30 89 17

UNIVERSIDAD PANAMERICANA

21

2ej

ESCUELA DE INGENIERIA

Con estudios incorporados a la

Universidad Nacional Autónoma de México

PLANEACIÓN DE MATERIALES EN UN ENTORNO INFLACIONARIO

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA : INGENIERIA INDUSTRIAL

P R E S E N T A :

Luis Gerardo Fonseca Guzmán

Director:

Ing. Eduardo de la Vega Segura

México, D.F. 1996.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

El enorme auge en la década de los 80's de las técnicas para la Planeación y Control de los Inventarios, promovido en buena parte por la revolución en el campo de la informática que pone al alcance equipos y programas con capacidades no imaginados años antes, ha permitido a las empresas contar con herramientas cada vez más sofisticadas para satisfacer las necesidades de insumos de la producción de manera eficiente y reduciendo substancialmente los costos involucrados y la inversión en inventarios.

Las problemáticas inherentes a la aplicación práctica de estas técnicas son cada vez menores, al darse un proceso de maduración de las empresas que permite un mayor control de las actividades y una mayor atención al desarrollo de políticas y procedimientos adecuados para la generación de información.

Todas estas técnicas tienen como objetivo primordial el reducir a un mínimo las existencias (si es que no se pretende desaparecerlas), como medio fundamental para abatir los costos y las necesidades de capital. Son, sin embargo, desarrolladas para un entorno de baja inflación.

La crisis económica desatada en el país a partir de Diciembre de 1994 vuelve a situar a las empresas en un entorno inflacionario y de enorme incertidumbre donde, ante el continuo incremento de los precios de los insumos, surge la necesidad de aumentar los niveles de compra y existencias a fin de disminuir el efecto de dicho incremento.

Es sabido que en un entorno inflacionario el costo del dinero se incrementa radicalmente y con él, el costo de mantener el inventario, pero ¿Cómo reducir los inventarios al mínimo, como indican las técnicas de planeación de materiales, si el precio de los insumos crece continuamente a una tasa variable mes con mes?.

De igual forma, ¿Cómo disminuir el tamaño de los lotes si esto provoca un incremento en el precio promedio al que se adquieren los materiales o se fabrican los productos?.

Como resultado de este aparente conflicto, la validez de las técnicas formales de planeación y control de inventarios ante la administración de la empresa se ve disminuida y, en el mejor de los casos, se mantiene con reservas al establecer una política de inventarios de seguridad y/o diferentes negociaciones con proveedores que permitan cierta protección contra el incremento en precios. Sin embargo, los inventarios de seguridad son establecidos intuitivamente en la mayoría de los casos, o si no, de manera independiente al proceso de optimización de costos llevado a cabo por las técnicas de planeación.

Esta situación provoca una baja sensible en la efectividad de las técnicas aplicadas ya que quedan sin respuesta cuestiones como las siguientes: ¿Hasta dónde debe incrementarse el nivel del inventario y el tamaño de los lotes para disminuir el precio promedio de los insumos sin que esto provoque requerimientos excesivos de capital con un altísimo costo financiero? ¿Cuál es la relación que existe entre estas dos variables? ¿Existen modelos de inventario aplicables en la práctica que incorporen la inflación al proceso de optimización?.

De lo anterior surge la necesidad de contar con herramientas que incorporen el efecto de la inflación, de tal manera que los efectos de todas las variables involucradas sean considerados a un mismo tiempo para mantener el nivel de efectividad en la aplicación de las técnicas disponibles para la Planeación y Control del Inventario.

Este trabajo tiene como objetivo proponer herramientas que puedan resolver estos cuestionamientos en los procesos de manufactura, tomando como base la metodología MRP (Material Requirements Planning), que es la que mayor éxito ha demostrado en la planeación y control de inventarios de manufactura.

Para ello se evaluará primeramente el comportamiento de los modelos de inventario en un entorno inflacionario, determinando la relación entre la tasa de inflación, la rotación del inventario y el costo promedio del insumo.

A continuación se desarrollarán modelos de inventario modificados que consideren el efecto inflacionario con objeto de tener herramientas para la determinación de politicas óptimas en estas condiciones.

Finalmente, se presentan algunos lineamientos prácticos para la incorporación de estas técnicas a los sistemas MRP y su implementación en un proceso productivo.

CAPÍTULO 1

PLANEACIÓN DE MATERIALES E INFLACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS MRP.

El proceso de planeación de una empresa de manufactura involucra diversos elementos relacionados entre sí que permiten establecer los mecanismos para el logro de los objetivos propuestos. Dichos elementos pueden ser estructurados en un sistema de planeación de la siguiente manera[1] :

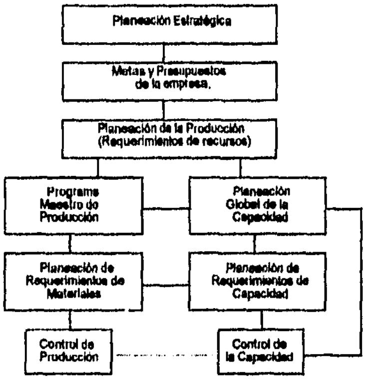

Figura 1. Proceso de planeación

---

[1] Tomado de "Orlicky's Material Requirements Planning", George W. Plossl, 2nd Edition, Mc Graw Hill.

Esta estructura integra cinco elementos básicos que utilizan técnicas comunes a todo proceso de manufactura:

a) Programas Maestros de Producción - Proporciona la información de qué productos deben ser fabricados, cuánto y cuándo.

b) Planeación de Requerimientos de Material - Determina las cantidades de material necesarias para soportar el Programa Maestro y cuándo deben estar disponibles.

c) Planeación de la Capacidad - Evalúa los recursos (personal, máquinas, capital, etc.) necesarios para soportar el Programa Maestro.

d) Control de la Producción - Compara los resultados obtenidos con lo programado y señala las desviaciones para el establecimiento de medidas correctivas.

e) Control de la Capacidad - Señala el aprovechamiento de los recursos contra lo programado.

De estos elementos, la planeación de requerimientos de materiales resulta de particular importancia, ya que su efectividad determina el nivel de producción alcanzado, la continuidad de los trabajos y el nivel de los inventarios, siendo éstos últimos una parte importante de los activos de la empresa y generadora de costos adicionales.

Las técnicas para la planeación de requerimientos de material han evolucionado de manera significativa a partir de la década de los 70's, época en que fueron difundidas formalmente por Joseph Orlicky las bases para el uso de sistemas basados en una metodología denominada MRP (Material Requirements Planning) y que se han convertido en una herramienta fundamental del proceso de planeación a través de sofisticados sistemas de cómputo.

Esta metodología parte de la distinción entre demanda independiente y demanda dependiente. La demanda independiente es aquélla que está fuera del control de la empresa y corresponde básicamente a los artículos terminados o partes que se venden como refacciones. La demanda dependiente corresponde a los componentes y materias primas cuya demanda depende directamente de otros componentes o productos y por tanto está bajo el control de la empresa.

Los productos o componentes sujetos a demanda independiente requieren de un pronóstico de necesidades para llevar a cabo la planeación del suministro, por lo que la efectividad de dicha planeación depende directamente de la exactitud de los pronósticos y de la semejanza en el comportamiento de la demanda con las distribuciones utilizadas en el modelo de pronóstico.

La planeación de los productos de demanda dependiente, en cambio, puede ser llevada a cabo de manera precisa sin necesidad de pronósticos utilizando la dependencia entre dichos productos. Esta caracteristica es utilizada intensivamente por la metodología MRP a partir del análisis de la estructura de componentes y materias primas de cada producto por lo que, conocida la demanda del producto final, pueden determinarse exactamente la necesidades de componentes.

De esta forma se reduce la dependencia de los planes de abasto de la exactitud de un pronóstico, ya que éste es utilizado únicamente en el caso de los productos que se venden al cliente, teniéndose una mayor precisión en los cálculos hechos para determinar las politicas óptimas.

Así mismo, al ser actualizados de manera periódica, los sistemas basados en esta metodología permiten corregir los planes como consecuencia de variaciones entre las cifras reales y los pronósticos de demanda asi como las estimaciones futuras de la misma.

Los sistemas MRP requieren cinco elementos para su funcionamiento:

a) Programas maestros de producción detallados y por producto.
b) Listas de materiales que desarrollan la estructura de componentes y materias primas de los productos.

c) Registros detallados y actualizados de inventarios por artículo y componente.

d) Definición de tiempos de entrega y fabricación estándares para cada artículo y componente.

e) Control de los pedidos abiertos y órdenes de trabajo en proceso.

A partir de estos elementos se determinan las necesidades netas por período de cada materia prima y componente, mediante la explosión de las necesidades del Programa Maestro de Producción (a través de las listas de materiales) y tomando en cuenta las existencias disponibles actuales así como las entregas programadas, para determinar periódicamente los pedidos y órdenes de trabajo que deben generarse y la reprogramación requerida de los que ya están en proceso.

Para el cálculo de las necesidades netas de material, deben alimentarse al sistema las cantidades o tamaños de los lotes en que deben pedirse los materiales y componentes así como los inventarios de seguridad que la empresa requiere mantener.[2]

---

[2] Cabe aclarar que éstos últimos no deben existir bajo este esquema ya que el sistema proporciona información periódica y con suficiente antelación para prevenir posibles desabastos.

1.2 TÉCNICAS PARA DEFINIR EL TAMAÑO DEL LOTE.

La técnica utilizada para la determinación del tamaño de los lotes tiene gran importancia en virtud de que, además de afectar directamente las necesidades de componentes y materia prima, determinan el nivel de inventarios a mantener.

La técnica más conocida para la determinación del tamaño del lote es la del Lote Económico de Compra, misma que parte de un modelo en el que la demanda es constante a lo largo del horizonte de planeación.

Debido a que la mayoría de las empresas se enfrentan a situaciones en las que la demanda rara vez es constante, se han desarrollado diversos algoritmos para la generación de políticas subóptimas de compra basados en modelos de demanda variable. Las políticas obtenidas en estos algoritmos no son óptimas en virtud de que no existe un modelo de aplicación general y sólo puede desarrollarse uno particular en el caso en que la distribución estadística de la demanda pueda conocerse.

Las técnicas más aceptadas que utilizan un modelo de demanda variable son las siguientes:

Lotes de Tamaño Fijo - La técnica de definir lotes de tamaño fijo se utiliza en los casos en que la política de inventarios está determinada por la capacidad de producción, los lotes para empaque y/o embarque, la corta vida del producto o en el caso de fabricación sobre pedido.

Lote Económico - A pesar de que el modelo del lote económico considera una demanda constante, puede ser utilizado para determinar el tamaño del lote fijo en aquellos casos en que la demanda sufre variaciones poco significativas.

Lote por Lote - Esta técnica consiste en no manejar inventarios, es decir, se busca cubrir en cada periodo exactamente las necesidades de producción. Esta técnica es un principio básico en conceptos como Just in Time (JIT).

Periodo de Pedido Fijo - Esta técnica es equivalente a la vieja politica de cubrir "X" meses de producción en cada pedido u orden de trabajo.

Ciclo Económico de Pedido - Esta técnica sigue el mismo principio que el anterior, pero en este caso el periodo a cubrir en cada ocasión no es determinado de manera arbitraria sino tomando el periodo resultante de la técnica del Lote Económico.

Costo Unitario Minimo - Esta técnica consiste en una serie de iteraciones en las que es calculado el costo unitario promedio al adquirir las necesidades del periodo presente más uno, dos o más periodos adelantados, seleccionándose en cada iteración el caso que minimiza dicho costo unitario.

Costo Total Mínimo - Al igual que la anterior, esta técnica consiste en iteraciones, sólo que aquí se elige el caso en el que el costo de pedir iguala al costo de mantener el inventario, ya que el modelo del lote económico señala que el costo óptimo se alcanza en dicha circunstancia.

Algoritmo de Wagner-Whitin - Esta técnica es la que arroja los mejores resultados, ya que utiliza las metodologías de programación entera para optimar la función de costo. Desafortunadamente no es muy aplicada en la realidad por la complejidad de los cálculos y conceptos involucrados.

Tomando en cuenta la importancia de la técnica seleccionada para el tamaño de los lotes, a continuación se procederá a analizar el impacto que tiene la inflación en la aplicación de cada uno de los métodos mencionados, ya que es en este punto donde son incorporadas consideraciones económicas a los sistemas MRP y ,por tanto, el aspecto más afectado en un entorno inflacionario y con una influencia determinante en la efectividad del sistema en su conjunto.

1.3 LA INFLACIÓN Y EL MODELO DE DEMANDA CONSTANTE.

Con objeto de poder evaluar el efecto de la inflación en el modelo de demanda constante (lote económico), es necesario modificar la fórmula tradicional del costo total del insumo:

$$CT = \left(\frac{DK}{Q} + DC + \frac{IQC}{2} \right) \qquad \textbf{(1)}$$

Donde: CT =Costo Total.

D =Demanda anual.

K =Costo de pedir o de preparación.

I =Costo de mantener el inventario (%)

C =Costo unitario del insumo.

Q =Tamaño del lote.

Esta modificación consiste en introducir un factor con el índice promedio de inflación del insumo para determinar el costo total real considerando los incrementos en precios.

Si definimos i como la inflación esperada en el año y un comportamiento lineal de ésta, el número de períodos en que será dividido el año y la tasa de incremento de precios en cada período son:

$$N = \frac{D}{Q} \qquad \Delta C = \frac{Qi}{D}$$

De esta forma, en el caso del costo de pedir y el costo del material, el índice promedio de inflación estará dado por el promedio de los precios al inicio de cada periodo:

$$\frac{\sum_{j=0}^{D/Q-1}\left(1+\frac{Qi}{D}j\right)}{D/Q}$$

Desarrollando el numerador:

$$\frac{D/Q+Qi/D\sum_{j=0}^{D/Q-1}j}{D/Q}=1+\frac{Q^2 i}{D^2}\left(\left(\frac{D}{Q}-1\right)\left(\frac{D}{Q}\right)\left(\frac{1}{2}\right)\right)$$

Simplificando, se obtiene:

$$1+\frac{i}{2}-\frac{Qi}{2D}$$

En el caso del costo de mantener el inventario, el índice promedio a aplicar es directamente la mitad de la tasa de inflación debido a que el porcentaje de costo se aplica al precio promedio del insumo durante el periodo y no al inicio, por lo que el índice promedio es el promedio aritmético. Entonces, el factor a aplicar es:

$$1+\frac{i}{2}$$

Incorporando estos factores en la fórmula tradicional de costo:

$$CT_i=\left(\frac{KD}{Q}+CD+\frac{ICQ}{2}\right)\left(1+\frac{i}{2}\right)-\left(\frac{KD}{Q}+CD\right)\left(\frac{Qi}{2D}\right)$$

Simplificando, se obtiene la fórmula ajustada del costo total del insumo considerando la inflación:

$$CT_i=\left(\frac{KD}{Q}+CD+\frac{ICQ}{2}\right)\left(1+\frac{i}{2}\right)-\frac{i}{2}(K+QC) \qquad \textbf{(2)}$$

Ahora, con objeto de determinar la relación entre ambos costos, se sustituye el valor de CT:

$$CT_i = CT\left(1+\frac{i}{2}\right)-\frac{i}{2}(K+QC)$$

La relación entre ambos costos, que servirá para determinar la magnitud del error relativo al no considerar la inflación, queda de la siguiente manera:

$$\frac{CT_i}{CT}=1+\frac{i}{2}-\frac{i}{2}\left(\frac{K+QC}{CT}\right)=1+\frac{i}{2}\left(1-\frac{K+QC}{CT}\right)$$

La fórmula tradicional del tamaño del lote económico es:

$$Q^*=\sqrt{\frac{2KD}{CI}}$$

Misma que permite obtener un costo óptimo, sin inflación, igual a:

$$CT^*=\left(\frac{KD}{Q^*}+DC+\frac{IQ^*C}{2}\right)=\left(\frac{KD}{\sqrt{2KD/CI}}+DC+\frac{IC}{2}\sqrt{\frac{2KD}{CI}}\right)$$

Simplificando, el costo óptimo se expresa como:

$$CT^*=DC+\sqrt{2DKCI}$$

Ahora bien, si se sustituyen los valores obtenidos, la variación porcentual entre el costo real y el costo determinado mediante la aplicación de la técnica del lote económico sin inflación queda expresado de la siguiente manera:

$$\frac{CT_i}{CT}-1=\frac{i}{2}\left(1-\frac{K+\sqrt{2DKC/I}}{DC+\sqrt{2DKCI}}\right) \qquad (3)$$

Como se puede observar, el costo real resultará superior al estimado en un porcentaje que es directamente proporcional al medio de la inflación anual.

A fin de ilustrar lo dicho hasta el momento, se tomará como ejemplo el ejercicio utilizado en el libro "Orlicky's Material Requirements Planning" para evaluar las diferentes técnicas para la determinación del tamaño del lote[3] :

Costo de Preparación (K) = 100

Costo Unitario (C) = 50

Demanda Anual (D) = 200

Costo del Inventario (I) = 24% anual.

Si se supone que el costo del inventario está integrado por un 10% de costo financiero y un 14% de costos fijos. Al establecer un entorno inflacionario parecido a las circunstancias del país al inicio de 1995 (un costo del dinero de 90% y una inflación del 50%), el costo del inventario se incrementaría a 104%.

Entonces, en este caso, el costo real resultará superior al supuesto costo mínimo determinado a través del lote económico en un porcentaje igual a:

$$\frac{0.50}{2}\left(1-\frac{100+\sqrt{2(200)(100)(50)/1.04}}{200(50)+\sqrt{2(200)(100)(50)(1.04)}}\right)=21.75\%$$

[3] Este ejercicio será utilizado como ejemplo a lo largo de este trabajo.

1.4 LA INFLACIÓN Y LAS TÉCNICAS DE DEMANDA VARIABLE.

Antes de analizar cada una de las técnicas para el caso de la demanda variable, se procederá a establecer un modelo general para la determinación del impacto inflacionario.

El costo en cada uno de los periodos del horizonte de planeación esta dado por la fórmula:

$$CT_j = KP_j + CQ_j + \frac{IC}{N} X_j$$

Donde: CT_j = Costo total del periodo j

K = Costo de pedir o de preparación

P_j = 0 si no se pide en el periodo, 1 si se pide

C = Costo unitario del insumo

Q_j = Lote correspondiente al periodo j

I = Costo de mantener el inventario

N = Periodos del horizonte de planeación

X_j = Inventario al cierre del periodo j

El costo total anual se expresa de la siguiente manera:

$$CT = \sum_{j=1}^{N} KP_j + \sum_{j=1}^{N} CQ_j + \sum_{j=1}^{N} \frac{IC}{N} X_j$$

Si se define N_p como el número total de pedidos efectuados, se tiene:

$$CT = KN_p + CD + \frac{IC}{N} \sum_{j=1}^{N} X_j \qquad (4)$$

Ahora bien, para incorporar el efecto inflacionario, se modifica la fórmula del costo de cada período conforme a los criterios y suposiciones usados en el caso del lote económico:

$$(CT_i)_j = KP_j\left(1+\frac{i}{N}(j-1)\right)+CQ_j\left(1+\frac{i}{N}(j-1)\right)+\frac{IC}{N}X_j\left(1+\frac{i}{N}\left(j-\frac{1}{2}\right)\right)$$

Sustituyendo el valor de CT_j **se obtiene:**

$$(CT_i)_j = CT_j\left(1+\frac{i}{N}(j-1)\right)+\frac{IC}{N}X_j\left(\frac{i}{2N}\right)$$

El costo total anual, incorporando el efecto de la inflación, queda expresado de la siguiente manera:

$$CT_i = \sum_{j=1}^{N} CT_j\left(1+\frac{i}{N}(j-1)\right)+\sum_{j=1}^{N}\frac{IC}{N}X_j\left(\frac{i}{2N}\right)$$

Reagrupando se tiene:

$$CT_i = \sum_{j=1}^{N} CT_j\left(1-\frac{i}{N}\right)+\frac{i}{N}\sum_{j=1}^{N} CT_j(j)+\frac{ICi}{2N^2}\sum_{j=1}^{N}X_j$$

Sustituyendo el valor de CT y simplificando:

$$CT_i = CT\left(1-\frac{i}{N}\right)+\frac{i}{N}\left(\sum_{j=1}^{N} CT_j(j)+\frac{IC}{2N}\sum_{j=1}^{N}X_j\right) \qquad \textbf{(5)}$$

Con estos resultados, se obtiene la fórmula para determinar la variación entre el costo real con inflación y el costo sin considerarla, independientemente de la técnica utilizada:

$$\frac{CT_i - CT}{CT} = \frac{CT\left(1-\frac{i}{N}\right)+\frac{i}{N}\left(\sum_{j=1}^{N} CT_j(j)+\frac{IC}{2N}\sum_{j=1}^{N}X_j\right)-CT}{CT}$$

Simplificando:

$$\frac{CT_i - CT}{CT} = \frac{i}{N}\left(\frac{\sum_{j=1}^{N} CT_i(j) + \frac{IC}{2N}\sum_{j=1}^{N} X_j}{KN_p + CD + \frac{IC}{N}\sum_{j=1}^{N} X_j} - 1\right) \qquad (6)$$

Como se puede observar, el porcentaje de variación entre el costo real con inflación y el costo calculado por cualquier técnica es directamente proporcional a la tasa de inflación por período. De acuerdo con el resultado de simulaciones efectuadas, el factor de proporcionalidad no depende principalmente de ***K***, ***C*** o ***I***, por lo que el impacto de la inflación depende casi exclusivamente de la técnica utilizada para determinar la política de suministro.

Lo anterior implica que, en un entorno inflacionario, la técnica seleccionada para calcular el tamaño del lote es el elemento más importante para controlar el efecto de la inflación.

Utilizando este modelo, se procederá a evaluar el impacto de la inflación en cada una de las técnicas para la determinación del tamaño del lote.

Esta evaluación será hecha a través de los resultados obtenidos al aplicar cada una de las técnicas al ejercicio del libro "Orlicky's Material Requirements Planning" mencionado en el apartado anterior. Se omitirá el detalle de dichos cálculos y únicamente se evaluará el impacto inflacionario.

La distribución de demanda a utilizar es la siguiente:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150

Los valores de las otras variables en este ejemplo son:

Costo de Preparación (K) = 100

Costo Unitario (C) = 50

Inflación (i) = 37.5%

Costo del Inventario (I) = 78%

LOTES DE TAMAÑO FIJO.

Definiendo una politica de lote fijo de 60 unidades, se obtienen los siguientes resultados:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150
Ordenes Planeadas	60			60					60	180
Inventario	25	15	15	35	35	15	10	0	30	180

Cuadro 1. Resultado de la aplicación de lotes de tamaño fijo.

La ponderación de los costos de cada periodo que aparece en el numerador de la ecuación **(6)** es la siguiente:

Costo/Periodo	Material y Pedido	Inventario	Costo total	Costo Ponderado
CT1	3100	108.33	3208.33	3208.33
CT2		65.00	65.00	130.00
CT3		65.00	65.00	195.00
CT4	3100	151.67	3251.67	13006.67
CT5		151.67	151.67	758.33
CT6		65.00	65.00	390.00
CT7		43.33	43.33	303.33
CT8				
CT9	3100	130.00	3230	29070.00
TOTAL			10080.00	47061.67

Cuadro 2. Ponderación de costos por periodo al aplicar lote de tamaño fijo.

De acuerdo con lo anterior, el costo real con inflación supera al obtenido con esta técnica sin inflación en un porcentaje igual a:

$$\frac{CT_i - CT}{CT} = \frac{0.375}{9}\left(\frac{47061.67 + \frac{.78(50)}{2(9)}180}{100(3) + 50(180) + \frac{.78(50)}{9}180} - 1\right) = 15.45\%$$

Este porcentaje equivale al 41.19% de la inflación del horizonte de planeación.

EL LOTE ECONÓMICO EN CASOS DE DEMANDA VARIABLE.

Aplicando el resultado de la fórmula tradicional del lote económico, se obtienen los siguientes resultados:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150
Ordenes Planeadas	35	27		27		27		27	27	170
Inventario	0	17	17	4	4	11	6	23	20	102

Cuadro 3. Resultado de la aplicación del lote económico

Como se puede observar, el uso de esta técnica arroja un desabasto en el primer periodo por lo que debe modificarse la cantidad pedida.

La ponderación de los costos de cada periodo que aparece en el numerador de la ecuación (6) es la siguiente:

Costo/Período	Material y Pedido	Inventario	Costo total	Costo Ponderado
CT1	1850	0	1850.00	1850.00
CT2	1450	73.67	1523.67	3047.33
CT3		73.67	73.67	221.00
CT4	1450	17.33	1467.33	5869.33
CT5		17.33	17.33	86.67
CT6	1450	47.67	1497.67	8986.00

CT7		26.00	26.00	182.00
CT8	1450	99.67	1549.67	12397.33
CT9	1450	86.67	1536.67	13830.00
TOTAL			9542.00	48469.67

Cuadro 4. Ponderación de costos por periodo al aplicar el lote económico.

De acuerdo con lo anterior, el costo real con inflación supera al obtenido con esta técnica sin inflación en un porcentaje igual a:

$$\frac{CT_I - CT}{CT} = \frac{0.375}{9}\left(\frac{46469.67+\frac{.78(50)}{2(9)}102}{100(6)+50(170)+\frac{.78(50)}{9}102}-1\right) = 16.22\%$$

Este porcentaje equivale al 43.26% de la inflación del horizonte de planeación.

LOTE POR LOTE.

Utilizando la técnica de lote por lote (implica no manejar inventarios), se obtienen los siguientes resultados:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150
Ordenes Planeadas	35	10		40		20	5	10	30	150
Inventario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cuadro 5. Resultado de la aplicación de la técnica lote por lote.

La ponderación de los costos de cada periodo que aparece en el numerador de la ecuación **(6)** es la siguiente:

Costo/Periodo	Material y Pedido	Inventario	Costo total	Costo Ponderado
CT1	1850		1850	1850
CT2	600		600	1200
CT3				
CT4	2100		2100	8400
CT5				
CT6	1100		1100	6600
CT7	350		350	2450
CT8	800		600	4800
CT9	1600		1600	14400
TOTAL			8200	39700

Cuadro 6. Ponderación de costos por periodo al aplicar la técnica de lote por lote.

De acuerdo con lo anterior, el costo real con inflación supera al obtenido con esta técnica sin inflación en un porcentaje igual a:

$$\frac{CT_i - CT}{CT} = \frac{0.375}{9}\left(\frac{39700}{100(7)+50(150)} - 1\right) = 16.01\%$$

Este porcentaje equivale al 42.68% de la inflación del horizonte de planeación.

PERIODO DE PEDIDO FIJO.

Utilizando la técnica del periodo de pedido fijo (se eligen dos periodos arbitrariamente), se obtienen los siguientes resultados:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150
Ordenes Planeadas	45			40		25		40		150
Inventario	10	0	0	0	0	5	0	30	0	45

Cuadro 7. Resultado de la aplicación del periodo de pedido fijo.

La ponderación de los costos de cada periodo que aparece en el numerador de la ecuación **(6)** es la siguiente:

Costo/Periodo	Material y Pedido	Inventario	Costo total	Costo Ponderado
CT1	2350	43.33	2393.33	2393.33
CT2				
CT3				
CT4	2100		2100.00	8400.00
CT5				
CT6	1350	21.67	1371.67	8230.00
CT7				
CT8	2100	130.00	2230.00	17840.00

CT9				
TOTAL			8095.00	36863.33

Cuadro 8. Ponderación de costos por periodo al aplicar el periodo de pedido fijo.

De acuerdo con lo anterior, el costo real con inflación supera al obtenido con esta técnica sin inflación en un porcentaje igual a:

$$\frac{CT_I - CT}{CT} = \frac{0.375}{9}\left(\frac{36863.33 + \frac{.78(50)}{2(9)}45}{100(4) + 50(150) + \frac{.78(50)}{9}45} - 1\right) = 14.86\%$$

Este porcentaje equivale al 39.62% de la inflación del horizonte de planeación.

CICLO ECONÓMICO DE PEDIDO.

Aplicando el ciclo de pedido obtenido de la técnica del lote económico, se obtienen los siguientes resultados:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150
Ordenes Planeadas	45			60			15		30	150
Inventario	10	0	0	20	20	0	10	0	0	60

Cuadro 9. Resultado de la aplicación del ciclo económico de pedido.

La ponderación de los costos de cada periodo que aparece en el numerador de la ecuación (6) es la siguiente:

Costo/Periodo	Material y Pedido	Inventario	Costo total	Costo Ponderado
CT1	2350	43.33	2393.33	2393.33
CT2				
CT3				
CT4	3100	86.67	3186.67	12746.67
CT5		86.67	86.67	433.33
CT6				
CT7	850	43.33	893.33	6253.33
CT8				
CT9	1600		1600.00	14400.00
TOTAL			8160.00	36226.66

Cuadro 10. Ponderación de costos por periodo al aplicar ciclo económico de pedido.

De acuerdo con lo anterior, el costo real con inflación supera al obtenido con esta técnica sin inflación en un porcentaje igual a:

$$\frac{CT_i - CT}{CT} = \frac{0.375}{9}\left(\frac{36226.66 + \frac{.78(50)}{2(9)}60}{100(4) + 50(150) + \frac{.78(50)}{9}60} - 1\right) = 14.40\%$$

Este porcentaje equivale al 38.39% de la inflación del horizonte de planeación.

COSTO UNITARIO MÍNIMO.

Utilizando la técnica del costo unitario mínimo , se obtienen los siguientes resultados:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150
Ordenes Planeadas	35	50				25		40		150
Inventario	0	40	40	0	0	5	0	30	0	115

Cuadro 11. Resultado de la aplicación del costo unitario mínimo.

La ponderación de los costos de cada periodo que aparece en el numerador de la ecuación (6) es la siguiente:

Costo/Periodo	Material y Pedido	Inventario	Costo total	Costo Ponderado
CT1	1850		1850.00	1850.00
CT2	2600	173.33	2773.33	5546.67
CT3		173.33	173.33	520.00
CT4				
CT5				
CT6	1350	21.67	1371.67	8230.00
CT7				
CT8	2100	130.00	2230.00	17840.00

CT9				
TOTAL			8398.33	33988.87

Cuadro 12. Ponderación de costos por periodo al aplicar costo unitario mínimo.

De acuerdo con lo anterior, el costo real con inflación supera al obtenido con esta técnica sin inflación en un porcentaje igual a:

$$\frac{CT_i - CT}{CT} = \frac{0.375}{9}\left(\frac{33986.67 + \frac{.78(50)}{2(9)} - 115}{100(4) + 50(150) + \frac{.78(50)}{9} - 115} - 1\right) = 12.82\%$$

Este porcentaje equivale al 34.18% de la inflación del horizonte de planeación.

COSTO TOTAL MÍNIMO.

Utilizando la técnica del costo total mínimo, se obtienen los siguientes resultados:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150
Ordenes Planeadas	85					35			30	150
Inventario	50	40	40	0	0	15	10	0	0	155

Cuadro 13. Resultado de la aplicación del costo total mínimo.

La ponderación de los costos de cada periodo que aparece en el numerador de la ecuación (6) es la siguiente:

Costo/Periodo	Material y Pedido	Inventario	Costo total	Costo Ponderado
CT1	4350	216.67	4566.67	4566.67
CT2		173.33	173.33	346.67
CT3		173.33	173.33	520.00
CT4				
CT5				
CT6	1850	65.00	1915.00	11490.00
CT7		43.33	43.33	303.33
CT8				
CT9	1600		1600.00	14400.00
TOTAL			8471.67	31626.67

Cuadro 14. Ponderación de los costos al aplicar el costo total mínimo.

De acuerdo con lo anterior, el costo real con inflación supera al obtenido con esta técnica sin inflación en un porcentaje igual a:

$$\frac{CT_i - CT}{CT} = \frac{0.375}{9}\left(\frac{31626.67 + \frac{.78(50)}{2(9)} 155}{100(3) + 50(150) + \frac{.78(50)}{9} 155} - 1 \right) = 11.55\%$$

Este porcentaje equivale al 30.81% de la inflación del horizonte de planeación.

ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN.

Utilizando la técnica basada en el algoritmo de Wagner-Whitin, se obtienen los siguientes resultados:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150
Ordenes Planeadas	45			40		25		10	30	150
Inventario	10	0	0	0	0	5	0	0	0	15

Cuadro 15. Resultado aplicación del algoritmo de Wagner-Whitin.

La ponderación de los costos de cada periodo que aparece en el numerador de la ecuación **(6)** es la siguiente:

Costo/Período	Material y Pedido	Inventario	Costo total	Costo Ponderado
CT1	2350	43.33	2393.33	2393.33
CT2				
CT3				
CT4	2100		2100.00	8400.00
CT5				
CT6	1350	21.67	1371.67	8230.00
CT7				
CT8	800		800.00	4800.00

CT9	1600		1600.00	14400.00
TOTAL			6065.00	38223.33

Cuadro 16. Ponderación de costos por período al aplicar algoritmo de Wagner-Whitin.

De acuerdo con lo anterior, el costo real con inflación supera al obtenido con esta técnica sin inflación en un porcentaje igual a:

$$\frac{CT_i - CT}{CT} = \frac{0.375}{9}\left(\frac{38223.33 + \frac{.78(50)}{2(9)}15}{100(5) + 50(150) + \frac{.78(50)}{9}15} - 1 \right) = 15.60\%$$

Este porcentaje equivale al 41.59% de la inflación del horizonte de planeación.

1.5 CONCLUSIONES.

La planeación de materiales se ve afectada en un entorno inflacionario debido a que las técnicas tradicionales para la definición de políticas de manejo de inventarios no consideran el efecto de los incrementos en los precios. Esta situación provoca que los costos sean subestimados en porcentajes importantes, además de que no existe la seguridad de que las políticas seleccionadas sean las óptimas.

El modelo de demanda constante (lote económico), al ser utilizado sin inflación, provoca una subestimación de los costos cercana al medio de la tasa inflacionaria del horizonte de planeación. (Ver Ecuación **(3)**)

En el caso de las técnicas basadas en el modelo de demanda variable, la subestimación de los costos en un entorno inflacionario resulta ser proporcional a la tasa de inflación y depende principalmente de la distribución del inventario y las compras a lo largo del horizonte de planeación. (Ver ecuación **(6)**)

La razón de proporcionalidad se va incrementando conforme se retrasan las compras, por lo que en un entorno inflacionario la política de manejar cero inventarios es la más sensible al impacto de la inflación. Esta conclusión coincide con la reacción natural del empresario de anticipar las compras ante el constante incremento de los precios, aunque de ninguna forma se garantiza obtener el costo óptimo si se compran o fabrican todos los insumos al inicio del período.

En el siguiente capítulo se proponen modificaciones a las técnicas principales de determinación del tamaño del lote con objeto de incorporar el efecto inflacionario y, de esta forma, contar con herramientas que permitan acercarse al costo óptimo en este entorno.

CAPÍTULO 2

MODELOS DE INVENTARIO CON INFLACIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN.

No todas las técnicas que se han revisado hasta el momento son susceptibles de ser modificadas para incorporar el efecto inflacionario. Esto es debido a que las técnicas del Lote de Tamaño Fijo, Lote por Lote y Periodo de Pedido Fijo son políticas basadas en consideraciones de índole operativa o financiera, por lo que se adoptan sin que exista un proceso formal de optimización de costos.

Esto no quiere decir que deban ser rechazadas o que tienen menor valor que las demás técnicas que si realizan un proceso de optimización. Las consideraciones que obligan a adoptar políticas fijas pueden ser de suficiente importancia para justificarlas. Sin embargo, muchas veces dichas consideraciones pueden ser incorporadas al proceso de planeación afectando el resultado de alguna técnica de optimización.

En un entorno de baja inflación, no existe una regla general acerca de cuál es la técnica más conveniente de usar, esta es una decisión que debe adoptarse analizando cada caso en particular.

A continuación se proponen una serie de modificaciones a las técnicas basadas en algoritmos de optimización para incorporar incrementos constantes en los precios. Además se evaluará el comportamiento de las distribuciones del inventario generadas por cada técnica con objeto de poder determinar cuáles de ellas resultan más eficientes bajo un ambiente de inflación.

De esta forma, se busca proponer una metodología de fácil aplicación para llevar a cabo la planeación de los materiales en un entorno inflacionario.

2.2 LOTE ECONÓMICO DE COMPRA

Con objeto de desarrollar un modelo ajustado del lote económico que considere la inflación, debe encontrarse el punto mínimo de la función de costo ajustada obtenida en el capítulo 1 (ecuación **(2)**):

$$CT_i = \left(\frac{DK}{Q} + DC + \frac{IQC}{2}\right)\left(1 + \frac{i}{2}\right) - \frac{i}{2}(K + QC)$$

Derivando con respecto a Q se tiene:

$$\frac{\partial CT_i}{\partial Q} = \left(-\frac{DK}{Q^2} + \frac{IC}{2}\right)\left(1 + \frac{i}{2}\right) - \frac{iC}{2}$$

Reagrupando la expresión:

$$\frac{\partial CT_i}{\partial Q} = -\frac{DK}{Q^2}\left(1 + \frac{i}{2}\right) + \frac{C}{2}\left(I\left(1 + \frac{i}{2}\right) - i\right)$$

Igualando a cero para obtener el mínimo:

$$-\frac{DK}{Q^2}\left(1+\frac{i}{2}\right)+\frac{C}{2}\left(I\left(1+\frac{i}{2}\right)-i\right)=0$$

De donde:

$$\frac{DK}{Q^2}=\frac{C}{2}\left(I-\frac{2i}{2+i}\right)$$

Despejando Q se obtiene el tamaño óptimo del lote considerando el efecto de la inflación:

$$Q^*=\sqrt{\frac{2DK}{C\left(I-\frac{2i}{2+i}\right)}} \qquad (7)$$

Como se puede observar, la fórmula obtenida impone una restricción a la relación entre el costo de mantener el inventario y la inflación, expresada mediante la siguiente desigualdad:

$$I>\frac{2i}{2+i}$$

En la práctica, el valor de I será siempre superior al de i, en virtud de que el costo del inventario está constituido por dos elementos: el costo del dinero que mínimo es el valor de la inflación y el valor de los costos fijos asociados al inventario (instalaciones, seguros, administración, etc.), por lo que la igualdad siempre se cumplirá como se muestra a continuación:

$$I>i>\frac{2i}{2+i}$$

$$i>\frac{2i}{2+i}$$

$$1>\frac{2}{2+i}$$

Por lo anterior, el modelo obtenido es aplicable en todos los casos y constituye una generalización de la fórmula del lote económico sin inflación.

En el modelo tradicional del Lote Económico el punto óptimo se presenta cuando el costo del inventario resulta igual al costo de pedir:

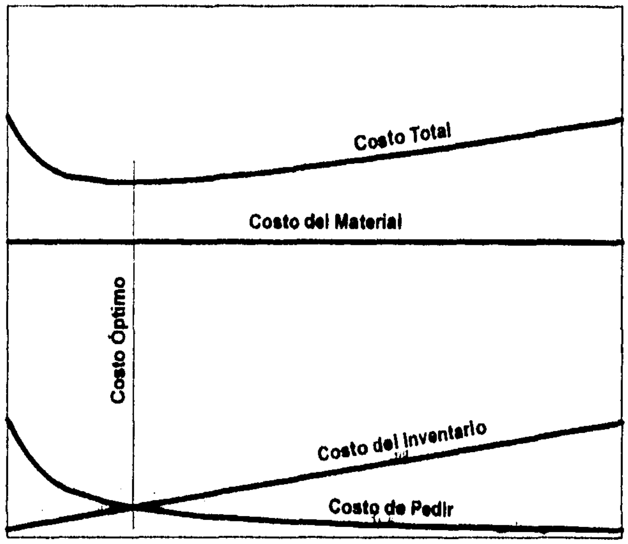

Figura 2. Comportamiento del modelo tradicional del lote económico.

En el caso del modelo con inflación esto no se da así en virtud de que el costo del material disminuye conforme aumenta el tamaño del lote, por lo que el punto óptimo se encontrará mas allá del punto en que el costo del inventario iguala al de pedir:

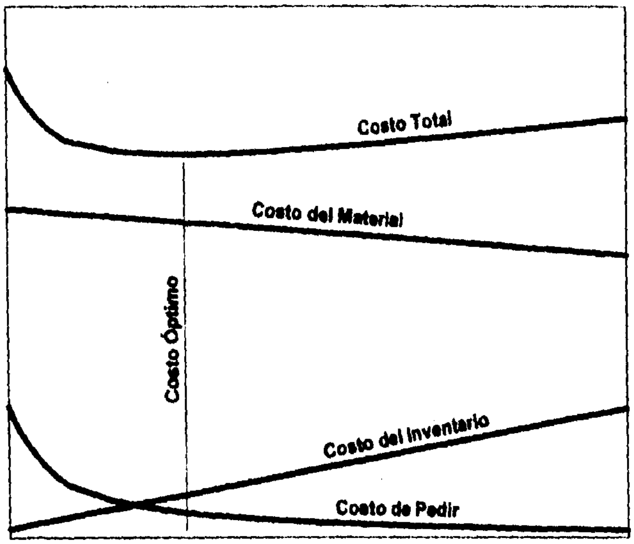

Figura 3. Comportamiento modelo del lote económico con inflación.

Lo anterior confirma el concepto de que en un entorno inflacionario debe disminuirse el nivel del inventario, pero no hasta donde señala el modelo tradicional del lote económico ya que existe un efecto por la diminución del precio al incrementar el lote.

A fin de evaluar el desempeño de esta fórmula, se procede a obtener el resultado para el mismo ejemplo del capítulo anterior, considerando primero demanda constante:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2(100)(200)}{50(1.04-2(0.5)/2.5)}} = 35$$

Este resultado es superior al obtenido por el método tradicional:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2(100)(200)}{50(1.04)}} = 27$$

Ahora, para el caso de la aplicación del lote económico en el caso de demanda variable:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150
Ordenes Planeadas	35	35		35			35		35	175
Inventario	0	25	25	20	20	0	30	20	25	165

Cuadro 17. Resultado de la aplicación del lote económico con inflación.

Para obtener la ponderación de los costos de cada periodo que aparece en la ecuación **(5)**:

Costo/Periodo	Material y Pedido	Inventario	Costo total	Costo Ponderado
CT1	1850		1850.00	1850.00
CT2	1850	108.33	1958.33	3916.67
CT3		108.33	108.33	325.00

CT4	1850	86.67	1936.87	7746.67
CT5		88.87	88.67	433.33
CT6				
CT7	1850	130.00	1980.00	13880.00
CT8		86.87	88.67	893.33
CT9	1850	108.33	1958.33	17625.00
TOTAL			9965.00	46450.00

Cuadro 18. Ponderación de los costos por periodo al aplicar el lote económico con inflación.

De acuerdo a lo anterior, el costo de aplicar esta política es el siguiente:

$$CT_i' = 9965\left(1-\frac{0.375}{9}\right)+\frac{0.375}{9}\left(46450+\frac{0.78(50)}{2(9)}175\right)=11501.01$$

2.3 CICLO ECONÓMICO DE PEDIDO.

Esta técnica es fácilmente modificable para incorporar el efecto de la inflación al contar con un modelo ajustado del Lote Económico.

El Ciclo Económico de Pedido está definido por:

$$POQ=\frac{Q^*}{D}N$$

Donde Q^* = Tamaño económico del lote

D = Demanda en el horizonte de planeación

N = Número de periodos

Sustituyendo el valor de Q^* obtenido en el Lote Económico con inflación:

$$POQ = \sqrt{\frac{2DK}{C(I - 2i/(2+i))}}\frac{N}{D}$$

De donde el Ciclo Económico de Pedido considerando la inflación es igual a:

$$POQ = \sqrt{\frac{2K}{CD(I - 2i/(2+i))}}N \qquad (8)$$

Aplicando este resultado al caso ejemplo:

$$POQ = \sqrt{\frac{2(100)}{(50)(150)(0.78 - 2(0.375)/2.375)}}9 = 2.16$$

Lo anterior significa que deben hacerse pedidos para cubrir dos meses de necesidades, por lo que el plan de suministro es el siguiente:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150
Ordenes Planeadas	45			60			15		30	150
Inventario	10	0	0	20	20	0	10	0	0	60

Cuadro 19. Resultado de la aplicación del ciclo económico con inflación.

Para obtener la ponderación de los costos de cada período que aparece en la ecuación **(5)**:

Costo/Periodo	Material y Pedido	Inventario	Costo total	Costo Ponderado
CT1	2350	43.33	2393.33	2393.33
CT2				
CT3				
CT4	3100	86.67	3186.67	12746.67
CT5		86.67	86.67	433.33
CT6				
CT7	850	43.33	893.33	6253.33
CT8				
CT9	1600		1600.00	14400.00
TOTAL			8160.00	36226.66

Cuadro 20. Ponderación de los costos por período al aplicar el ciclo económico con inflación.

De acuerdo a lo anterior, el costo de aplicar esta política es el siguiente:

$$CT_i = 8160\left(1-\frac{0.375}{9}\right)+\frac{0.375}{9}\left(36226.66+\frac{0.78(50)}{2(9)}60\right)=9334.86$$

2.4 COSTO UNITARIO MÍNIMO.

La técnica del costo unitario mínimo consiste en realizar una serie de iteraciones en las que se calculan los costos asociados con la adquisición o fabricación de un lote equivalente a las necesidades del periodo actual y uno o mas periodos adelantados, seleccionándose el caso en el que se minimiza el costo promedio por unidad.

Tradicionalmente los costos asociados son el costo de pedir o de preparación y el costo de mantener el inventario. En un entorno inflacionario, debe considerarse de manera adicional el ahorro obtenido al adquirir de manera adelantada un insumo debiendo descontarse del precio promedio de cada alternativa.

Para ilustrar el uso de esta técnica, se partirá de la distribución de demanda utilizada en el caso ejemplo:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150

La primera iteración parte del periodo 1 y resulta de la siguiente manera:

Periodo	Nece-sidad	Periodos Inventario	Tamaño del Lote	Costo del Inventario	Costo de Pedir	Ahorro Inflación	Costo Total	Costo Promedio
1	35	0	35	0.00	100.00	0.00	100.00	2.86
2	**10**	**1**	**45**	**43.33**	**100.00**	**20.83**	**122.50**	**2.72**
3	0	2	45	43.33	100.00	20.83	122.50	2.72
4	40	3	85	563.33	100.00	270.83	392.50	4.62

Cuadro 21. Primera iteración del Costo Unitario Mínimo con inflación.

Como se puede observar el costo mínimo se obtiene al adquirir 45 piezas.

La segunda iteración parte del período 4, debiendo actualizarse el costo de pedir y del inventario con la inflación, para arrojar los siguientes resultados:

Periodo	Nece-sidad	Periodos Inventario	Tamaño del Lote	Costo del Inventario	Costo de Pedir	Ahorro Inflación	Costo Total	Costo Promedio
4	**40**	0	**40**	**0.00**	**112.50**	**0.00**	**112.50**	**2.81**
5	0	1	40	0.00	112.50	0.00	112.50	2.81
6	20	2	60	195.00	112.5	83.33	224.17	3.74

Cuadro 22. Segunda iteración del Costo Unitario Mínimo con inflación.

El costo mínimo en esta iteración se obtiene al adquirir 40 piezas.

La tercera iteración parte del período 6 para arrojar los siguientes resultados:

Periodo	Nece-sidad	Periodos Inventario	Tamaño del Lote	Costo del Inventario	Costo de Pedir	Ahorro Inflación	Costo Total	Costo Promedio
6	20	0	20	0.00	120.83	0.00	120.83	6.04
7	**5**	**1**	**25**	**26.18**	**120.83**	**10.42**	**136.59**	**5.46**
8	10	2	35	130.91	120.63	52.09	199.65	5.70

Cuadro 23. Tercera iteración del Costo Unitario Mínimo con inflación.

El costo mínimo en esta iteración se obtiene al adquirir 25 piezas.

La cuarta iteración parte del periodo 8 para arrojar los siguientes resultados:

Periodo	Necesidad	Periodos Inventario	Tamaño del Lote	Costo del Inventario	Costo de Pedir	Ahorro Inflación	Costo Total	Costo Promedio
8	10	0	10	0.00	129.17	0.00	129.17	12.92
9	**30**	**1**	**40**	**167.91**	**129.17**	**62.50**	**234.58**	**5.86**

Cuadro 24. Cuarta iteración del Costo Unitario Mínimo con inflación.

El costo mínimo en la última iteración se obtiene al adquirir 40 piezas.

De esta forma el plan de suministros utilizando la técnica del Costo Unitario Mínimo considerando la inflación, queda de la siguiente manera:

Concepto/Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150
Ordenes Planeadas	45			40		25		40		150
Inventario	10	0	0	0	0	5	0	30	0	45

Cuadro 25. Resultados de la aplicación del Costo Unitario Mínimo con inflación.

Para obtener la ponderación de los costos de cada período que aparece en la ecuación (5):

Costo/Periodo	Material y Pedido	Inventario	Costo total	Costo Ponderado
CT1	2350	43.33	2393.33	2393.33
CT2				
CT3				
CT4	2100		2100.00	8400.00
CT5				
CT6	1350	21.67	1371.67	8230.00
CT7				
CT8	2100	130.00	2230.00	17840.00
CT9				
TOTAL			8095.00	36863.33

Cuadro 26. Ponderación de los costos por período al aplicar Costo Unitario Mínimo con inflación.

De acuerdo a lo anterior, el costo de aplicar esta política es el siguiente:

$$CT_i' = 8095\left(1-\frac{0.375}{9}\right)+\frac{0.375}{9}\left(36863.33+\frac{0.78(50)}{2(9)}45\right)=9297.74$$

2.5 COSTO TOTAL MÍNIMO.

Esta técnica es similar a la del costo unitario mínimo, sólo que aquí se selecciona en cada iteración el tamaño del lote que mejor satisface la condición donde se da el punto óptimo en el modelo del lote económico.

En el caso de un entorno sin inflación el criterio es que el costo de pedir sea igual al costo del inventario pero, como se vió anteriormente, en el lote económico con inflación el punto óptimo se encuentra mas allá de esta condición.

Con objeto de contar con una técnica modificada que considere el efecto inflacionario, se procederá a encontrar una condición que indique, de manera sencilla, cuál es el punto óptimo del lote económico con inflación.

Para esto se parte de la fórmula del costo total con inflación (ecuación (2)):

$$CT_i = \left(\frac{DK}{Q} + DC + \frac{IQC}{2}\right)\left(1 + \frac{i}{2}\right) - \frac{i}{2}(K + QC)$$

Como se puede observar, los valores del costo de pedir y del costo del inventario del modelo tradicional del lote económico aparecen multiplicados por un mismo factor. La relación entre estos costos está dada por:

$$\frac{\frac{ICQ}{2}\left(1+\frac{i}{2}\right)}{\frac{KD}{Q}\left(1+\frac{i}{2}\right)} = \frac{ICQ^2}{2KD}$$

Si se sustituye el valor de Q por el lote económico con inflación se obtiene:

$$\frac{IC}{2KD}\left(\frac{2KD}{C(1-2i/(2+i))}\right)=\frac{1}{1-2i/(2+i)}$$

De acuerdo a lo anterior, el punto óptimo del lote económico con inflación se encuentra cuando los costos del inventario y de pedir sin inflación, guardan una proporción igual a:

$$\frac{1}{1-2i/(2+i)} \qquad (9)$$

Este resultado es una generalización del criterio utilizado tradicionalmente ya que, si la inflación es cero, la proporción resulta igual a uno, es decir, el costo del inventario es igual al costo de pedir.

Luego entonces, la técnica del Costo Total Mínimo con inflación consistirá en una serie de iteraciones en las que se irán generando alternativas hasta llegar a aquel tamaño del lote en que el costo del inventario resulta superior al costo de pedir en una proporción igual o mayor a la señalada, considerando para su cálculo la inflación y el costo del dinero del número de periodos de necesidades que constituyen el lote.

Aplicando esta técnica al caso ejemplo:

Concepto/Periodo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**Total**
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150

La primera iteración parte del periodo 1 y resulta de la siguiente manera:

Periodo	Necesidad	Periodos Inventario	Tamaño del Lote	Costo Inventario ($)	Costo de Pedir	Inflación (%)	Costo Inventario (%)	Proporción Ideal	Proporción Real
1	35	0	35	0.00	100.00	4.17	8.67	1.89	0.00
2	10	1	45	43.33	100.00	8.33	17.53	1.86	0.43
3	0	2	45	43.33	100.00	12.50	26.00	1.83	0.43
4	**40**	**3**	**85**	**563.33**	**100.00**	**16.67**	**34.67**	**1.80**	**5.63**

Cuadro 27. Primera iteración del Costo Total Mínimo con inflación.

El tamaño de lote recomendado es de 85 piezas.

La segunda iteración parte del período 6 y arroja los siguientes resultados:

Periodo	Necesidad	Periodos Inventario	Tamaño del Lote	Costo Inventario ($)	Costo de Pedir	Inflación (%)	Costo Inventario (%)	Proporción Ideal	Proporción Real
6	20	0	20	0.00	100.00	4.17	8.67	1.89	0.00
7	5	1	25	21.67	100.00	8.33	17.53	1.86	0.22
8	10	2	35	108.33	100.00	12.50	26.00	1.83	1.08
9	**30**	**3**	**65**	**498.33**	**100.00**	**16.67**	**34.67**	**1.80**	**4.98**

Cuadro 28. Segunda iteración del Costo Total Mínimo con inflación.

El tamaño de lote recomendado es de 65 piezas.

De esta forma el plan de suministros utilizando la técnica del Costo Total Mínimo considerando la inflación, queda de la siguiente manera:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150
Ordenes Planeadas	65					65				150
Inventario	50	40	40	0	0	45	40	30	0	245

Cuadro 29. Resultado de la aplicación del Costo Total Mínimo.

Para obtener la ponderación de los costos de cada período que aparece en la ecuación (5):

Costo/Periodo	Material y Pedido	Inventario	Costo total	Costo Ponderado
CT1	4350	216.67	4566.67	4566.67
CT2		173.33	173.33	346.67
CT3		173.33	173.33	520.00
CT4				
CT5				
CT6	3350	195.00	3545.00	21270.00
CT7		173.33	173.33	1213.33
CT8		130.00	130.00	1040.00

CT9				
TOTAL			8761.67	28956.67

Cuadro 30. Ponderación de los costos por periodo al aplicar Costo Total Mínimo con inflación.

De acuerdo a lo anterior, el costo de aplicar esta política es el siguiente:

$$CT_i = 8761.67\left(1-\frac{0.375}{9}\right)+\frac{0.375}{9}\left(28956.67+\frac{0.78(50)}{2(9)}245\right) = 9625.25$$

2.6 EL ALGORITMO DE WAGNER-WHITIN.

Este algoritmo está basado en las metodologías de programación dinámica y entera, simplificando el proceso de cálculo para determinar la política óptima en el caso de los modelos de inventario.

Este algoritmo parte de una fórmula que establece la política de costo mínimo para cada periodo:

$$CT_j = \min_{k=j,\ldots,N}\left[CT_{k+1}+K+C\left(D_j+D_{j+1}+\ldots+D_k\right)+\frac{CI}{N}\left(D_{j+1}+2D_{j+2}+\ldots+(k-j)D_k\right)\right]$$

Esta fórmula es aplicada a todos los periodos partiendo del último (con lo que se disminuye substancialmente el número de alternativas a considerar) y al llegar al primer periodo se obtiene la solución.

Para incorporar el efecto de la inflación a esta técnica basta introducir en la fórmula del costo mínimo el factor que actualiza los precios al inicio del periodo analizado:

$$CT_j = \min_{k=j,\dots,N}\left[CT_{k+1} + \left(1+\frac{i}{N}(j-1)\right)\left(K + C\sum_{m=j}^{k} D_m + \frac{CI}{N}\sum_{m=j+1}^{k} D_m(m-j)\right)\right] \qquad (10)$$

A continuación se aplicará esta técnica al caso ejemplo:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150

El costo minimo para el periodo 9 esta dado por:

$$CT_9 = \left(1+\frac{0.375}{9}(8)\right)\left(100+50(30)+\frac{50(0.78)}{9}(0)\right) = 2133.33$$

En el caso del periodo 8 se tienen dos alternativas, cubrir las necesidades del periodo o cubrir también las del periodo 9:

$$CT_8^8 = 2133.33 + \left(1+\frac{0.375}{9}(7)\right)\left(100+50(10)+\frac{50(0.78)}{9}(0)\right) = 2908.33$$

$$CT_8^9 = \left(1+\frac{0.375}{9}(7)\right)\left(100+50(40)+\frac{50(0.78)}{9}(30)\right) = 2880.42$$

El costo minimo partiendo del periodo 8 es 2,880.42

Para el periodo 7 se tiene:

$$CT_7^7 = 2880.42 + \left(1+\frac{0.375}{9}(6)\right)\left(100+50(5)+\frac{50(0.78)}{9}(0)\right) = 3317.82$$

$$CT_7^8 = 2133.33 + \left(1+\frac{0.375}{9}(6)\right)\left(100+50(15)+\frac{50(0.78)}{9}(10)\right) = 3250.00$$

$$CT_7^9 = \left(1+\frac{0.375}{9}(6)\right)\left(100+50(45)+\frac{50(0.78)}{9}(70)\right) = 3316.67$$

El costo minimo partiendo del periodo 7 es 3,250.00

Para el periodo 6 se tiene:

$$CT_6^6 = 3250.00 + \left(1 + \frac{0.375}{9}(5)\right)\left(100 + 50(20) + \frac{50(0.78)}{9}(0)\right) = 4579.17$$

$$CT_6^7 = 2880.42 + \left(1 + \frac{0.375}{9}(5)\right)\left(100 + 50(25) + \frac{50(0.78)}{9}(5)\right) = 4537.85$$

$$CT_6^8 = 2133.33 + \left(1 + \frac{0.375}{9}(5)\right)\left(100 + 50(35) + \frac{50(0.78)}{9}(25)\right) = 4499.65$$

$$CT_6^9 = \left(1 + \frac{0.375}{9}(5)\right)\left(100 + 50(65) + \frac{50(0.78)}{9}(115)\right) = 4650.07$$

El costo mínimo partiendo del período 6 es 4,499.65

Para el período 5 se tiene:

$$CT_5^5 = 4499.65$$

$$CT_5^6 = 3250.00 + \left(1 + \frac{0.375}{9}(4)\right)\left(100 + 50(20) + \frac{50(0.78)}{9}(20)\right) = 4634.44$$

$$CT_5^7 = 2880.42 + \left(1 + \frac{0.375}{9}(4)\right)\left(100 + 50(25) + \frac{50(0.78)}{9}(30)\right) = 4607.09$$

$$CT_5^8 = 2133.33 + \left(1 + \frac{0.375}{9}(4)\right)\left(100 + 50(35) + \frac{50(0.78)}{9}(60)\right) = 4595.00$$

$$CT_5^9 = \left(1 + \frac{0.375}{9}(4)\right)\left(100 + 50(65) + \frac{50(0.78)}{9}(180)\right) = 4818.33$$

El costo mínimo partiendo del período 5 es 4,499.65

Para el período 4 se tiene:

$$CT_4^4 = 4499.65 + \left(1 + \frac{0.375}{9}(3)\right)\left(100 + 50(40) + \frac{50(0.78)}{9}(0)\right) = 6862.15$$

$$CT_4^5 = 4499.65 + \left(1 + \frac{0.375}{9}(3)\right)\left(100 + 50(40) + \frac{50(0.78)}{9}(0)\right) = 6862.15$$

$$CT_4^6 = 3250.00 + \left(1 + \frac{0.375}{9}(3)\right)\left(100 + 50(60) + \frac{50(0.78)}{9}(40)\right) = 6932.50$$

$$CT_4^7 = 2880.42 + \left(1 + \frac{0.375}{9}(3)\right)\left(100 + 50(65) + \frac{50(0.78)}{9}(55)\right) = 6917.30$$

$$CT_4^8 = 2133.33 + \left(1 + \frac{0.375}{9}(3)\right)\left(100 + 50(75) + \frac{50(0.78)}{9}(95)\right) = 6927.71$$

$$CT_4^9 = \left(1 + \frac{0.375}{9}(3)\right)\left(100 + 50(105) + \frac{50(0.78)}{9}(245)\right) = 7213.13$$

El costo minimo partiendo del período 4 es 6,862.15

Para el período 3 se tiene:

$$CT_3^3 = 6862.15$$

$$CT_3^4 = 4499.65+\left(1+\frac{0.375}{9}(2)\right)\left(100+50(40)+\frac{50(0.78)}{9}(40)\right)=6962.43$$

$$CT_3^5 = 4499.65+\left(1+\frac{0.375}{9}(2)\right)\left(100+50(40)+\frac{50(0.78)}{9}(40)\right)=6962.43$$

$$CT_3^6 = 3250.00+\left(1+\frac{0.375}{9}(2)\right)\left(100+50(60)+\frac{50(0.78)}{9}(100)\right)=7077.78$$

$$CT_3^7 = 2880.42+\left(1+\frac{0.375}{9}(2)\right)\left(100+50(65)+\frac{50(0.78)}{9}(120)\right)=7072.92$$

$$CT_3^8 = 2133.33+\left(1+\frac{0.375}{9}(2)\right)\left(100+50(75)+\frac{50(0.78)}{9}(170)\right)=7102.22$$

$$CT_1^9 = \left(1+\frac{0.375}{9}(2)\right)\left(100+50(105)+\frac{50(0.78)}{9}(350)\right)=7438.89$$

El costo minimo partiendo del período 3 es 6,862.15

Para el período 2 se tiene:

$$CT_2^2 = 6862.15+\left(1+\frac{0.375}{9}\right)\left(100+50(10)+\frac{50(0.78)}{9}(0)\right)=7487.15$$

$$CT_2^3 = 6862.15+\left(1+\frac{0.375}{9}\right)\left(100+50(10)+\frac{50(0.78)}{9}(0)\right)=7487.15$$

$$CT_2^4 = 4499.65+\left(1+\frac{0.375}{9}\right)\left(100+50(50)+\frac{50(0.78)}{9}(80)\right)=7569.09$$

$$CT_2^5 = 4499.65+\left(1+\frac{0.375}{9}\right)\left(100+50(50)+\frac{50(0.78)}{9}(80)\right)=7569.09$$

$$CT_2^6 = 3250.00+\left(1+\frac{0.375}{9}\right)\left(100+50(70)+\frac{50(0.78)}{9}(160)\right)=7722.22$$

$$CT_2^7 = 2880.42+\left(1+\frac{0.375}{9}\right)\left(100+50(75)+\frac{50(0.78)}{9}(185)\right)=7725.91$$

$$CT_2^8 = 2133.33+\left(1+\frac{0.375}{9}\right)\left(100+50(85)+\frac{50(0.78)}{9}(245)\right)=7770.48$$

$$CT_2^9 = \left(1+\frac{0.375}{9}\right)\left(100+50(115)+\frac{50(0.78)}{9}(455)\right)=8147.57$$

El costo mínimo partiendo del periodo 2 es 7487.15

Finalmente, para el periodo 1 se tiene:

$$CT_1^1 = 7487.15 + \left(100 + 50(35) + \frac{50(0.78)}{9}(0)\right) = 9337.15$$

$$CT_1^2 = 6862.15 + \left(100 + 50(45) + \frac{50(0.78)}{9}(10)\right) = 9255.48$$

$$CT_1^3 = 6862.15 + \left(100 + 50(45) + \frac{50(0.78)}{9}(10)\right) = 9255.48$$

$$CT_1^4 = 4499.65 + \left(100 + 50(85) + \frac{50(0.78)}{9}(130)\right) = 9412.98$$

$$CT_1^5 = 4499.65 + \left(100 + 50(85) + \frac{50(0.78)}{9}(130)\right) = 9412.98$$

$$CT_1^6 = 3250.00 + \left(100 + 50(105) + \frac{50(0.78)}{9}(230)\right) = 9596.67$$

$$CT_1^7 = 2880.42 + \left(100 + 50(110) + \frac{50(0.78)}{9}(260)\right) = 9607.09$$

$$CT_1^8 = 2133.33 + \left(100 + 50(120) + \frac{50(0.78)}{9}(330)\right) = 9663.33$$

$$CT_1^9 = \left(100 + 50(150) + \frac{50(0.78)}{9}(570)\right) = 10070.00$$

El costo mínimo del horizonte de planeación es de 9,255.48 y, siguiendo la secuencia que genera dicho costo, se obtiene el siguiente plan de suministros:

Concepto/Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Necesidades Netas	35	10		40		20	5	10	30	150
Ordenes Planeadas	45			40		35			30	150
Inventario	10	0	0	0	0	15	10	0	0	35

Cuadro 31. Resultado de la aplicación del algoritmo de Wagner-Whitin con inflación.

2.7 EVALUACIÓN ANTE DISTINTOS ESCENARIOS

Como se vió en el capítulo anterior, la sensibilidad de los modelos de inventario ante la inflación depende principalmente de la distribución de las órdenes o pedidos a lo largo del horizonte de planeación. Por lo anterior, resulta de vital importancia el evaluar el comportamiento de cada una de las técnicas que consideran la inflación a fin de determinar cuáles de ellas (y bajo qué circunstancias) generan los mejores resultados.

Esta evaluación fue llevada a cabo a través de la simulación en computadora de doscientos cincuenta distribuciones de demanda del caso utilizado como ejemplo hasta el momento así como la utilización de diferentes escenarios en los que varían los costos y la inflación.

Los escenarios fueron obtenidos a través de dos factores seleccionados para proporcionar la mayor generalidad posible a las simulaciones: la relación entre el costo de pedir y el costo unitario y el factor del modelo del lote económico con inflación que relaciona el costo del inventario y la inflación.

Para determinar los rangos de variación de estos factores se calcularon las condiciones extremas, es decir, aquellos casos en que los suministros deben realizarse en el periodo y cantidad señalados por el programa de necesidades sin manejar inventarios (lote por lote) y aquéllos en los que los suministros deben realizarse en un solo lote al inicio del horizonte de planeación.

Bajo estas circunstancias no es necesario efectuar cálculo alguno ya que el costo óptimo está plenamente identificado.

El cálculo de estos extremos se realizó utilizando para ello la fórmula del Ciclo Económico de Pedido con inflación (ecuación **(8)**):

$$POQ = \sqrt{\frac{2K}{CD\left(I - 2i/(2+i)\right)}}N$$

El primer caso de no manejar inventarios se presenta cuando el Ciclo Económico de Pedido es menor o igual a 1:

$$\sqrt{\frac{2K}{CD\left(I - 2i/(2+i)\right)}}n \leq 1$$

De donde la condición expresada con los factores seleccionados para la simulación resulta ser:

$$\frac{K}{C} \leq \frac{D}{2n^2}\left(I - \frac{2i}{2+i}\right) \qquad \textbf{(11)}$$

El segundo caso extremo se presenta cuando el Ciclo Económico de Pedido es mayor o igual al número de periodos del horizonte de planeación:

$$\sqrt{\frac{2K}{CD\left(I - 2i/(2+i)\right)}}n \geq n$$

La condición expresada con los factores seleccionados para la simulación es:

$$\frac{K}{C} \geq \frac{D}{2}\left(1 - \frac{2i}{2+i}\right) \qquad (12)$$

Por lo tanto, el rango de variación de la relación *K/C* será:

$$\frac{D}{2n^2}\left(1 - \frac{2i}{2+i}\right) < \frac{K}{C} < \frac{D}{2}\left(1 - \frac{2i}{2+i}\right) \qquad (13)$$

El rango definido se dividió en diez segmentos iguales con lo que se obtienen diez escenarios. En lo que se refiere al segundo factor $1-2i/(2+i)$, se hizo variar de 0.1 a 1.0 generando diez alternativas también.

Efectuando las combinaciones correspondientes, se obtienen los diferentes valores de *K/C* a utilizar:

$1-2i/(2+i)$	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 5	Esc. 6	Esc. 7	Esc. 8	Esc. 9	Esc. 10
0.1	0.0926	0.8333	1.6667	2.5000	3.3333	4.1667	5.0000	5.8333	6.6667	7.5000
0.2	0.1852	1.6667	3.3333	5.0000	6.6667	8.3333	10.0000	11.6667	13.3333	15.0000
0.3	0.2778	2.5000	5.0000	7.5000	10.0000	12.5000	15.0000	17.5000	20.0000	22.5000
0.4	0.3704	3.3333	6.6667	10.0000	13.3333	16.6667	20.0000	23.3333	26.6667	30.0000
0.5	0.4630	4.1667	8.3333	12.5000	16.6667	20.8333	25.0000	29.1667	33.3333	37.5000
0.6	0.5556	5.0000	10.0000	15.0000	20.0000	25.0000	30.0000	35.0000	40.0000	45.0000
0.7	0.6481	5.8333	11.6667	17.5000	23.3333	29.1667	35.0000	40.8333	46.6667	52.5000
0.8	0.7407	6.6667	13.3333	20.0000	26.6667	33.3333	40.0000	46.6667	53.3333	60.0000
0.9	0.8333	7.5000	15.0000	22.5000	30.0000	37.5000	45.0000	52.5000	60.0000	67.5000
1.0	0.9259	8.3333	16.6667	25.0000	33.3333	41.6667	50.0000	58.3333	66.6667	75.0000

Cuadro 32. Escenarios utilizados para la simulación.

De esta forma se utilizaron cien escenarios diferentes que, aplicados a las doscientas cincuenta distribuciones de demanda, generaron 25,000 simulaciones.

A cada una de las simulaciones le fueron aplicadas las técnicas obtenidas en este capítulo y se obtuvo el promedio de costo anual arrojado por cada una de ellas en cada escenario.

El primer resultado obtenido se refiere a la inconveniencia de utilizar la técnica del lote económico en casos de demanda variable ya que, al fijarse el tamaño del lote, existe una alta probabilidad de desabasto si se concentra en cierto número de periodos una demanda que no pueda ser satisfecha con el ritmo de abasto impuesto por dicho lote.

Aún pudiendo ser satisfecha la demanda a lo largo del horizonte de planeación, el nivel promedio de inventario será substancialmente superior al de otras técnicas pues, para satisfacer la demanda de un periodo que sea superior al tamaño del lote, el modelo propone la adquisición en el último periodo en que no haya sido efectuado pedido alguno.

Esto implica que, salvo que la demanda máxima por periodo sea menor o igual al tamaño del lote económico, utilizar esta técnica en un sistema requiere la constante revisión y ajuste de los resultados, lo que disminuye su confiabilidad. (En 8,000 distribuciones de demanda del caso ejemplo, la técnica del lote económico arroja un 23% de casos con desabasto en uno o más períodos)

En lo que se refiere a las otras técnicas consideradas (Ciclo Económico de Pedido, Costo Unitario Mínimo, Costo Total Mínimo y Algoritmo de Wagner-Whitin), son aplicables en todos los casos al no depender de la distribución de la demanda.

Como resultado de la simulación, se seleccionó en cada escenario la técnica que arrojó el menor costo promedio y, en caso de empate, se seleccionó la técnica más eficiente.[1] Adicionalmente, en los casos en que resultó la mejor técnica el Algoritmo de Wagner-Whitin se presenta una segunda alternativa en virtud de que dicho algoritmo duplica el tiempo de proceso, por lo que en un sistema de cómputo debe ponderarse la precisión del resultado con el tiempo de respuesta.

En el cuadro 32 se presenta un resumen con la técnica más conveniente en cada escenario para lo cual se utiliza la siguiente notación:

POQ - Ciclo Económico de Pedido.

LUC - Costo Unitario Mínimo.

LTC - Costo Total Mínimo.

WW - Algoritmo de Wagner-Whitin.

---

[1] En el apéndice A se presenta el detalle de los resultados de la simulación.

	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 5	Esc. 6	Esc. 7	Esc. 8	Esc. 9	Esc. 10
0.1	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW POQ
0.2	POQ	LTC	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW LTC	WW LTC	WW POQ
0.3	POQ	LTC	LUC	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW POQ
0.4	WW POQ	LUC	POQ	WW LTC	WW POQ	WW LUC	LUC	LUC	LUC	POQ
0.5	WW POQ	WW POQ	WW LUC	WW LTC	WW POQ	WW POQ	WW POQ	WW POQ	POQ	POQ
0.6	WW POQ	WW POQ	WW LUC	WW LUC	WW POQ	WW POQ	WW POQ	WW POQ	WW POQ	POQ
0.7	WW POQ	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW POQ	WW POQ	WW POQ	WW POQ	WW POQ	POQ
0.8	WW POQ	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW POQ	WW POQ	WW POQ	WW POQ	WW POQ	POQ
1.0	WW POQ	WW LUC	WW LUC	WW LUC	WW POQ	WW POQ	WW POQ	WW POQ	WW POQ	POQ

Cuadro 32. Resultados de la simulación.

Como se puede observar, en la mayor parte de los casos el Algoritmo de Wagner-Whitin garantiza los mejores resultados por ser la técnica más formalmente estructurada.

Para valores de $I-2i/(2+i)$ mayores o iguales a 0.5, la técnica mas eficiente después de la de Wagner-Whitin es el Ciclo Económico de Pedido, resultado interesante si se considera que esta técnica es la más intuitiva de todas.

Por otra parte, para valores de $I-2i/(2+i)$ menores a 0.5, la técnica más recomendable después del Algoritmo Wagner-Whitin es la del Costo Unitario Mínimo.

Aunque estos patrones dan una idea general de cuáles son las técnicas que más conviene utilizar, no constituyen una regla de decisión ya que existen rangos de valores para los cuales la mejor técnica varia sin un patrón definido, por lo que en la práctica deben efectuarse simulaciones del caso bajo estudio para soportar la elección de una técnica determinada.

CAPÍTULO 3

MRP CON INFLACIÓN.

3.1 INTRODUCCIÓN.

La incorporación de los efectos de la inflación a los sistemas MRP a través de la determinación del tamaño del lote, permite dar una mayor confiabilidad a los resultados y recomendaciones de esta herramienta. Siendo el objetivo principal de estos sistemas el proporcionar guías para la planeación de las operaciones y la asignación de recursos en orden al cumplimiento de un programa de producción, resulta de capital importancia para obtener el máximo beneficio de ellos el tratar de considerar el mayor número posible de variables operativas y de entorno en su funcionamiento.

Existen, sin embargo, varios factores que deben ser analizados para la utilización exitosa de las técnicas para la determinación del tamaño del lote con inflación. Como cualquier herramienta basada en un modelo teórico, los algoritmos y metodologías desarrollados analizan la relación entre las variables que determinan el comportamiento de un sistema bajo estudio. La selección de los valores de dichas variables para su aplicación práctica en un caso concreto es, sin duda alguna, el aspecto más importante de su implementación junto con el conocimiento pleno de los supuestos y restricciones del modelo utilizado.

A continuación se procederá a analizar los factores que se considera resultan más importantes para la aplicación práctica de un sistema MRP que considere el efecto inflacionario.

3.2 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PRECIOS.

El índice de precios a utilizar para un producto o insumo determinado debe ser lo más específico posible y su proyección debe estar basada lo menos posible en el pronóstico estadístico.

Las técnicas estadísticas, con toda la sofisticación que puedan tener, parten del supuesto de que el futuro se comportará como el pasado sin tomar en cuenta eventos y expectativas imposibles de incorporar en un modelo matemático.

De ahí que la primera fuente de información debe ser interna o directamente del proveedor, según el material de que se trate, a través de políticas de precios o incrementos ya establecidas, compromisos contractuales, etc.

En caso de no contar con esta información, se debe acudir a publicaciones y/o instituciones especializadas en busca de pronósticos que seguramente están basados en el comportamiento estadístico pero que también incorporan variables y expectativas cualitativas. En este caso permanece el criterio de seleccionar el índice más específico posible al insumo que analizamos.

En un caso de total imposibilidad de obtener información (que debe ser excepcional) se utilizarán índices generales como el Índice Nacional de Precios al Productor, jamás el Índice Nacional de Precios al Consumidor.

Asimismo debe definirse una política clara de actualización de índices basada en el principio de evitar reprocesos innecesarios del sistema, por lo que dicha actualización debe efectuarse cuando se presenten cambios relevantes en las tendencias o magnitud del índice de precios.

En lo que se refiere al comportamiento del índice en el tiempo, sólo las técnicas del Lote Económico y Ciclo Económico de Pedido están basadas en un comportamiento lineal de la inflación, por lo que el índice a utilizar es el acumulado en todo el horizonte de planeación. En los otros casos, puede y resulta más conveniente introducir el uso de índices por periodo, de acuerdo a la definición de la unidad de tiempo en el programa de producción.

3.3 COSTO DE PREPARACIÓN O DE PEDIR.

Los costos de pedir o de preparación están constituidos por todos aquellos costos relacionados con la preparación de las órdenes de compra o los procesos requeridos para iniciar la fabricación de un lote como son:

a) Costos administrativos derivados de la preparación de requisiciones u órdenes de compra, recibir documentación de materiales comprados, etc. Es una práctica común el involucrar en este concepto todos los costos asociados al área de adquisiciones. En lo que se refiere a los productos manufacturados, se consideran en este rubro los costos asociados con la preparación de las órdenes de trabajo y el control de los trabajos en proceso.

b) Costos asociados con el cambio de maquinaria y herramientas así como la preparación de estaciones de trabajo.

c) Costos asociados con la inspección, pruebas y desperdicios derivados de la preparación del equipo.

Estos costos rara vez pueden ser determinados a partir de los registros contables tradicionales, por lo que deben ser preparados específicamente para cada una de las operaciones de la empresa.

Es importante que en este estudio se consideren únicamente los costos efectivamente desembolsados y que no son afectados por una decisión de cuánto comprar o producir.

Un supuesto importante en el modelo del lote económico con inflación es que el índice de precios afecta por igual al costo unitario del insumo y al costo de pedir. Sin embargo, resulta bastante sencillo introducir tasas de inflación independientes, con lo que lote óptimo de compra se expresa mediante la fórmula:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DK}{C\left(\frac{I(2+i_c)}{2+i_k} - \frac{2i_c}{2+i_k}\right)}} \qquad (14)$$

Donde i_c es el índice de precios del producto e i_k el índice correspondiente al costo de pedir.

De igual forma los otros algoritmos estudiados pueden ser fácilmente adaptados al uso de dos tasas de inflación. La conveniencia de sofisticar de esta manera las herramientas debe ser determinada sopesando la dificultad de obtener los índices con los beneficios esperados de su utilización.

3.4 COSTO DE MANTENER EL INVENTARIO.

Tradicionalmente el costo de mantener el inventario incluye algunos de los siguientes conceptos:

a) Costos de almacenamiento incluyendo espacios, equipo, energía, personal, etc.

b) Costos administrativos derivados del control y registro del inventario.

c) Impuestos y Seguros asociados con el inventario.

d) Deterioro del material como resultado de almacenamiento prolongado y manipulación.

e) Costos de obsolescencia derivados de baja rotación del inventario.

f) Costo de Capital o Costo Financiero expresado como el interés esperado en inversiones alternativas al mantenimiento del inventario.

Al igual que el costo de preparación o de pedir, el costo de mantener el inventario debe ser calculado específicamente para cada producto. Los costos operativos y de administración son determinados a través de un análisis de costos y la definición clara de criterios de prorrateo, mientras que los costos de deterioro, obsolescencia y financieros son mas bien magnitudes que se estiman con base en las características del producto y a través de políticas que reflejen los objetivos de la administración de la empresa en lo que se refiere a las inversiones en inventarios.

La magnitud de este costo, normalmente expresado como una fracción decimal del valor del inventario, varía substancialmente de un caso a otro y no existen reglas para señalar cuál o cuáles de los conceptos que lo integran son los más importantes. Esto depende directamente del producto y la empresa de que se trate.

En un entorno inflacionario el elemento más afectado es el costo financiero en virtud de que el costo del dinero se incrementa de manera inmediata y proporcional a los índices generales de precios, las tasas de interés, etc., pudiendo llegar a ser el componente más significativo del costo de mantener el inventario.

Debido a lo anterior, el componente de costo financiero debe ser actualizado con tanta periodicidad como lo exija la inestabilidad del entorno económico y no de manera anual como se hace normalmente en una situación de baja inflación.

3.5 SELECCIÓN DE LA TÉCNICA ADECUADA.

La selección de la técnica adecuada para la determinación del tamaño del lote es un aspecto que influye directamente en la razonabilidad de los resultados del sistema y, por tanto, en la confiabilidad del mismo.

En la medida en que el usuario debe ajustar la programación de suministros propuesta por el sistema MRP debido a la invalidez de los resultados o a que los inventarios proyectados se incrementan irracionalmente decae la confianza en su utilización, pudiendo llegar hasta desecharse el sistema por esta razón.

Para seleccionar la técnica adecuada debe darse respuesta a dos preguntas: ¿El comportamiento de la demanda es lo suficientemente constante para aplicar el lote económico?, ¿Cuál de todos los algoritmos disponibles es el que dará los mejores resultados?

Estas preguntas deben responderse por cada uno de los productos y componentes a incluir en el sistema MRP. Aunque esto implica una considerable carga de trabajo, debe tomarse en cuenta que el análisis sólo se efectúa una vez al inicio del horizonte total de planeación del sistema, es decir, si nuestro sistema cubre un año de operaciones, la revisión debe efectuarse anualmente. Además, los beneficios obtenidos compensarán con creces el esfuerzo realizado.

Como se vió en el capítulo anterior, la técnica del lote económico con inflación sólo puede ser utilizada cuando la demanda máxima en un período es menor o igual al tamaño del lote óptimo para garantizar una solución viable y no incrementar demasiado los inventarios. Este criterio resulta importante debido a que el resto de las técnicas buscan cubrir exactamente las necesidades sin generar remanentes; además, si se cumple, la técnica del lote económico tiene la ventaja de uniformar los requerimientos de materia prima y componentes a los largo del horizonte de planeación.

Los criterios a tomar en cuenta para guiar la selección de una técnica en particular son básicamente los siguientes:

a) Que minimice el costo total del horizonte de planeación.

b) Que la distribución de los requerimientos a lo largo del horizonte de planeación sea congruente con la capacidad de respuesta interna en el caso de componentes, y del proveedor en el caso de materiales comprados.

c) Que el algoritmo sea lo suficientemente rápido para no disminuir el tiempo de respuesta del sistema.

La asignación de un peso específico a cada uno de estos criterios dependerá de las circunstancias y características de cada caso en particular.

3.6 FACTORES QUE AFECTAN EL TAMAÑO DEL LOTE.

Las cantidades a ordenar determinadas por cualquiera de las técnicas para el cálculo del tamaño del lote están sujetas a algunas restricciones prácticas como las siguientes:

- Máximos y mínimos aceptables en una orden.
- Porcentajes de desperdicios y mermas.
- Múltiplos requeridos en la cantidad ordenada.
- Factores de corte o utilización de materia prima.

Las cantidades mínimas a ordenar se derivan de las características del proceso productivo en el caso de componentes y del proveedor en el caso de materiales comprados. Los topes máximos por otra parte, son normalmente impuestos por políticas de la administración de la empresa.

Los factores de desperdicio y mermas son utilizados para compensar pérdidas esperadas en el proceso de producción y para reflejar los niveles de calidad del componente o materia prima mostrados en las estadísticas de control de calidad.

La manera correcta de utilizar los factores de desperdicio y merma en un sistema MRP es aplicándolos al tamaño del lote, de esta forma sólo se consideran una sola vez hasta que efectivamente se utiliza la reserva creada. Debe evitarse la práctica de acumular estos factores a las necesidades del programa de producción, ya que así se ordenan cantidades adicionales en cada periodo y se tiene un efecto acumulativo en las necesidades de componentes con lo que se elevan en general los niveles de inventario.

En el caso de que existan múltiplos fijos para pedir o factores de corte o utilización de materia prima, el tamaño del lote deberá ajustarse hacia arriba para alcanzar el siguiente múltiplo válido.

En caso de que varios de los factores mencionados afecten el tamaño del lote al mismo tiempo, deben aplicarse de manera consecutiva en el orden en que se han mencionado: primero máximos y/o mínimos, después porcentajes de desperdicios y mermas y al final, los múltiplos y factores de corte.

El tamaño del lote ajustado puede llegar a variar substancialmente con relación al obtenido por cualquiera de los algoritmos desarrollados en este trabajo. Esta situación no disminuye en ningún momento las ventajas de su utilización ya que se parte de una cantidad que es óptima en las circunstancias del caso para de ahí incrementar el valor obtenido y ,observando el comportamiento del modelo del lote económico con inflación, se concluye que la función de costo es menos sensible a incrementos al valor óptimo que a decrementos del mismo.

CONCLUSIONES

Las técnicas para la determinación del tamaño del lote con inflación permiten llevar a cabo un proceso de planeación y control de la producción más completo y eficiente al incorporar los efectos del incremento en los costos de los insumos a la determinación de los planes de producción y abastecimiento.

Como se ha visto, la utilización de las técnicas tradicionales en un entorno inflacionario conducen a una subestimación del costo de los insumos directamente proporcional al índice inflacionario, además de que en ningún caso se tiene la certeza de obtener una política óptima. Esto trae como consecuencia el establecimiento de metas y programas cuyos resultados no serán los esperados, con lo que se genera una baja sensible en la confiabilidad de los sistemas.

El modelo del lote económico con inflación presenta dos diferencias fundamentales con el modelo tradicional, siendo la primera que el costo óptimo no se encuentra en el punto donde el costo del inventario iguala al costo de pedir, sino que se encuentra donde la relación entre estos costos es igual al factor que señala la ecuación (9):

$$\frac{I}{I-2i/(2+i)}$$

La segunda diferencia fundamental es que el factor de costo financiero I es sustituido en la fórmula del lote económico por un factor equivalente igual a:

$$I-\frac{2i}{2+i}$$

Lo anterior indica que el modelo del lote económico con inflación incrementa el tamaño del lote con relación al del modelo tradicional al compensar el alto costo financiero con el potencial ahorro de anticipar los suministros.

Estas diferencias tienen un impacto directo en la incorporación de la inflación a dos de las técnicas analizadas, en virtud de que el Ciclo Económico de Pedido y el Costo Total Mínimo parten directamente del modelo del lote económico.

En el caso de las técnicas del Costo Unitario Mínimo y el Algoritmo de Wagner-Whitin, el efecto inflacionario es introducido al ampliar la fórmula fundamental del costo por periodo para actualizar los precios al inicio de dicho periodo.

Las técnicas del Costo Unitario Mínimo, Costo Total Mínimo y el Algoritmo de Wagner-Whitin consideran la inflación por periodo, lo que permite manejar cualquier comportamiento del índice de precios.

En el caso del Lote Económico y el Ciclo Económico de Pedido, se asume un comportamiento lineal de la inflación. Esta premisa no constituye una debilidad ya que se hizo el ejercicio de considerar una distribución exponencial de la inflación, con lo que se obtiene que el lote económico esta dado por la fórmula:

$$K + CQ + \frac{ICQ^2}{2D} = \frac{C(D + IQ)}{\ln(1+i)}\left(1 - e^{-\frac{Q}{D}\ln(1+i)}\right) \qquad \textbf{(15)}$$

Después de efectuar algunas simulaciones, se observa que la variación en los costos obtenidos por las dos alternativas de distribución de la inflación es menor al 0.1%, lo que indica que para fines prácticos puede asumirse un comportamiento lineal con los mismos resultados y una mayor facilidad de uso.

Cabe aclarar en este punto que la incorporación de indices de precios diferentes para el costo de pedir y el costo del insumo puede hacerse fácilmente partiendo, en el caso del lote económico, de la ecuación **(14)**:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DK}{C\left(\frac{I(2+i_c)}{2+i_k} - \frac{2i_c}{2+i_k}\right)}}$$

En el caso de las otras técnicas, puede ampliarse la fórmula fundamental para actualizar los precios con dos índices diferentes, sin que esto implique una labor de cálculo adicional.

En lo que se refiere al desempeño de las diferentes técnicas se concluyen dos situaciones: primero, el proceso de selección de una técnica adecuada resulta trivial en caso de no cumplirse la siguiente igualdad **(13)**:

$$\frac{D}{2n^2}\left(1-\frac{2i}{2+i}\right)<\frac{K}{C}<\frac{D}{2}\left(1-\frac{2i}{2+i}\right)$$

Para valores de K/C menores al señalado no deberán manejarse inventarios; para valores mayores al rango establecido, se deberán adquirir todos los insumos al inicio del horizonte de planeación.

Dentro del rango señalado por la igualdad anterior, la mejor forma de decidir la técnica a utilizar es a través de la simulación, con la restricción de que la técnica del Lote Económico conviene utilizarla sólo en aquellos casos en que la demanda máxima por periodo es menor al lote económico.

Finalmente, la utilización del tamaño del lote generado por cualquiera de las técnicas analizadas en un sistema MRP puede ser llevada a cabo exitosamente a través del ajuste de dicho lote por factores de índole operativa como máximos y mínimos, mermas, desperdicios, múltiplos o factores de corte, sin que esto traiga un impacto substancial en los costos debido a la baja sensibilidad de la función de costo alrededor del punto mínimo. De esta forma pueden obtenerse programas de producción y suministro que, no sólo ayudarán a mejorar la eficacia y eficiencia del sistema productivo, sino que minimizarán el efecto inflacionario mejorando así también el resultado financiero

Apéndice A

Planeación de Materiales en un Entorno Inflacionario.
Resultado de la Simulación de los métodos que consideran la inflación.

Relación P/C	I-2i/(2+i)	Ciclo Económico	Costo Unitario Min.	Costo Total Mínimo	Algoritmo Wagner-Within
0.0926	0.10	12,547.47	12,229.51	12,229.51	12,099.52
0.8333	0.10	12,590.90	12,268.92	12,268.92	12,136.56
1.6667	0.10	12,565.09	12,313.25	12,313.25	12,178.22
2.5000	0.10	12,542.16	12,357.59	12,357.59	12,219.89
3.3333	0.10	12,507.82	12,401.92	12,401.92	12,261.56
4.1667	0.10	12,487.30	12,446.25	12,446.25	12,303.22
5.0000	0.10	12,540.86	12,490.59	12,490.59	12,344.89
5.8333	0.10	12,545.32	12,534.92	12,534.92	12,386.56
6.6667	0.10	12,591.29	12,579.25	12,579.25	12,428.22
7.5000	0.10	12,623.59	12,623.59	12,623.59	12,469.89
0.1852	0.20	11,660.73	11,842.22	11,685.09	11,819.21
1.6667	0.20	12,006.04	11,934.48	11,888.38	11,893.28
3.3333	0.20	12,158.42	12,030.28	12,062.48	11,976.62
5.0000	0.20	12,304.25	12,124.35	12,184.49	12,059.95
6.6667	0.20	12,352.17	12,212.02	12,275.78	12,143.28
8.3333	0.20	12,361.56	12,299.70	12,327.87	12,226.62
10.0000	0.20	12,465.70	12,387.38	12,391.52	12,309.95
11.6667	0.20	12,492.46	12,475.06	12,475.06	12,393.28
13.3333	0.20	12,583.05	12,562.74	12,562.74	12,476.62
15.0000	0.20	12,650.42	12,650.42	12,650.42	12,559.95
0.2778	0.30	10,911.11	11,411.01	11,169.50	11,582.74
2.5000	0.30	11,515.82	11,638.91	11,482.27	11,693.85
5.0000	0.30	11,822.04	11,796.50	11,819.90	11,818.85
7.5000	0.30	12,114.20	11,957.77	12,068.71	11,943.85
10.0000	0.30	12,238.93	12,077.32	12,224.81	12,068.85
12.5000	0.30	12,282.60	12,205.25	12,340.59	12,193.85
15.0000	0.30	12,435.01	12,335.51	12,423.55	12,318.85
17.5000	0.30	12,488.54	12,465.78	12,496.10	12,443.85
20.0000	0.30	12,622.71	12,596.04	12,603.51	12,568.85
22.5000	0.30	12,726.31	12,726.31	12,726.31	12,693.85
0.3704	0.40	10,269.21	10,301.35	10,535.74	10,263.56
3.3333	0.40	11,099.97	11,087.63	11,116.63	11,307.93
6.6667	0.40	11,540.91	11,632.36	11,559.96	11,695.52
10.0000	0.40	11,961.74	12,040.35	11,957.02	11,862.19
13.3333	0.40	12,159.02	12,201.16	12,210.18	12,028.86
16.6667	0.40	12,240.37	12,200.32	12,377.57	12,195.52
20.0000	0.40	12,439.26	12,330.57	12,475.08	12,362.19
23.3333	0.40	12,523.06	12,496.22	12,605.12	12,528.86

Apéndice A

Planeación de Materiales en un Entorno Inflacionario.
Resultado de la Simulación de los métodos que consideran la inflación.

Relación P/C	I-2i/(2+i)	Ciclo Económico	Costo Unitario Min.	Costo Total Mínimo	Algoritmo Wagner-Within
26.6667	0.40	12,700.01	12,668.48	12,694.80	12,695.52
30.0000	0.40	12,840.73	12,840.73	12,850.84	12,862.19
0.4630	0.50	9,713.49	9,742.25	10,033.79	9,707.63
4.1667	0.50	10,743.61	10,765.33	10,784.13	10,550.76
8.3333	0.50	11,303.97	11,255.64	11,336.33	11,193.49
12.5000	0.50	11,839.35	11,852.64	11,818.61	11,662.82
16.6667	0.50	12,105.75	12,470.61	12,187.39	11,920.00
20.8333	0.50	12,227.54	12,823.50	12,402.46	12,145.56
25.0000	0.50	12,471.46	12,920.44	12,556.24	12,364.94
29.1667	0.50	12,588.34	13,007.03	12,697.92	12,582.65
33.3333	0.50	12,807.42	12,970.06	12,837.59	12,812.22
37.5000	0.50	12,985.99	12,997.37	12,997.37	13,033.40
0.5556	0.60	9,227.80	9,255.31	9,560.63	9,221.68
5.0000	0.60	10,435.59	10,436.84	10,486.93	10,171.32
10.0000	0.60	11,102.93	11,055.02	11,138.67	10,848.27
15.0000	0.60	11,741.40	11,667.20	11,721.58	11,380.58
20.0000	0.60	12,074.15	12,363.84	12,179.13	11,814.25
25.0000	0.60	12,238.60	12,997.19	12,475.78	12,120.52
30.0000	0.60	12,526.37	13,323.97	12,649.65	12,391.63
35.0000	0.60	12,678.62	13,430.26	12,809.10	12,646.52
40.0000	0.60	12,939.28	13,609.57	12,982.30	12,901.41
45.0000	0.60	13,156.30	13,698.61	13,180.37	13,156.30
0.6481	0.70	8,799.77	8,830.17	9,180.17	8,793.15
5.8333	0.70	10,167.38	10,160.05	10,220.75	9,856.79
11.6667	0.70	10,931.46	10,879.58	10,954.73	10,614.08
17.5000	0.70	11,663.58	11,522.79	11,624.50	11,207.14
23.3333	0.70	12,060.38	12,307.48	12,176.82	11,698.81
29.1667	0.70	12,269.32	13,023.80	12,537.44	12,102.30
35.0000	0.70	12,599.99	13,577.81	12,747.24	12,448.25
40.8333	0.70	12,789.48	13,817.42	12,935.41	12,753.19
46.6667	0.70	13,091.30	13,958.11	13,159.15	13,051.54
52.5000	0.70	13,347.24	14,154.70	13,372.68	13,347.24
0.7407	0.80	8,419.80	8,453.73	8,842.37	8,412.76
6.6667	0.80	9,932.35	9,910.84	9,993.38	9,582.97
13.3333	0.80	10,784.63	10,740.69	10,803.73	10,418.22
20.0000	0.80	11,602.52	11,429.45	11,551.49	11,079.10
26.6667	0.80	12,061.47	12,258.57	12,162.74	11,627.42
33.3333	0.80	12,316.43	13,073.42	12,591.44	12,103.98

Apéndice A

Planeación de Materiales en un Entorno Inflacionario.
Resultado de la Simulación de los métodos que consideran la inflación.

Relación P/C	I-2i/(2+i)	Ciclo Económico	Costo Unitario Min.	Costo Total Minimo	Algoritmo Wagner-Within
40.0000	0.80	12,689.19	13,710.60	12,870.82	12,505.01
46.6667	0.80	12,917.48	14,084.21	13,068.27	12,874.04
53.3333	0.80	13,260.10	14,250.79	13,330.51	13,217.19
60.0000	0.80	13,555.37	14,482.37	13,581.77	13,555.37
0.8333	0.90	8,080.29	8,117.35	8,540.48	8,072.87
7.5000	0.90	9,725.25	9,696.91	9,793.20	9,341.64
15.0000	0.90	10,658.55	10,605.11	10,680.24	10,256.06
22.5000	0.90	11,555.59	11,358.27	11,496.43	10,983.46
30.0000	0.90	12,075.08	12,237.05	12,168.56	11,592.06
37.5000	0.90	12,377.35	13,098.39	12,650.50	12,122.56
45.0000	0.90	12,791.52	13,839.69	12,976.02	12,584.80
52.5000	0.90	13,059.94	14,293.66	13,213.53	13,003.78
60.0000	0.90	13,443.04	14,481.58	13,515.08	13,396.52
67.5000	0.90	13,777.97	14,775.57	13,804.99	13,776.92
0.9259	1.00	7,775.19	7,815.04	8,269.11	7,767.41
8.3333	1.00	9,541.89	9,467.56	9,611.11	9,128.33
16.6667	1.00	10,550.11	10,501.67	10,558.00	10,117.22
25.0000	1.00	11,520.67	11,288.11	11,442.67	10,909.22
33.3333	1.00	12,099.33	12,226.67	12,192.56	11,577.44
41.6667	1.00	12,450.00	13,157.78	12,717.56	12,160.11
50.0000	1.00	12,905.00	13,951.67	13,106.22	12,677.00
58.3333	1.00	13,214.67	14,480.44	13,369.33	13,146.22
66.6667	1.00	13,638.00	14,697.22	13,710.89	13,586.89
75.0000	1.00	14,012.89	15,046.89	14,054.33	14,010.89

BIBLIOGRAFÍA

GEORGE W. PLOSSL.
ORLICKY'S MATERIAL REQUIREMENTS PLANNING.
SECOND EDITION, 1994.
MC GRAW HILL, USA.

GAVRIEL SALVENDY.
MANUAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL.
PRIMERA EDICIÓN, 1991.
LIMUSA, MÉXICO.

HILLIER/LIEBERMAN.INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES.
TERCERA EDICIÓN, 1982.
MC GRAW HILL, MÉXICO.

N. PISKUNOV.
CALCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL.
QUINTA EDICIÓN, 1980
MIR, URSS.