido del paso 1 y del paso 4.
6. El orden óptimo en B será : el encontrado en el paso 4, seguido del paso 2 y del paso 3.

Solución de un caso práctico

El jefe de producción de un taller debe procesar 8 trabajos con un cierto orden tecnológico a través de 2 máquinas. El tiempo en horas para procesar cada trabajo se muestra a continuación:

Ordenes de trabajo	Duración		
	Máquina A	Máquina B	Orden Tecnológico
1	8	5	AB
2	9	6	BA
3	-	3	B
4	4	8	AB
5	7	-	A
6	3	-	A
7	3	2	BA
8	5	12	AB

Se desea conocer la secuencia que minimice el tiempo total de proceso para los 8 trabajos respetando el ordenamiento tecnológico, así como dicho tiempo mínimo.

Solución:

Siguiendo el algoritmo:

Paso 1 : 6 , 5

Paso 2 : 3

Paso 3 : 4, 8, 1

Paso 4 : 7, 2

Paso 5 : Ordenación óptima para la máquina A: 4, 8, 1, 6, 5, 7, 2

Paso 6 : Ordenación óptima para la máquina B: 7, 2, 3, 4, 8, 1

Tiempo mínimo de la secuencia: 39 horas. Ver Figura 4.9

4.3.9 Algoritmo para minimizar el tiempo total de proceso de varios trabajos ordenados tecnológicamente en M máquinas

El algoritmo consiste de los siguientes pasos:

1. Subdividir la columna donde aparece el orden tecnológico en tantas columnas como sea necesario, identificándolas como columna I, II, III, etc.
2. Armar una tabla donde las filas representarán las máquinas y las columnas la subdivisión realizada en el paso anterior.
3. Vaciar los datos en la tabla de manera que la celda Máquina A intersección columna I contenga las órdenes de trabajo de la columna I que requieran de pasar por la máquina A y así sucesivamente.
4. Comenzamos la programación con la primera máquina, si en ella tenemos enlistadas varias órdenes de trabajo, comenzaremos por la que requiera de menor tiempo, así continuamos con todas las órdenes de trabajo de la primera máquina.
5. Al asignar los trabajos de las siguientes máquinas, trataremos de organizarlas considerando las anteriores de tal forma que se tenga el menor tiempo de ocio posible.

Solución de un caso práctico

El jefe de producción de un taller debe procesar 7 trabajos con un cierto orden tecnológico a través de 4 máquinas. El tiempo necesario en horas para procesar cada trabajo se muestra a continuación:

Ordenes de trabajo	Duración				Orden Tecnológico
	Máquina A	Máquina B	Máquina C	Máquina D	
1	8	-	5	6	ACD
2	2	5	10	-	ABC
3	-	9	7	3	CBD
4	9	-	4	-	CA
5	5	8	5	3	DCBA
6	1	8	9	6	ABCD
7	2	7	7	4	DABC

Se desea conocer la secuencia que minimice el tiempo total de proceso para los 7 trabajos respetando el ordenamiento tecnológico, así como dicho tiempo mínimo y el tiempo total de ocio de las máquinas.

Solución:

Ordenes de trabajo	Duración				Orden Tecnológico			
	Máquina A	Máquina B	Máquina C	Máquina D	A	B	C	D
1	8	-	5	6	A	C	D	
2	2	5	10	-	A	B	C	
3	-	9	7	3	C	B	D	
4	9	-	4	-	C	A		
5	5	8	5	3	D	C	B	A
6	1	8	9	6	A	B	C	D
7	2	7	7	4	D	A	B	C
					I	II	III	IV

Maq.	I	II	III	IV
A	1	4		5
	2	7	-	
	6			
B		2	5	
	-	3	7	-
		6		
C	3	1	2	7
	4	5	6	
D	5	-	1	6
	7		3	

A continuación aparece la secuencia óptima a seguir en cada máquina:

Máquina A : 6, 2, 1, 4, 7, 5 Tiempo de Ocio: 17 horas

Máquina B: 6, 2, 3, 7, 1 Tiempo de Ocio: 1 hora

Máquina C: 4, 3, 5, 1, 6, 2, 7 Tiempo de Ocio: 0 horas

Máquina D: 5, 7, 1, 3, 6 Tiempo de Ocio: 14 horas

$$\Sigma = 32 \text{ horas}$$

Ver Figura 4.10

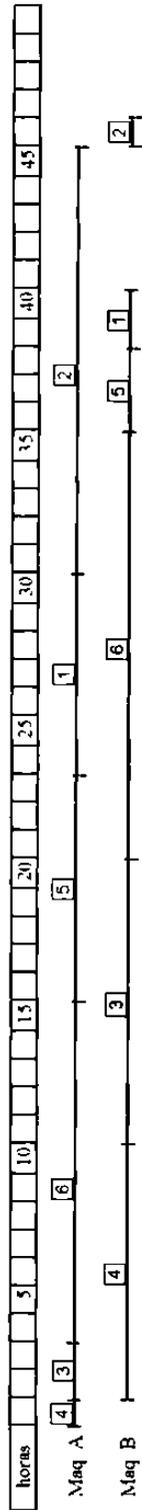


Fig. 4.6

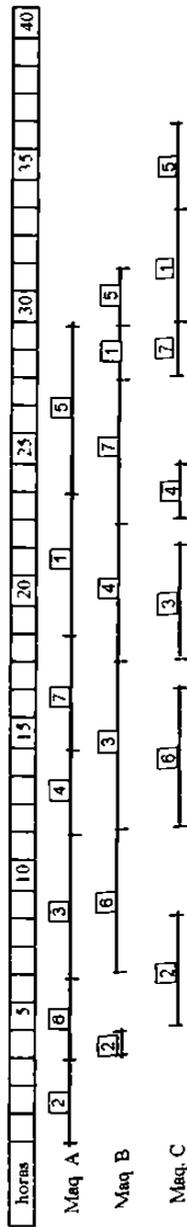


Fig. 4.7

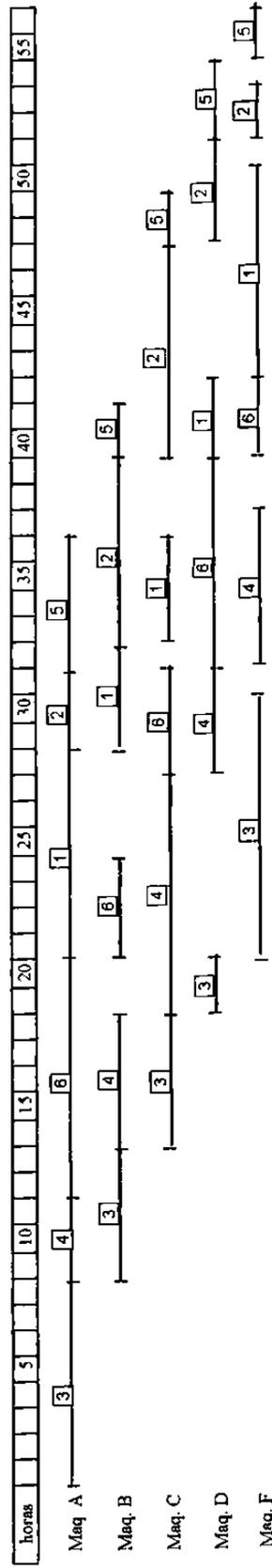


Fig. 4.8

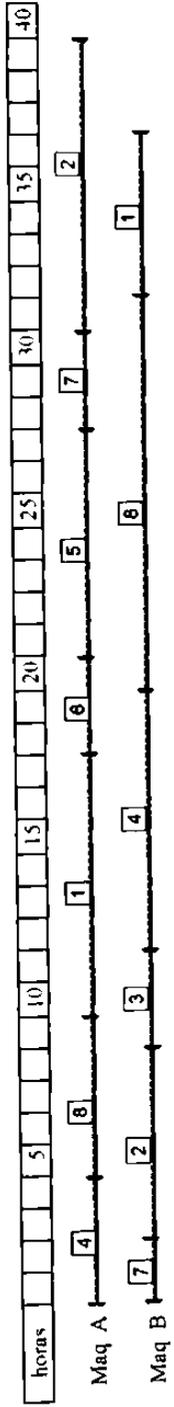


Fig 4.9

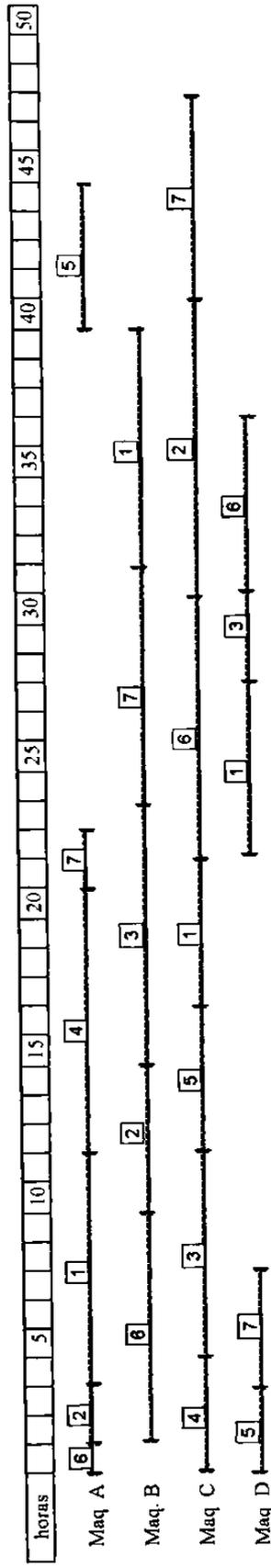


Fig 4.10

5 MODELOS DE LINEAS DE ENSAMBLE

5.1 Descripción del modelo

Una versión de una distribución orientada al producto es una línea de fabricación; otra es una línea de ensamble.

La línea de fabricación construye componentes, una línea de ensamble junta las partes fabricadas en una serie de estaciones de trabajo y en ambos casos la línea debe estar balanceada. Las líneas de ensamble tienden a ser ajustadas por tareas de trabajo asignadas a individuos o estaciones de trabajo, por lo tanto estas líneas pueden ser balanceadas moviendo las tareas de un individuo a otro. De esta manera, la cantidad de tiempo requerida por cada individuo o estación se iguala. La meta de la administración es crear un flujo continuo suave sobre la línea de ensamble con un mínimo de tiempo ocioso en cada estación de trabajo de la persona. Una línea de ensamble bien balanceada tiene la ventaja de la gran utilización del personal y de la instalación y equidad de las cargas de trabajo de los empleados.

El balanceo de la línea generalmente se lleva a cabo para minimizar el desbalance entre las máquinas o el personal mientras se logra la salida requerida de la línea. Con el fin de producir a una tasa específica la administración debe conocer:

- Las herramientas
- Equipos
- Métodos de trabajo utilizados
- Determinar los tiempos para cada tarea de ensamble
- La relación precedente entre las actividades, esto es, la secuencia en que se necesitan desarrollar todas las tareas

5.1.1 Procedimiento para obtener el balanceo de líneas de ensamble

1. Especifique cuales son las relaciones de secuencia entre tareas, por medio de un diagrama de precedencia indicando los tiempos de duración de las tareas.
2. Determine el tiempo de ciclo requerido “ C ” con la siguiente fórmula:

$$C = \text{Tiempo de producción por día} / \text{Producción por día (en unidades)}$$

3. Evalúe la eficiencia del modelo con la siguiente fórmula:

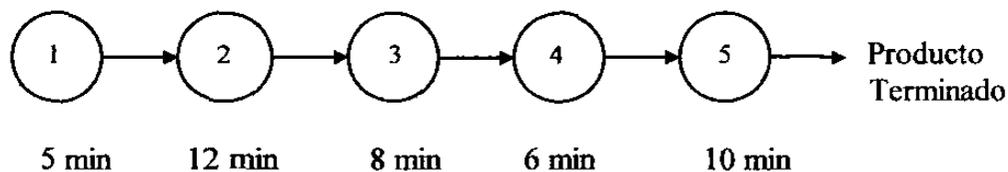
$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum \text{tiempo estandar}}{\sum \text{tiempo asignado}}$$

4. Calcúlese la cantidad de trabajadores necesarios por operación, dividiendo el tiempo estándar entre el tiempo del ciclo.
5. Redondee el valor obtenido en el paso anterior.

6. Calcule el tiempo estándar por trabajador, dividiendo el tiempo estándar para cada operación entre la cantidad de trabajadores por operación.
7. El tiempo asignado por trabajador será el mayor valor obtenido en el paso anterior.
8. Calcule el costo de mano de obra por unidad ensamblada.
9. Calcule nuevamente la eficiencia con el nuevo valor de tiempo asignado.

5.1.2 Solución de un caso práctico

Una línea de ensamble simple consta de las siguientes operaciones con sus respectivos tiempos:



La empresa debe producir 300 unidades por turno, siendo la duración del mismo de 8 horas. El costo de utilización del equipo en la operación 1 es de \$1000, en la operación 2, es de \$10,000; las operaciones 3 y 4 no representan costo por ser manuales; y por último la operación 5 genera un costo de \$5000.

En cuanto a la mano de obra, todos los obreros perciben \$100 por día a excepción de los que realizan la operación 2, que por ser mano de obra calificada nos cuesta el doble.

La gerencia desea determinar:

- ¿Cada cuántos minutos debe salir una unidad para producir 300 unidades por turno?

$$\frac{480 \text{ min / turno}}{300 \text{ unids / turno}} = 1.6 \text{ minutos}$$

Cada 1.6 minutos debe salir una unidad ensamblada

- Actualmente, ¿ cuál es la eficiencia de la línea ?

$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum t \text{ std}}{\sum t \text{ asig.}} = \frac{41}{12 * 5} = 68 \%$$

Observación: todos trabajan a 12 minutos porque es el tiempo más lento

- ¿Cuál será el tiempo asignado por trabajador y el costo de mano de obra por unidad ?

Siguiendo los pasos indicados previamente, podemos determinar:

operación	t std (min)	t asig. (min)	# trab. por oper.	redondeo **	t std por trab.	t asig. por trab.	mano de obra \$	equipo y herr. \$
1	5	12	3.125	4	1.25	1.60	400	4000
2	12	12	7.5	8	1.50	1.60	1600	80000
3	8	12	5	5	1.60 *	1.60	500	0
4	6	12	3.75	4	1.50	1.60	400	0
5	10	12	6.25	7	1.43	1.60	700	35000
Σ	41	60		28	7.28	8.00	3600	119000

* se escoge el mayor

** redondeo hacia el entero superior

Tiempo asignado por trabajador : 1.6 minutos

Costo de mano de obra por unidad : $\$3600 / 300 = \12.00

Ahora la eficiencia será de : $7.28 / 8 = 90.98 \%$

Por otra parte, si el redondeo del número de trabajadores por operación lo realizamos hacia abajo obtenemos la siguiente tabla:

operación	t std (min)	t asig. (min)	# trab. por oper.	redondeo **	t std por trab.	t asig. por trab.	mano de obra \$	equipo y herr.\$
1	5	12	3.125	3	1.67	1.67	300	3000
2	12	12	7.5	8	1.50	1.67	1600	80000
3	8	12	5	5	1.60	1.67	500	0
4	6	12	3.75	4	1.50	1.67	400	0
5	10	12	6.25	6	1.67*	1.67	600	30000
Σ	41	60		26	7.93	8.33	3400	113000

* se escoge el mayor

** redondeo hacia el entero inferior

Con el nuevo valor de tiempo asignado por trabajador no se cumple la cuota de producción de 300 unidades por turno ($480 / 1.67 = 287$ unidades), por lo que es necesario trabajar media hora de tiempo extra lo cual incrementa el costo de mano de obra por unidad a $\frac{3400 + 212.5}{300} = \12.04

Calculando nuevamente la eficiencia ahora es de un 95.2%, es por tanto decisión de la empresa si desea mejorar la eficiencia ya que el incremento en el costo es bastante reducido.

6 MODELO PERT - COSTO

6.1 Descripción del modelo

Cuando una empresa desarrolla un proyecto de gran escala, a menudo éste suele ser único, los riesgos son elevados puesto que se pueden perder millones de pesos en reprocesos costosos a causa de una planeación deficiente.

Los proyectos especiales que toman meses o años en completarse se desarrollan usualmente fuera del sistema normal de producción. Se crean grupos especiales enfocados al proyecto dentro de las organizaciones para manejar tales trabajos, estos grupos a menudo se desintegran cuando se termina el proyecto.

La administración de grandes proyectos involucra tres fases:

1. **Planeación.** Incluye la definición del proyecto, el establecimiento de objetivos y la organización de los equipos de trabajo.
2. **Programación.** Define la relación entre la gente, los recursos económicos y los suministros para las actividades, así como la interrelación entre las actividades.
3. **Control.** Consiste en dar seguimiento a los recursos, los costos, la calidad y los

presupuestos. También reestructura los planes y mueve los recursos para cumplir con los requerimientos de tiempo y costo.

6.1.1 El método PERT como técnica de administración de proyectos

La **técnica de evaluación y revisión del programa (PERT**, por sus siglas en inglés, Program Evaluation and Review Technique) fue desarrollada en 1950 para ayudar a los administradores en la programación, seguimiento y control de proyectos complejos de gran tamaño. Su procedimiento es el siguiente:

1. Definir el proyecto y todas sus actividades.
2. Desarrollar las relaciones entre las actividades, estableciendo su precedencia y secuenciación.
3. Dibujar la red que conecta a todas las actividades.
4. Asignar las estimaciones de duración y/o costo para cada actividad.
5. Calcular la trayectoria de mayor duración a través de la red; a ésta se le llama la **ruta crítica**.
6. Utilizar la red para ayudar a planear, programar, seguir y controlar el proyecto.

Encontrar la ruta crítica es una parte esencial del control de un proyecto, ya que sus actividades representan las tareas que pueden retrasar el proyecto si dichas tareas, a su vez se demoran.

Si una compañía se enfrenta a castigos costosos por retrasarse en un proyecto, puede resultar económico utilizar recursos adicionales para completar a tiempo un proyecto. Puede ser que existan costos fijos durante cada día en que el proyecto se encuentre en proceso. Por lo tanto, es redituable usar recursos adicionales para acortar la duración del proyecto y ahorrar algunos de los costos fijos diarios. ¿ Pero qué actividades deben ser recortadas ?, ¿ Cuánto costará esta acción ?. En forma ideal se desea encontrar el

método menos costoso para reducir el tiempo del proyecto en su totalidad. Éste es el propósito del **Pert-Costo**.

6.1.2 Análisis PERT-COSTO

Tenemos dos tipos de costos involucrados en un proyecto:

Costos Directos : son los que intervienen directamente para realizar la actividad

Costos Indirectos : no intervienen directamente en la actividad (por ejemplo los costos administrativos como compras, personal, etc.)

Consideramos que:

Costos Totales : Costos Directos + Costos Indirectos

Gráficamente

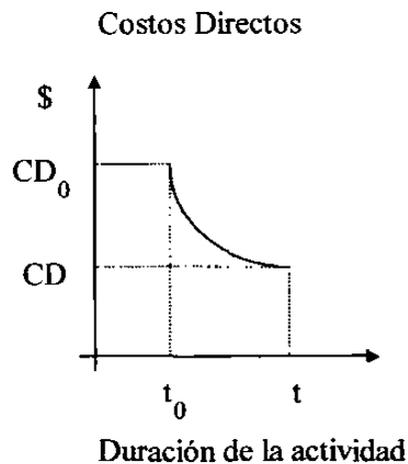


Figura 6.1

Donde

t_0 = tiempo de urgencia

CD_0 = Costo directo en tiempo urgente

t = tiempo normal

CD = Costo directo

$$m = \frac{CD_0 - CD}{t - t_0}$$

Nota: la pendiente de un costo directo significa que por cada día que se reduce una actividad aumenta el costo directo en forma proporcional.

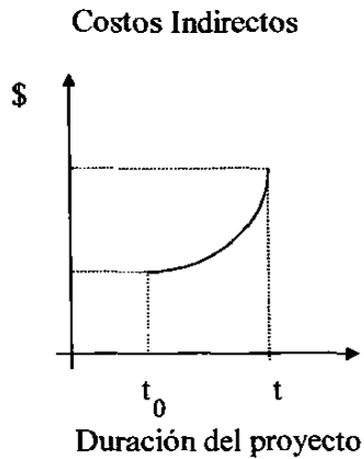


Figura 6.2

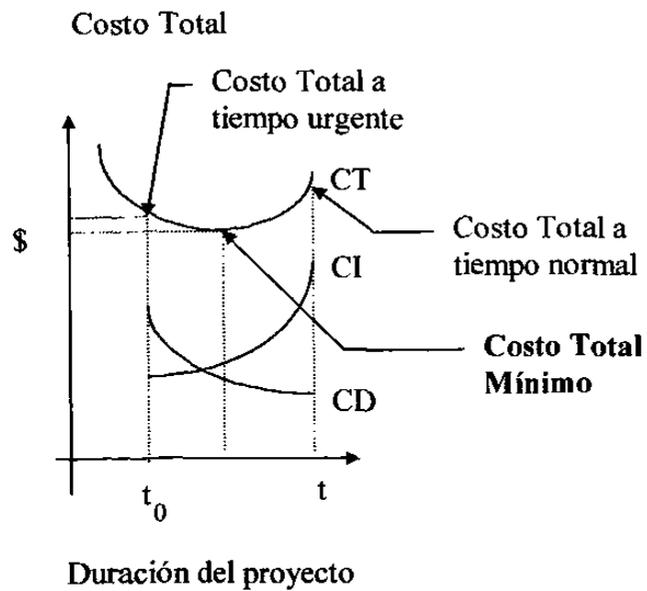


Figura 6.3

De aquí que, basándonos en el procedimiento de reducción de redes podemos determinar:

- Duración del proyecto y Costo Total en un tiempo normal
- Duración óptima del proyecto a un Costo Total Mínimo
- Duración mínima del proyecto y su respectivo Costo Total

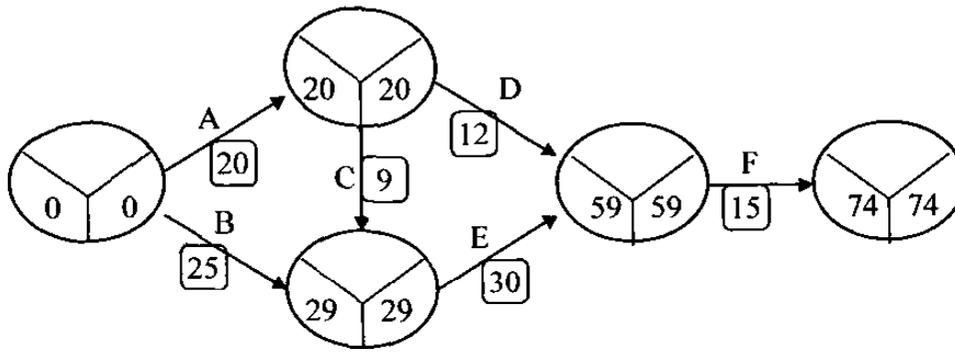
Procedimiento para reducción de redes

- Encontrar el camino crítico.
- Únicamente se reducirán las actividades críticas de un proyecto.
- Reducir la actividad crítica que tenga la menor pendiente en el costo directo.
- De las actividades restantes, también se reducen las actividades críticas que tengan menor pendiente.
- El procedimiento termina cuando no haya actividades para reducir.

6.1.3 Solución de un caso práctico

# Actividad	Secuencia	Duración		Costo Directo		$m = \frac{CD_0 - CD}{t - t_0}$
		t	t_0	CD	CD_0	
-	A,B	-	-	-	-	-
A	C,D	20	10	600	630	3
B	E	25	18	300	314	2
C	E	9	4	200	220	4
D	F	12	10	150	160	5
E	F	30	26	500	504	1
F	-	15	13	120	136	8

Costo Indirecto del proyecto : Un costo fijo de \$1000.00 y \$3.00 por día



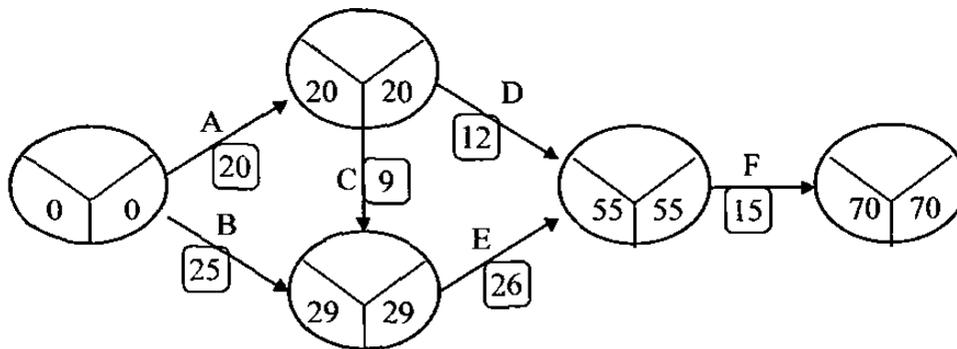
$$\text{Costo Directo} = \$600 + \$300 + \$200 + \$150 + \$500 + \$120 = \$1870$$

$$\text{Costo Total} = \$1000 + \$3.00 (74) + \$1870 = \$3092$$

Duración : 74 días

Camino Crítico : A, C, E, F

Primera reducción E → 4 días



$$\text{Costo Directo} = \$1870 + \$1 (4) = \$1874$$

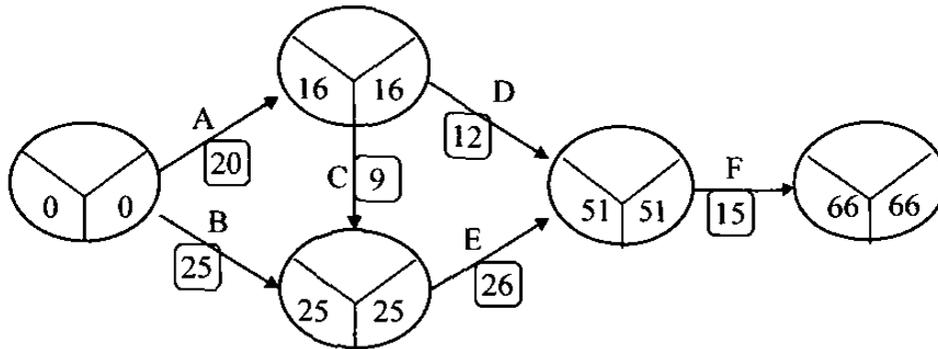
$$\text{Costo Indirecto} = \$1000 + \$3.00 (70) = \$1210$$

$$\text{Costo Total} = \$3084$$

Duración : 70 días

Camino Crítico : A, C, E, F

Segunda Reducción A → 4 días



$$\text{Costo Directo} = \$1874 + \$3 (4) = \$1886$$

$$\text{Costo Indirecto} = \$1000 + \$3 (66) = 1198$$

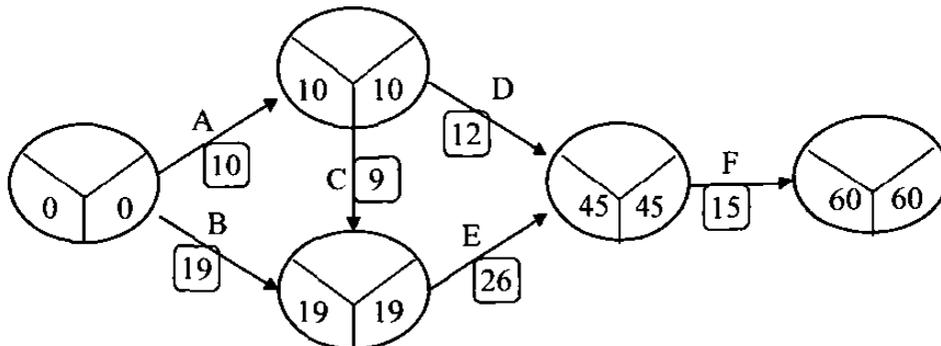
Costo Total Mínimo= \$3084

Duración Óptima : 66 días

Camino Crítico : A, C, E, F

A, B, E, F

Tercera Reducción A → 6 días, B → 6 días



$$\text{Costo Directo} = \$1886 + \$3 (6) + \$2 (6) = \$1916$$

$$\text{Costo Indirecto} = \$1000 + \$3 (60) = 1180$$

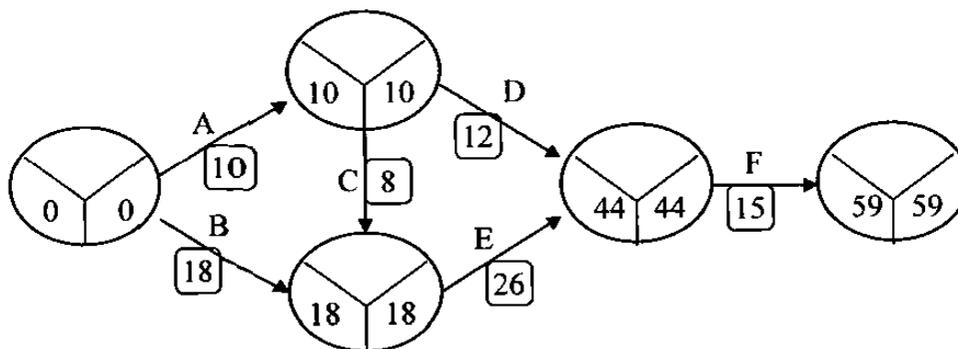
$$\text{Costo Total} = \$3096$$

Duración : 60 días

Camino Crítico : A, C, E, F

A, B, E, F

Cuarta Reducción B → 1 , C → 1



$$\text{Costo Directo} = \$1916 + \$2 (1) + \$4 (1) = \$1922$$

$$\text{Costo Indirecto} = \$1000 + \$3 (59) = 1177$$

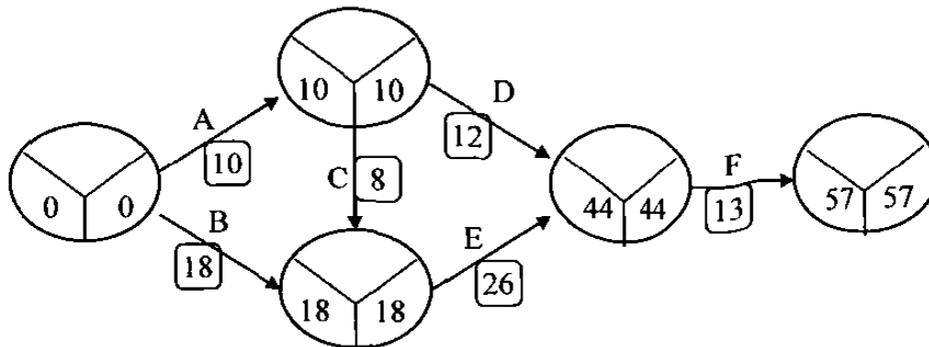
$$\text{Costo Total} = \$3099$$

Duración : 59 días

Camino Crítico : A, C, E, F

A, B, E, F

Quinta Reducción F→ 2



Costo Directo = \$1922 + \$8 (2) = \$1938

Costo Indirecto = \$1000 + \$3 (57) = 1171

Costo Total = \$3109

Duración : 57 días

Camino Crítico : A, C, E, F

A, B, E, F

Conclusión

Tiempo promedio de duración : 74 días, Costo Total : \$3092

Tiempo óptimo de duración : 66 días, Costo Total Mínimo : \$3084

Tiempo mínimo de duración : 57 días, Costo Total: \$3109

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Cualquier sistema complejo con componentes interrelacionados requiere un enfoque global en su planeación y análisis, puesto que no es posible considerar los elementos del sistema como partes aisladas, se debe beneficiar a la compañía como un sistema y no solamente a algún departamento en particular.

Se recomienda al responsable de control de producción considere los siguientes pasos:

- 1) Defina claramente los objetivos del sistema
- 2) Defina sus limitaciones
- 3) Identifique las variables que entran en juego en el sistema
- 4) Observe como dichas variables encajan dentro del sistema

- 5) Integre las variables al sistema
- 6) Evalúe el desempeño del sistema con base en algún criterio
- 7) Mejore el desempeño general mediante el uso de los modelos de producción previamente vistos

Como sugerencia final, se aconseja tratar siempre de no aferrarse a un manejo fiel de un modelo establecido sino considerar que en algunas ocasiones será necesario hacer adaptaciones a fin de ajustarse a los casos particulares.

8 BIBLIOGRAFIA

- Anderson, Henry R
Conceptos Básicos de Contabilidad de Costos
Editorial CECSA, Primera Edición
1980
- Bedworth, David D; Bailey, James E.
Integrated Production Control Systems
Wiley, Second Edition
1987
- Render, Barry; Heizer, Jay
Principios de Administración de Operaciones
Prentice Hall, Primera Edición
1996

- Starr, Martin K
Managing Production and Operations
Prentice Hall, Fifth Edition
1989
- Thierauf, Robert J.; Grosse, Richard A.
Toma de Decisiones por medio de Investigación de Operaciones
Limusa, Primera Edición
1980

9 LISTADO DE FIGURAS

Figura	Página
1.1 Modelo Sencillo de Producción	4
2.1 Costos Fijos	8
2.2 Costos Variables	8
2.3 Costos Totales	8
2.4 Diagrama de Punto de Equilibrio	9
2.5 Diagrama de Punto de Equilibrio para el caso práctico	11
2.6 Curva de Utilidad	13
3.1 Diagrama de flujo de una Orden de Compra	17
3.2 Costo Total de Inventario	20
3.3 Modelo de Cantidad de Orden de Producción	27
3.4 Modelo Probabilístico de Inventario	32
3.5 Campana de Gauss	33
3.6 Sistema de Períodos Fijos	33
4.1 Gráfica de Gantt correspondiente al algoritmo 4.3.1	50
4.2 Gráfica de Gantt correspondiente al algoritmo 4.3.2	51

4.3	Gráfica de Gantt correspondiente al algoritmo 4.3.2 ..	51
4.4	Gráfica de Gantt correspondiente al algoritmo 4.3.3 ..	53
4.5	Gráfica de Gantt correspondiente al algoritmo 4.3.4 ..	54
4.6	Gráfica de Gantt correspondiente al algoritmo 4.3.5 ..	63
4.7	Gráfica de Gantt correspondiente al algoritmo 4.3.6 ..	63
4.8	Gráfica de Gantt correspondiente al algoritmo 4.3.7 ..	63
4.9	Gráfica de Gantt correspondiente al algoritmo 4.3.8 ..	64
4.10	Gráfica de Gantt correspondiente al algoritmo 4.3.9 ..	64
6.1	Costos Directos en el Análisis PERT-Costo ..	72
6.2	Costos Indirectos en el Análisis PERT-Costo ..	73
6.3	Costos Totales en el Análisis PERT-Costo ..	73

10 GLOSARIO DE TERMINOS

P = Pérdida

U = Utilidad

PC = Punto de Cierre (Ingresos por Ventas = Costos Fijos)

Q_{PC} = Cantidad de unidades al Punto de Cierre

Q_{PE} = Cantidad de unidades en el Punto de Equilibrio

LS = Límite de Sobrevivencia ($Q_{PC} \leq LS \leq Q_{PE}$)

Q = número óptimo de unidades a ordenar

D = demanda anual en unidades del producto

S = costo de colocar la orden de compra del producto

H = costo de llevar en inventario el producto

N = número esperado de órdenes

T = tiempo esperado entre las órdenes

ROP = Punto de reorden

p = tasa de producción diaria

d = tasa de demanda diaria o de utilización

t = duración de la corrida en días

L = tiempo que tarda el proveedor en surtir la orden

ss = inventario de seguridad

F_s = tiempo de flujo medio

$F_{w,s}$ = tiempo de flujo medio ponderado

L_s = retraso medio

JV_i = valor del trabajo

C = tiempo de ciclo requerido

ruta crítica = trayectoria de mayor duración a través de la red

t_0 = tiempo de urgencia

CD_0 = Costo directo en tiempo urgente

11 RESUMEN AUTOBIOGRAFICO

Autor de la Tesis: Ing. María Susana Garza Solís

Grado a obtener: Maestro en Ciencias de la Administración con especialidad en
Investigación de Operaciones

Título de la Tesis: Aplicación de Modelos de Producción para el programa del curso
Sistemas de Producción a Nivel Licenciatura

Campo Profesional: Docencia en el área de Matemáticas

Lugar y Fecha de Nacimiento: Delicias, Chihuahua; 21 de Diciembre de 1962

Nombre de los padres: Eduardo José Garza Fox y Josefina Solís Sotomayor

Estudios Profesionales: Ingeniero en Administración de Sistemas, F.I.M.E., U.A.N.L.
Instructor de Lengua Inglesa, Escuela de Extensión ITESM

Experiencia: Docente en el área de Matemáticas en la Universidad Regiomontana

