

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

PROGRAMA CENTROAMERICANO DE MAESTRÍA EN MATEMÁTICA

***UN MODELO MATEMÁTICO DE UN SISTEMA DE
PRODUCCIÓN-INVENTARIO CON EL ENFOQUE JUSTO A
TIEMPO***

**POR :
JUAN A. GONZÁLEZ RUÍZ**

**TESIS PRESENTADA COMO UNO DE LOS REQUISITOS PARA OPTAR POR
EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIZACIÓN EN
INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES.**

1996.

18 FEB 1997

714

Aprobado por:

Eloy B. Rico R.

PROF. ELOY RICO
Director de Tesis

Manuela Foster Vega

DRA. MANUELA FOSTER V.
Miembro del Jurado

Abdel Jaen

PROF. ABDEL JAEN
Miembro del Jurado

Fecha:

30 / enero / 1997

291034

Obs. del autor

*"El método no da ideas a quien no las tiene.
El método orienta al hombre en la búsqueda
de ideas, se las desarrolla y lo disciplina
en su implementación".*

Claude Bernard

DEDICATORIA

Con cariño :

A mis queridos padres Juan y Segunda

A mis hermanos Jacinto y Damaris

A mis sobrinos María Lorena, Luis Gabriel y Juan José

AGRADECIMIENTO.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Profesor Eloy Rico por el apoyo brindado en la elaboración de esta investigación. De igual forma, a la Profesora Manuela Foster por sus atinadas sugerencias en la realización de la misma y su latente preocupación por nuestra formación académica ; al Profesor José Garrido por todas las enseñanzas y experiencias compartidas a lo largo del programa de Maestría.

A mis compañeros Digna , Iveth, Iqbal, José, María y Silveria mi eterna gratitud por la sinceridad , unión y fraternidad compartida.

Agradezco a la Profesora Carmen de Ballesteros , al joven Alcides Martínez, por su valiosa cooperación y a todo aquel que de una u otra forma colaboraron en la culminación de esta investigación.

INDICE GENERAL

RESUMEN	1
SUMMARY	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPITULO 1. TEORÍA DE INVENTARIO	6
1 1 Conceptos generales	6
1 2 Políticas de inventario	17
1 2 1 Políticas de revisión periódica	17
1 2 2 Políticas de revisión continua	19
1 3 El problema de inventario	20
1 4 Propósito de los inventarios	22
1 5 Componentes de un sistema de inventarios	24
1 5 1 La demanda del bien	25
1 5 2 Costos de los inventario	26
CAPITULO 2. MODELOS MATEMÁTICOS DE INVENTARIO	29
2 1 Modelos de inventario determinístico	32
2 1 1 Modelo de la cantidad económica de pedido	33
2 1 2 Modelo tipo CEP con agotamientos	45
2 1 3 Modelo tipo CEP con descuentos por cantidades	51

2 1 4	Modelo del lote de producción	52
2 1 5	Modelo del lote de producción con agotamiento	56

CAPITULO 3. SISTEMA DE PRODUCCIÓN JUSTO A TIEMPO.

3 1	Principios básicos	60
3 2	Objetivos fundamentales del JIT	63
3 2 1	Atacar los problemas fundamentales	64
3 2 2	Eliminación de desperdicios	65
3 2 3	Buscar la simplicidad	66
3 2 4	Diseñar sistemas para identificar problemas	68
3 3	Implantación del Justo a Tiempo	69
3 3 1	Inicializar el sistema	69
3.3 2	Educación global	76
3 3 3	Mejorar los procesos	77
3.3 4	Mejorar el control	79
3 3 5	Relación proveedor-cliente	81
3 4	Modelo determinístico de un Sistema Kanban	83
3 4 1	Sistemas Kanban	83
3 4 2	Descripción del sistema kanban	84
3 4 3	Antecedentes	87
3 4 4	Descripción del modelo	89
3 4 5	Análisis de las restricciones del modelo	98

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

105

BIBLIOGRAFÍA

110

RESUMEN

El presente trabajo titulado “ Un Modelo Matemático de Producción-Inventario con el Enfoque Justo a Tiempo ”, realiza un estudio sobre la teoría de inventarios y presenta un modelo de producción con el enfoque Justo a Tiempo. Inicialmente se revisa y formaliza la teoría en torno a los inventarios, incluyendo los modelos clásicos CEP (Cantidad Económica de Pedidos) y sus particularidades. El modelo de estudio se apoya fundamentalmente en los principios de la filosofía Justo a Tiempo, creada por los japoneses. Tiene como objetivo primordial, determinar las reglas óptimas a través de tarjetas denominadas Kanban, que facilitan la determinación de las cantidades óptimas de producción-inventario . Con ello, la alta administración se beneficia ya que puede minimizar los costos que se generan en los inventarios, y al mismo tiempo reducir las unidades de los inventarios. Evidentemente, los patrones de la demanda del consumidor son satisfechas

SUMMARY

The present work entitled “ A Mathematical Model of Production-Inventory with a Just in Time approach ”, establishes an study based upon the inventories theory and it shows a model of production with a Just in Time approach. Initially we review and formalize the teory related to the inventories, including the classical models E :Q :Q. (Economic Order Quantity) and is particularities. The model under study, leans fundamentally on principles of the Just in Time philosophy, created by the japonese. It has as a main objetive , to determine the optimal rules through which the cards named Kanban, can facilitate the determination of the optimal quantities of production/inventory. With it, the staff administration will benefit since it can minimize the costs that inventories generate, and at the same time reduce the number of units from the inventories. Evidently, the patterns of demand of the consumer are satisfied .

INTRODUCCION

Una vez concluida la Segunda Guerra Mundial el desarrollo vertiginoso y ascendente de la ciencia ha generado un nuevo campo de estudio denominado Investigación de Operaciones (IO), el cual comprende la Ciencia de la Administración y el análisis cuantitativo en el proceso de toma de decisiones. Particularmente los métodos estadísticos y matemáticos han tenido gran significación en la toma de decisiones en áreas tales como : producción, ventas y de manera más precisa en la teoría de inventarios.

La aplicación de técnicas científicas para resolver problemas de la guerra, en la cual la asignación de recursos limitados era un asunto de victoria o derrota, fueron muy eficaces. Se produjeron resultados notables en el Pronóstico ,en el Control de Inventarios y en la Programación Matemática.

Los inventarios son cantidades de bienes y otros recursos económicos que se mantienen almacenados en espera de ser utilizados. Estos incluyen materias primas, productos semiterminados o en proceso y productos terminados. Estos son necesarios en el área de operaciones para asegurar una producción eficiente y homogénea de modo que se puedan satisfacer los objetivos de la empresa, entre ellos , un buen servicio al cliente a un costo mínimo.

Los modelos matemáticos de inventarios constituyen una de las primeras aplicaciones de los métodos cuantitativos para la adecuada toma de decisiones gerenciales ya que los inventarios representan un porcentaje considerable del activo circulante en cualquier negocio , razón por la cual el control y manejo eficiente de estos puede garantizar ahorros considerables y por ende mayores posibilidades de éxito.

Un método nuevo que ha atraído la atención desde los primeros años de la década de los ochenta es el sistema de producción Justo a Tiempo, JIT, desarrollado por la Toyota Motor Company en Japón. La aplicación moderna del JIT se popularizó en la Toyota por parte del Sr. Ohno Taiichi, uno de los vicepresidentes de la misma y otros colegas suyos. Desde entonces el concepto JIT fue transferido a los Estados Unidos alrededor de 1980 en la planta de Nebraska de la Kawasaki 's Lincoln. Muchas de las mejores corporaciones americanas, incluyendo las que pertenecen a las industrias automotriz y electrónicas han estado utilizando JIT .

En contraste con las compañías americanas, los japoneses han desarrollado una total aversión al desperdicio, debido a la falta de recursos naturales y falta de espacio , puesto que consideran que el almacenamiento en inventario desperdicia espacios y obstruye materiales valiosos Además de

eliminar el desperdicio, el JIT también tiene entre sus principios utilizar la total capacidad de los trabajadores para mejorar las utilidades y el rendimiento sobre la inversión, a través de reducción de costos , reducción de inventarios y mejorando por ende la calidad del producto Con la aplicación del JIT el trabajador asume la responsabilidad de la producción, esto es, producir partes de calidad justo a tiempo que respalden el siguiente proceso de producción.

En esta investigación nos proponemos presentar un estudio sobre la Teoría de Inventarios , analizando los modelos clásicos y la técnica de producción justo a tiempo. Esta comprende los siguientes capítulos :

El primer capítulo constituye el marco teórico sobre la teoría de inventarios . Se analizan los conceptos básicos que utilizaremos posteriormente para representar los modelos de inventarios, además , se definen las políticas de inventarios , como también se responde a las preguntas ¿por qué surgen y cuál es el propósito de los inventarios ?.

El capítulo dos presenta un análisis de los modelos de inventarios . Analizaremos el modelo clásico de la Cantidad Económica de Pedido CEP y sus variantes, el cual permite tomar decisiones óptimas respecto a las existencias cuando la demanda es conocida con certeza durante cualquier periodo. También se analiza el modelo del Tamaño Económico del Lote de Producción que es

similar al modelo de la CEP, ya que ambos buscan determinar cuánto se debe pedir y cuándo se deben colocar los pedidos , donde Q viene a representar el tamaño del lote de producción. Por lo tanto, se trata de un modelo de costos de tenencia y costos de pedidos que expresa el costo total como función del tamaño del lote de producción y que posteriormente permite evaluar el tamaño del lote de producción que minimice el costo total.

Finalmente, el tercer capítulo comprende el estudio de la filosofía del sistema de producción “ Justo a Tiempo ”, el cual se ha considerado como el secreto del éxito de los japoneses en el control de inventarios. Este es un sistema distinto a los convencionales y está diseñado para usarse en manufactura o producción en serie. Concluimos con el planteamiento y análisis de un modelo de Programación Matemática propuesto por Bitran y Chang para un sistema de producción determinístico de ensamblaje con múltiples etapas y varios periodos, que utiliza un sistema de producción Kanban con el enfoque Justo a Tiempo.

CAPITULO I

TEORIA DE INVENTARIO

Este capítulo comprende una introducción al estudio del control de inventario. Haremos una descripción conceptual del control de la producción y del control de inventario como funciones independientes, analizaremos el problema de inventario, sus funciones o propósitos y los diferentes costos que intervienen en las decisiones sobre inventarios.

1.1. CONCEPTOS GENERALES.

Iniciamos con distintas definiciones del concepto inventario, con el cual aplicaremos los métodos y tecnologías modernas sobre un control más científico, objetivo y práctico del nivel de los inventarios.

Eppen-Gould (8) :

“Los inventarios son unidades de artículos, dinero o individuos, que se conservan en previsión de necesidades futuras”.

Juan Prawda (16) :

“Es un conjunto de recursos útiles que se encuentran ociosos en algún momento”.

Anderson-Williams (1) :

“Los inventarios son las cantidades de artículos o materiales almacenados en espera de ser utilizados”.

Roger G. Schroeder (18) :

“Un inventario es una cantidad almacenada de materiales que se utilizan para facilitar la producción o para satisfacer las demandas del consumidor”.

Stephen Love (11) :

“Un inventario es una cantidad de bienes o materiales bajo el control de una organización o empresa que se mantiene por algún tiempo en forma improductiva esperando su uso”.

Para efectos de nuestra investigación, el término inventario tendrá la siguiente acepción:

“ CANTIDAD DE BIENES O MATERIALES Y OTROS RECURSOS ECONOMICOS QUE SON ALMACENADOS O QUE PERMANECEN INACTIVOS EN UN INTERVALO DE TIEMPO PARA RESPONDER A FUTURAS DEMANDAS ”.

Consideramos que esta definición se aproxima a nuestra realidad , en particular, desde el punto de vista del área de operaciones como un proceso de transformación. Esta definición es completamente amplia, puesto que, además

de considerar cantidad de bienes y recursos almacenados, también involucra todos los recursos ociosos distintos de todos los materiales, es decir, la capacidad, ya que esta proporciona el potencial para producir.

De manera general, con base en los enfoques de los autores citados anteriormente, los inventarios incluyen materia prima, productos en proceso y productos terminados transformados totalmente por el sistema de producción.

DEMANDA

Es el número de unidades de un bien **requeridas** en un periodo de tiempo.

La demanda es el principal factor en el control de los inventarios. Conocida ésta, se pueden prever lo que ha de consumirse en un tiempo futuro y mantener así existencias suficientes sin exceder en los costos de almacenamiento y en la inversión.

TASA DE DEMANDA

Cantidad demandada por unidad de tiempo. La tasa de demanda puede ser uniforme, infinita, de potencia, etc. De forma general, la cantidad de inventario Q en un tiempo T puede expresarse como:

$$Q(T) = Q_0 - X \sqrt[n]{T/t} ,$$

donde $Q(T)$: Cantidad de inventario en un tiempo T

Q_0 : Inventario inicial.

X . Cantidad demandada en el periodo t .

t Longitud del periodo

n . Indice del patrón de demanda.

La figura 1.1 muestra patrones de demanda para diferentes valores de n .

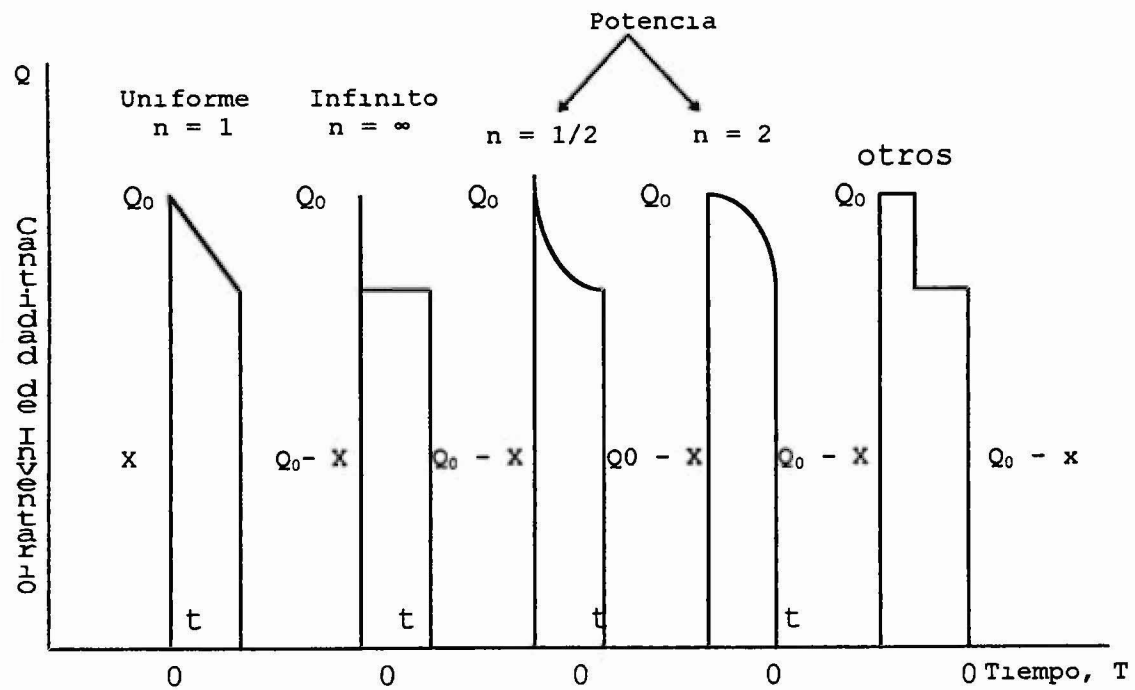


Figura 1.1 : PATRONES DE DEMANDA

OFERTA

Es el número de unidades del bien que **se ofrecen o están disponibles o son vendidas** en un periodo de tiempo.

TAMAÑO DE LOTE

Es el conjunto o número de bienes que conforman la cantidad ordenada de un pedido de compra en una orden de producción.

HORIZONTE DE PLANEACION

El horizonte de planeación es el periodo de tiempo durante el cual el inventario estará controlado. Este puede ser finito o infinito.

TIEMPO DE ENTREGA

Periodo de tiempo entre la colocación de un pedido y su recepción en el almacén.

TIEMPO DE ESPERA

Para un sistema de producción, es el tiempo necesario para la decisión de hacer un producto al inicio de una producción.

TIEMPO DE CICLO

Periodo de tiempo entre la colocación de dos pedidos consecutivos, dentro del horizonte de planeación

PUNTO DE RENOVACION

Indica la posición del inventario en la que se debe colocar un nuevo pedido. Este punto está determinado por la cantidad que representa el inventario normal durante el periodo de reabastecimiento, más la reserva. Un buen cálculo del punto de renovación nos permite minimizar la incidencia de faltantes.

TASA DE ABASTECIMIENTO

La tasa de abastecimiento o tasa de producción es la tasa a la que el inventario se refuerza. La figura 1.2 muestra diferentes patrones de abastecimiento.

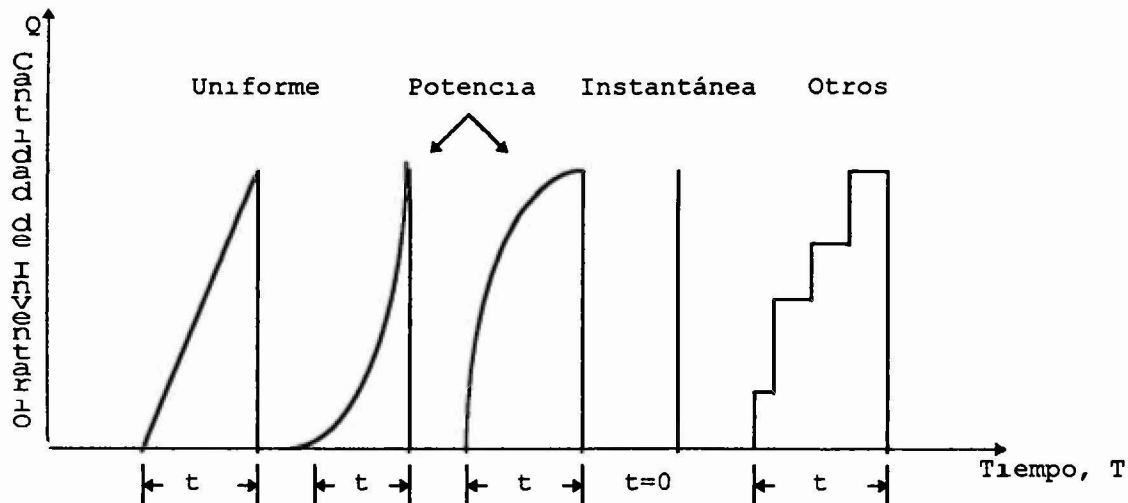


Figura 1.2 : PATRONES DE ABASTECIMIENTO.

RESERVA (“STOCK” DE SEGURIDAD)

Inventario de bienes que se mantienen como una previsión de seguridad, para reducir posibles agotamientos provocados por una demanda superior a la esperada.

Las reservas deben supervisarse constantemente ya que éstas pueden resultar excesivas e insuficientes, aumentando con ello los gastos de inversión en inventarios y los costos de faltantes, respectivamente .

En un sistema típico de inventario las órdenes son recibidas a una tasa de abastecimiento dada hasta que la cantidad total ordenada sea recibida. En esta etapa se alcanza el nivel de inventario máximo ($I_{máx}$). La demanda de los artículos causaría un decrecimiento en el nivel de inventario a una tasa igual a la tasa de demanda, hasta que el inventario alcance el punto de reordenamiento. La figura 1.3 muestra un modelo de un sistema típico de inventarios.

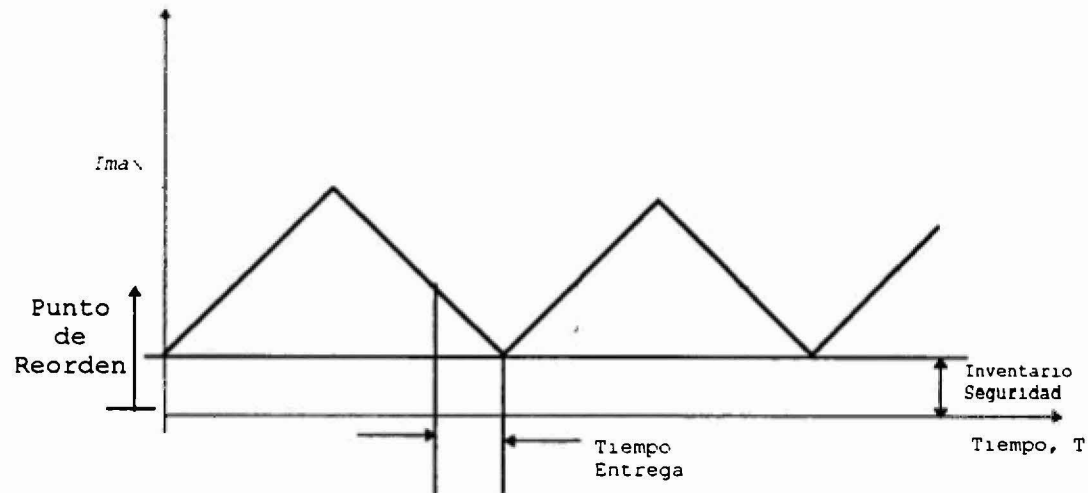


Figura 1.3 : SISTEMA TIPICO DE INVENTARIO

Por definición, el término Inventario prevee una relación entre los procesos de oferta y demanda. El inventario existe porque estos procesos difieren con la tasa a la cual ellos son proporcionados o requeridos.

Sean $x(t)$: tasa de suministro u oferta en un tiempo t

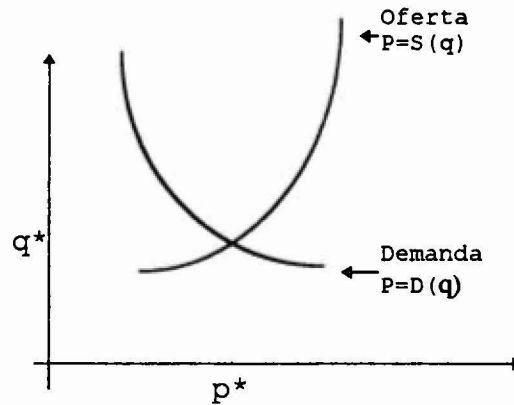
$d(t)$: tasa de demanda en un tiempo t

$Y(t)$: nivel de inventario resultante en un tiempo t

Entonces, será posible expresar el inventario en una relación que involucre los procesos de oferta y demanda cuando se afectan en un determinado intervalo de tiempo, esto es

$$Y(t) = f(x,d)$$

Obviamente los precios de los bienes y servicios están determinados por la OFERTA y la DEMANDA. Un clásico ejemplo de curvas de oferta y demanda es la que se muestra en la figura 1.4.



p^* = precio en equilibrio

q^* = cantidad en equilibrio

Figura 1.4 : MODELO DE EQUILIBRIO DEL MERCADO

La visión financiera del significado de Inventario es una paradoja. Los que ven los inventarios desde el **punto de vista financiero**, lo definen como **dinero, un activo o efectivo en forma de capital**. Mientras que los que están involucrados con las operaciones lo ven como **artículos terminados, materia prima, trabajo en proceso o materiales utilizados en los productos**.

Por lo general los inventarios representan un porcentaje considerable del total de activos de una compañía, por lo que estos deben considerarse desde un punto de vista global. Los inventarios son un “amortiguador” necesario y muy

útil, pero en exceso ellos son perjudiciales para la empresa. Estos son necesarios para el logro de los tres objetivos básicos de una empresa: esto es, dar un servicio eficiente al cliente, para que la planta funcione eficientemente, equilibrando la producción en cuotas bastante uniformes y lotes de fabricación razonables.

Desde el punto de vista global de la empresa, hay que equilibrar la inversión en inventarios con otras demandas de capital tomando en cuenta los costos y beneficios relacionados con ambos. Haciendo un balance de los costos de los sistemas de inventarios se pueden tomar las decisiones más atinadas en cuanto a las políticas de operación de los mismos.

Este equilibrio se puede clasificar en cuatro categorías:

1. Entre la inversión en Inventarios y el Servicio al Cliente.

La inversión en inventarios es necesaria y útil pero los excesos son peligrosos, puesto que, este dinero es indispensable para otras aplicaciones. Por otro lado tenemos que un inventario bajo produce atraso de órdenes y agotamientos mientras que un inventario alto permite un mejor servicio.

2. Entre la inversión en inventarios y los costos asociados con los cambios en el nivel de producción.

Cuando se presentan diferentes tipos de fluctuaciones aleatorias en los inventarios (incrementos), los costos relacionados con éstos serán mayores, por lo que es necesario moderarlas. Hay que tratar de reducir el inventario sin que disminuya la ganancia. Aprovechar al máximo las maquinarias, las instalaciones, la capacidad y tiempo del personal de producción, sobre todo cuando los artículos están fuera del periodo de ventas. Además las formas de abastecimiento y los inventarios en los almacenes se ven afectados por cambios de diseño o ingeniería y por la diversificación en los productos.

3. Entre la inversión en inventarios y el costo de colocar pedidos para responder a los inventarios

Colocar gran cantidad de pedidos en pequeñas cantidades implica que hay que hacer arreglos frecuentemente, lo que provoca altos costos de compra, la pérdida de descuentos por cantidad y otros costos de operación.

4. Entre la inversión en inventarios y los costos de transporte.

Un rápido y eficiente método de transporte incurre en costos mayores. El transporte de materiales puede llegar a ser el mayor problema de producción debido a que agrega muy poco valor al producto, pero consume gran parte del presupuesto de manufactura.

1.2 POLITICAS DE INVENTARIO.

Las políticas en los inventarios comprenden las formas en que son revisadas y ordenadas las existencias o el inventario. Esto es, cuándo deben ser colocadas las órdenes y qué cantidad debe pedirse. Dentro de las políticas de inventario podemos mencionar la política de revisión periódica y la política de revisión continua.

1.2.1 POLITICAS DE REVISION PERIODICA.

Con la política de revisión periódica los niveles de inventario se verifican o revisan en intervalos de tiempo iguales a T . Si al final de un periodo, el nivel de inventario es mayor que el punto de reorden predeterminado, no se coloca ninguna orden. Sin embargo, si el nivel de inventario es menor o igual que el punto de reorden, se coloca una orden o pedido para llevar el inventario al máximo nivel. Definamos :

I_1 : nivel de inventario al final del periodo T_1

r . punto de reordenamiento

I_{\max} : inventario máximo aceptable.

Q_i : tamaño de la orden al final del periodo i .

T_1 : longitud del periodo i

Entonces esta política puede expresarse como

$$Q_1 = \begin{cases} 0 & \text{si } I_1 \geq r \\ I_{\max} - I_1 & \text{si } I_1 < r \end{cases}$$

Los tres parámetros básicos que se necesitan para definir esta política son I_{\max} , r , y T . Por lo tanto, se tienen que determinar los valores óptimos y el costo total del inventario minimizado. La figura 1.4 muestra el patrón de un modelo de política de revisión periódica. Obsérvese que las órdenes no necesitan ser colocadas al final del periodo uno, sin embargo una orden de $I_{\max} - I_3$ debe ser ordenada al final del periodo tres.

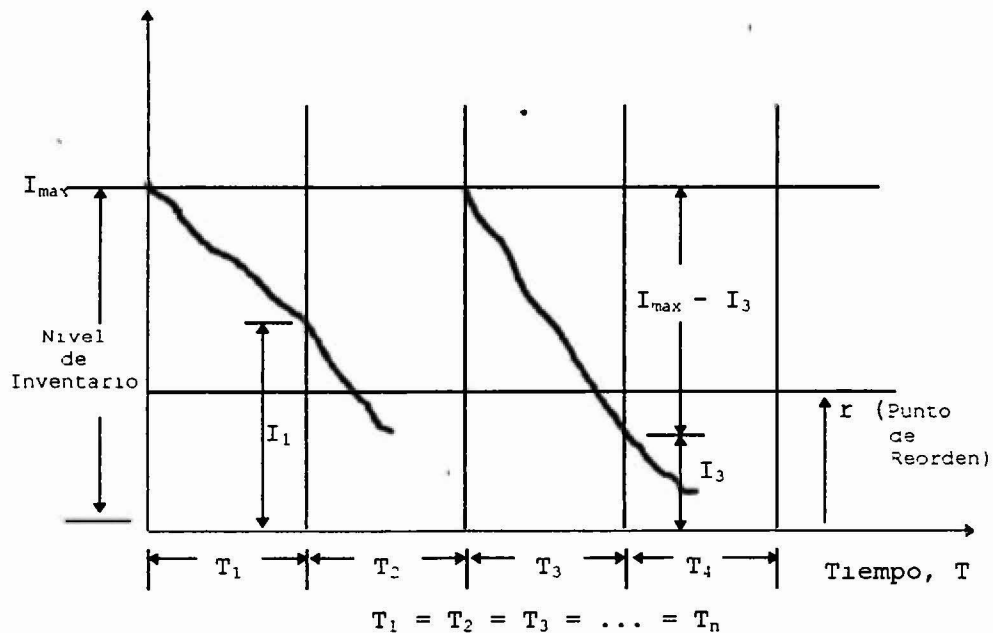


Figura 1.4 : POLITICA DE REVISION PERIODICA.

1.2.2. POLITICAS DE REVISION CONTINUA.

Bajo esta política, el nivel de inventario se revisa o verifica en forma continua de manera que se puedan renovar los pedidos tan pronto como se llegue al punto de reordenamiento

La diferencia entre la política de revisión continua y la periódica estriba en que en la primera, las órdenes pueden ser o no colocadas al final del periodo i , dependiendo del nivel de inventario, mientras que con la segunda, las órdenes son colocadas siempre que el nivel de inventario esté en el punto de reorden o por debajo de él, independientemente de la longitud del periodo de tiempo. En la figura 1.5 se muestra esta política

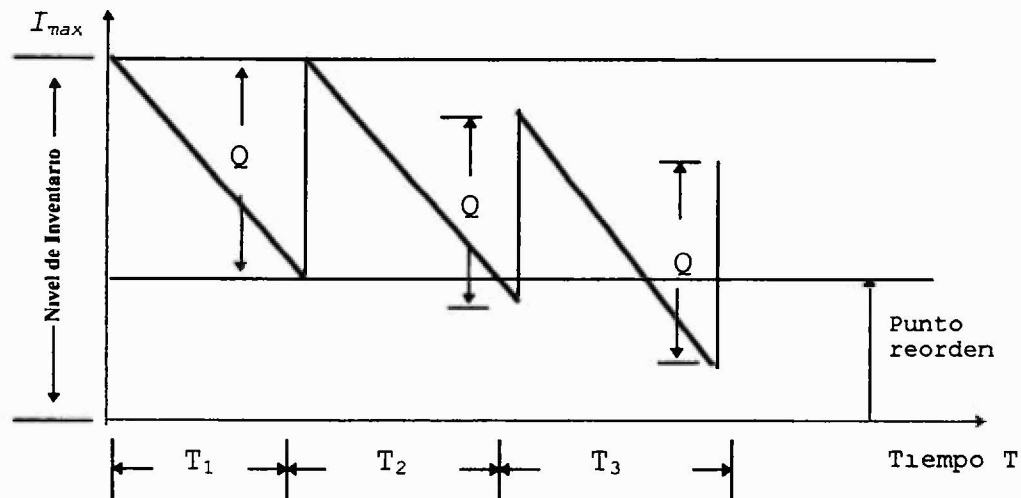


Figura 1.5 : POLITICA DE REVISION CONTINUA.

1.3 EL PROBLEMA DE INVENTARIO

Los inventarios surgen de la necesidad de guardar bienes físicos o mercancías con el propósito de satisfacer demandas sobre un horizonte de planeación

Originalmente el control de la producción y de los inventarios se desarrollaban por separado, lo que posteriormente resultó un concepto equivocado en las empresas. El control de la producción era una más de las funciones desempeñadas por el encargado de la línea de producción, mientras que el control de los inventarios se desarrollaba con base en líneas teóricas más científicas pero con muy poca aplicación práctica.

El control de la producción y el control de los inventarios no pueden verse en una industria como funciones separadas. El control de los inventarios ordena o lanza los pedidos y el control de la producción manda a fabricarlos en la planta. Sin embargo, los inventarios en una planta manufacturera se mantienen para apoyar la producción, o bien son ellos mismos el resultado de la producción.

Existe un problema de inventario, cuando por un lado, el nivel de existencias disponibles pueden variar a través de un control que ejerce quien

toma las decisiones y por otro lado, cuando al aumentar éstas se incide en algún costo del inventario. Por ejemplo, tenemos el caso de empresas grandes que a pesar de aparentar tener una buena organización, sufren de falta de capital debido al exceso de inversión en inventarios de materiales, de productos en proceso y de productos terminados; sin embargo, carecen de algunos productos en el almacén que provocan un estancamiento en la producción. También puede darse el caso de que el exceso de inventarios limite la disponibilidad de capital para las operaciones normales de la empresa, teniendo entonces que recurrir a pagar intereses por préstamos que minimizan las utilidades.

Un problema de inventario involucra la formulación de reglas de decisión que respondan a las siguientes preguntas.

- i) ¿Cuánto ordeno o produzco?
- ii) ¿Con qué frecuencia lo hago?

Estas reglas de decisión van orientadas a satisfacer la demanda a un costo mínimo.

1.4 PROPOSITO DE LOS INVENTARIOS

En una empresa los inventarios permiten absorber las altas y bajas en las ventas. El propósito real por el cual existe el inventario se fundamenta en la distinción de las causas por las cuales difieren la tasa de oferta y demanda. Estas causas están identificadas como funciones específicas de los inventarios y nos permiten conocer más la naturaleza de los sistemas de producción-inventarios. Entre las causas por las cuales se lleva un inventario tenemos

1. **Protección contra incertidumbre**

Estos frecuentemente se asocian con la especulación, es decir, la cantidad demandada y el ritmo de ventas y de producción no pueden predecirse con exactitud. Estos inventarios se conocen con el nombre de **Stocks** de seguridad, de reserva, y permiten equilibrar esta fluctuación entre la oferta y demanda, determinando la demanda máxima estimada que puede esperarse. En tales casos se debe mantener un inventario adicional por encima del normal para proteger cualquier eventualidad de una demanda mayor a la típica.

2 **Protección por déficit de inventario**

Estos inventarios los utilizan algunas compañías para comprar ciertos productos básicos que se caracterizan por la fluctuación en los precios. En tales

situaciones, las compañías aprovechan la baja de los precios comprando grandes cantidades la cual a su vez reduce los costos de materiales de los artículos, para aumentos posteriores en los precios

3 Para permitir producción y compras bajo condiciones económicas favorables.

Con frecuencia es más rentable comprar artículos o bienes en grandes cantidades (mayores a las necesidades presentes), ya que en la mayoría de los casos es imposible comprar o fabricar bienes en las cantidades que se demandan. Entonces, es preferible almacenar los excedentes en inventarios que producirlos en una forma más costosa.

4. Para cubrir cambios anticipados en la Demanda o la Oferta.

Son inventarios hechos durante los períodos de ventas bajas, programas de promoción comercial o en períodos de cierre de una planta, los cuales se podrán utilizar para cubrir las ventas en los períodos de mayor demanda o el tiempo en que cierra la planta.

En nuestro país, este tipo de inventarios lo hacen ciertas empresas de producción de ropa, las cuales mantienen a los empleados trabajando tiempo extra en ciertos periodos del año, para garantizar la demanda en los periodos

tradicionales de cierre (febrero y marzo), los que se aprovechan para la reparación y mantenimiento de la planta.

Estas causas básicas de los inventarios nos permiten lograr un flujo uniforme, un uso razonable del equipo, costos adecuados para el manejo de materiales y mantener un servicio eficiente a los clientes. Una causa muy particular radica en aquellos inventarios que se generan por la movilización de bienes o materiales de un lugar a otro. Mientras el inventario se encuentre en camino, no tiene utilidad. Este sólo existe por el tiempo de tránsito. Tal es el caso de productos de importación, cuando el transporte es marítimo o terrestre. Cada retraso en el sistema genera la necesidad de tener existencias para cubrir el mismo.

Obsérvese además que hay funciones que se traslapan y en cada etapa de organización y distribución, los inventarios desempeñan la función de interrelación entre cada par de actividades.

1.5. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE INVENTARIOS.

En cualquier sistema de inventarios deben tomarse en consideración los siguientes factores.

1.5.1 LA DEMANDA DEL BIEN

La demanda de un bien puede ser considerada determinística , esto es, cuando se conoce con certeza las cantidades de pedido , o probabilística cuando la demanda de los bienes es incierta. Esta última, puede ser descrita por medio de una función de distribución de probabilidad.

Una demanda determinística es estática cuando la tasa de demanda de los bienes permanece constante durante un período de tiempo. Si la demanda es conocida pero varía de un período a otro, entonces se dice que es **dinámica**. La demanda probabilística puede ser estacionaria, cuando la función de densidad de probabilidad de la demanda no cambia con el tiempo y si ésta varía, se llama **no estacionaria**. El siguiente diagrama muestra estos conceptos.

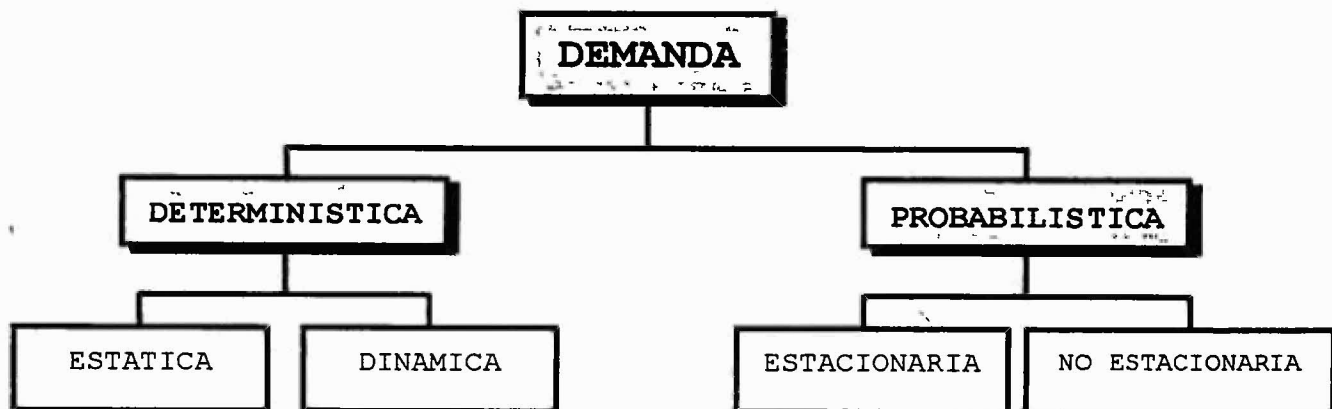


Figura 1.6: TIPOS DE DEMANDA

1.5.2 COSTOS DE LOS INVENTARIOS

La determinación del comportamiento de los costos en los inventarios, es un factor fundamental para la elaboración y cuantificación de los parámetros en los modelos matemáticos de inventario

Los siguientes costos representan las principales consideraciones en la elaboración de los modelos de inventarios.

a) **Costos de Almacenamiento o Mantenimiento.**

Estos se originan de muchas fuentes e incluye todos los gastos en que incurre una empresa por su volumen de inventario. En general, estos costos permanecen fijos para cierta capacidad del inventario y varían con la cantidad adicional que se almacene. Incluyen por ejemplo los costos de espacio físico, deterioro del bien u obsolescencia (artículos de moda, de alta tecnología), impuestos, seguros, etc

b) **Costo por Ordenamiento o Reabastecimiento .**

Se originan al hacer un pedido a un proveedor externo o en los costos de preparación para la producción interna. Incluyen el costo fijo para mantener un departamento de adquisiciones y los costos variables de preparar y ejecutar

dichas adquisiciones. Cuando una compañía ordena una corrida de producción, incurre en costos de oficina (papeleo), de transporte, por arreglo de maquinaria y por desperdicio normal resultante de la primera producción. Estos costos varían según el número de pedidos colocados.

c) **Costos de Agotamiento o de Penalización.**

Es el costo por unidad de demanda no satisfecha de servicio. Estos pueden repercutir en la pérdida de clientes, de prestigio y de establecer un bajo nivel de servicio. Muchas compañías consideran que es tan importante la satisfacción del cliente, hasta el punto, que dan un mayor valor a los sustitutos de artículos que no están disponibles.

d) **Costos de Capital.**

El Costo de Capital se define como la tasa de rendimiento que una empresa debe obtener sobre sus inversiones, para que su valor de mercado permanezca inalterado.

Se incurre en estos costos cuando el promedio de los inventarios aumenta, pues el capital invertido en inventarios aumenta en la misma proporción. En estos casos se asigna un costo de oportunidad o un cargo al gasto del inventario que refleje el porcentaje que se espera recuperar en otras inversiones. El interés

o cargo se aplica al precio, para justificar cualquier reclamo sobre el costo anual de capital.

CAPITULO II

MODELOS MATEMATICOS DE INVENTARIO

Este capítulo comprende algunos de los métodos matemáticos que utilizan los administradores cuando desarrollan modelos de inventarios, que le permiten el establecimiento de políticas de operaciones de costos mínimos.

Entre los modelos a analizar tenemos el modelo de la Cantidad Económica de Pedidos y el modelo de Lote Producción, y algunas de sus variantes. El objetivo fundamental de estos modelos es determinar el tamaño óptimo del lote en condiciones casi ideales, de modo de encontrar un equilibrio entre un conjunto de costos que aumentan con los inventarios y otro conjunto de costos que disminuyen con los inventarios.

Hemos mencionado los elementos básicos para modelar situaciones de inventario, siendo la demanda el primordial elemento. Otro factor fundamental para lograr un buen control de los inventarios, es la identificación clara y precisa de los costos influenciados por los niveles de Inventarios, los cuales a su vez permitirán definir políticas y reglas de decisión con miras a establecer sistemas que minimicen estos costos

Los modelos que trataremos en este capítulo dan respuesta a los problemas sobre control de producción e inventarios, analizando el papel que desempeñan éstos en una empresa .

Los modelos matemáticos de inventarios constituyen una de las primeras aplicaciones de los métodos cuantitativos para la adecuada toma de decisiones gerenciales, ya que representan un porcentaje considerable del activo circulante en cualquier negocio ; razón por la cual el control y manejo eficiente de éstos, puede garantizar ahorros considerables y por ende, mayores posibilidades de éxito.

El primer modelo de inventario se le atribuye a Frederick W. Harris en 1915, el cual derivó una fórmula para la cantidad óptima de materiales o bienes que se deben comprar cada período Posteriormente en 1934, R.H. Wilson presentó el enfoque estadístico, para determinar los puntos de reordenamiento.

Entre los modelos matemáticos de inventarios por su influencia y contribución en la teoría y práctica está el modelo clásico de la **Cantidad Económica de Pedido (CEP)**, cuyo objetivo es determinar el tamaño de pedido óptimo que minimice los costos involucrados. Este modelo implica que la demanda está condicionada , al igual que los costos involucrados.

Con la disposición de un modelo básico, pueden relajarse algunas de las suposiciones y hacer extensiones simples al modelo. De esta manera, del modelo CEP pueden surgir variantes tales como: el modelo con agotamientos, el modelo con descuento por cantidades, modelo de producción de uno y múltiples productos y el modelo con restricciones de recursos.

Entre las técnicas de solución de optimización podemos mencionar : Programación Lineal, Programación Entera, Programación Dinámica y la Teoría de Redes.

Cabe observar que se tienen modelos probabilísticos en donde la demanda se describe como una función de densidad de probabilidad. Con estas condiciones, se necesitan distintos procedimientos de solución que ayuden a determinar las decisiones óptimas del Inventario.

En ambos casos, el decisor fundamentalmente se enfrenta con problemas de: a) cuánto pedir ? ; b) cuándo pedir ?, de manera que se minimicen los costos totales involucrados.

En este trabajo nos concentramos en al análisis de los modelos matemáticos de inventarios determinísticos.

2.1 MODELOS DE INVENTARIOS DETERMINISTICOS

Los modelos de inventarios cuando la demanda es determinística se basan en supuestos que simplifican su estructura. A continuación analizaremos ciertos modelos clásicos bajo las siguientes hipótesis:

1. La demanda es conocida con certeza
2. La tasa de demanda es constante. Se conoce la cantidad exacta de artículos o bienes necesarios durante cualquier período, cuando la tasa de utilización es constante.
3. El reabastecimiento es instantáneo. Este supuesto elimina la posibilidad de costos de oportunidad, puesto que nunca habrá una demanda insatisfecha.
4. El tiempo de anticipación es constante y positivo.
5. Los precios unitarios de pedidos y de mantenimiento son constantes, independientemente del tamaño del lote.
6. El precio de compra o de producción no varía en el período considerado. Este precio puede variar como una función de la cantidad del pedido
7. El límite máximo de los bienes es una orden por período.

2.1.1 MODELO DE LA CANTIDAD ECONOMICA DE PEDIDO (CEP)

Este modelo tiene por objetivo determinar el tamaño del pedido Q , donde Q es la variable a ser controlada por la administración o la dirección de inventarios. La cantidad óptima Q^* a pedir, es la que mejor equilibra los costos relacionados con mantener los inventarios y los costos de ordenar los pedidos.

La **FUNCION OBJETIVO** para esta situación está dada como

$$\text{Costo Total} = \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Costo de Ordenar los Pedidos}$$

El patrón de utilización y de reabastecimiento para este modelo con base a los supuestos dados, se muestra en la figura 2.1

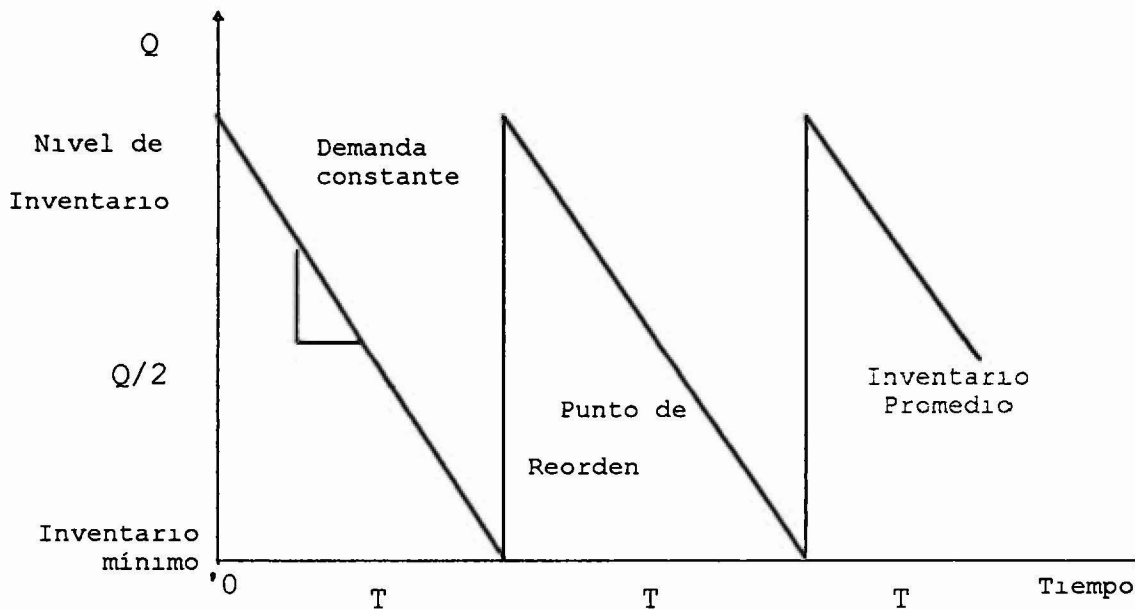


Figura 2.1 : MODELO DE INVENTARIO CEP.

Si observamos la figura 2.1, el inventario se reabastece instantáneamente en un punto de tiempo en que el nivel del inventario llegue a cero, (punto de reorden). Las líneas verticales muestran el reabastecimiento inmediato de una orden de tamaño Q y la pendiente de las líneas inclinadas nos muestran una tasa constante de utilización (o de demanda), la cual disminuye hasta cero durante el intervalo de tiempo T . El inventario promedio en almacenamiento para este caso es de $Q/2$. El pedido previo de Q unidades se hace en el momento adecuado para recibirlo exactamente en el punto indicado, elevando el nivel de inventario a Q , y así sucesivamente se repite el ciclo.

De la figura 2.1 se observa que las incógnitas son el tamaño del lote y el tiempo T entre las órdenes

VARIABLES Y PARÁMETROS DEL MODELO

Q : cantidad de pedido

T : tiempo necesario para agotar Q unidades ó tamaño de período

C_1 : costo de mantener una unidad en inventario por período

C_2 . costo de colocar u ordenar un pedido por período

C_3 : costo de agotamiento. En este caso $C_3 = 0$

$I_p = Q/2$ inventario promedio

D . demanda del artículo por período

N número de pedidos por período

C_c : costo de conservación o mantenimiento por período

C_p : costo de pedido por período

C_T . costo total por período.

Al analizar los costos del inventario observamos que estos se ajustan a dos patrones:

1. Costos que son directamente proporcionales al tamaño de una orden, como lo son los costos de conservación o mantenimiento y los costos de capital, y

2. Costos que varían en relación inversa con el tamaño de la orden, como lo son los costos de almacenamiento.

Los costos de mantenimiento se calculan tomando en consideración el costo de mantener una unidad en inventario por período C_1 y el inventario promedio I_p , que es la mitad del inventario máximo en este caso (demanda constante). Por lo tanto,

Costo de Mantenimiento = (Costo de mantenimiento por unidad por período)(Inv promedio),
 así . $C_c = C_1 Q/2$ (2.1)

Los costos de ordenamiento dependen del número de pedidos por período y del costo de cada pedido. El número de pedidos requeridos para satisfacer una demanda por período, dependerá del tamaño del pedido Q , de cada período. Luego, si el costo de ordenar un pedido es C_2 , entonces el costo de ordenamiento por período C_p , puede expresarse como :

Costo de ordenamiento = (Número de pedidos por período) (Costo de un pedido por período)

$$C_p = NC_2 = (D/Q) C_2$$
 (2.2)

El **costo total del inventario** C_T es la suma de los costos de mantenimiento C_c y los costos de ordenamiento C_p . De esta forma, el Costo total por período se expresa de la siguiente manera:

$$C_T = C_c + C_p$$

o bien,

$$C_T = 1/2 QC_1 + (D/Q) C_2 ; Q \neq 0$$
 (2.3)

Puesto que C_1 y C_2 son conocidos, la ecuación (2.3) permite obtener el costo total por período, en términos de la cantidad a pedir Q .

En la figura 2.2 bosquejamos la ecuación (2.3). Observe que el costo de mantener el inventario por período C_c , se puede expresar como una simple función lineal.

Estos costos aumentan conforme aumenta el tamaño de la orden, puesto que si los pedidos son grandes esto implica niveles altos de inventario. Por otro lado, para una determinada demanda, ordenar pequeñas cantidades implica hacer más pedidos, lo que aumenta el costo de pedidos C_p .

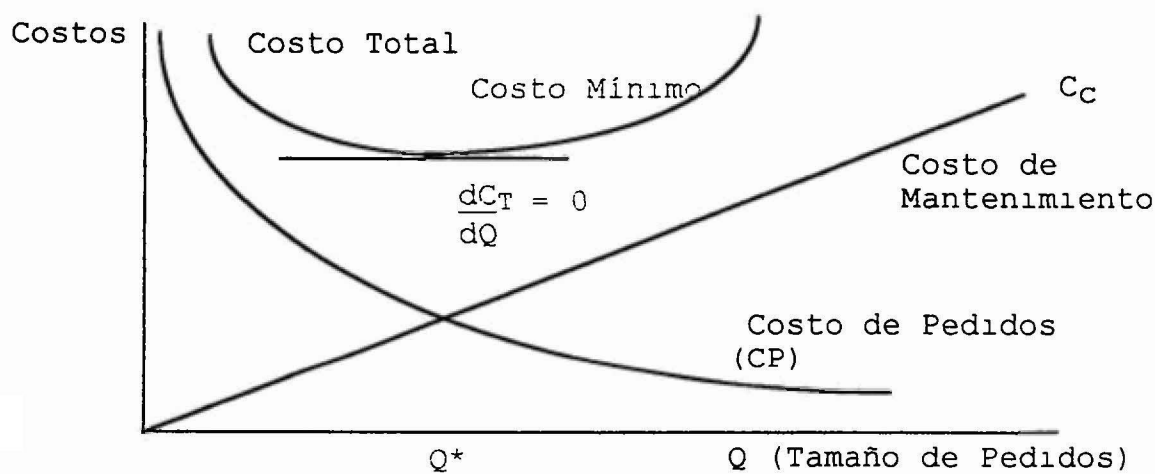


Figura 2.2 : COSTO TOTAL DEL INVENTARIO

Debemos ahora determinar la cantidad Q^* que minimiza el costo total por período dado en la ecuación (2.3), esto es, equilibrar los costos de ordenar o colocar pedidos con los costos de mantenimiento

Esta cantidad o volumen óptimo puede calcularse por los siguientes métodos

- a. técnicas de tabulación a un sólo precio unitario
- b. técnica de tabulación con descuentos por volumen de compra
- c. técnica gráfica (ensayo y error)
- d. técnicas de cálculo diferencial.

En este caso haremos uso del cálculo diferencial. La cantidad óptima Q^* se encuentra en el punto de equilibrio de los costos de pedidos C_p y los costos de mantenimiento C_c , y esto ocurre precisamente cuando la pendiente del costo total C_T es igual a cero. Esto es:

$$dC_T / dQ = (1/2)C_1 - DC_2 / Q^2 = 0$$

de donde resulta .

$$Q^* = \sqrt{2DC_2 / C_1} \quad (2.4)$$

Este punto mínimo existe pues la segunda derivada de la función C_T es estrictamente positiva (función convexa) .

$$d^2 C_T / dQ^2 = 2D C_2 / Q^3 > 0$$

Por lo tanto, la Q^* de la ecuación (2.4) es la solución de costo mínimo.

La expresión (2.4) se conoce como la **Cantidad Económica de Pedido** (CEP). Una vez conocida Q^* , se pueden estimar otros parámetros en relación al modelo, tales como:

i. El costo total óptimo, sustituyendo Q^* en la ecuación (2.3) ; esto es :

$$C_T^* = 2DC_1C_2$$

ii. El número óptimo de pedido por período,

$$N^* = D/Q^*,$$

iii. El intervalo entre cada pedido,

$$T = Q^*/D ,$$

iv El punto de renovación de pedidos,

$$P_R = D \times T_a ,$$

donde T_a es el tiempo de entrega.

EJEMPLO

Una compañía licorera (cervezas, vinos y otras bebidas gaseosas) distribuye a una gran cantidad de tiendas de venta al detal. El inventario de cerveza constituye el 40% del inventario total de la compañía y se estima unas 60,000 cajas con un costo promedio aproximado de B/ 4 00 por caja. El valor del inventario en cerveza es B/. 300,000.00 por año. El costo del capital se estima del 15% del valor del inventario y un 10% en otros costos (seguros, impuestos, mermas y gastos generales de almacenamiento) Los costos por sueldos y prestaciones a los compradores se estiman en B/. 16.00 por hora y los costos por papeleo, teléfono, transporte y recepciones se estiman en B/. 10.00 por pedido. La compañía trabaja seis días a la semana y garantiza una entrega en dos días por pedido solicitado. Los datos para 8 semanas se muestran en la tabla 2.1.

TABLA 2.1

Nº DE SEMANA	DEMANDA (CAJAS)
1	4,000
2	4,250
3	3,900
4	3,850
5	4,000
6	4,050
7	3,950
8	4,100

Se desea hacer un análisis para establecer las reglas de decisión sobre **cuánto y cuándo** pedir para obtener un **costo mínimo** para los inventarios.

SOLUCION:

Para dicho análisis utilizaremos el modelo CEP descrito anteriormente. Obsérvese que según los datos de la tabla se tiene un total de 32,100 cajas con un promedio semanal de 4012 cajas. Tenemos entonces que:

$$\text{Costo de capital} = (300,000)(.15) = B/.45000.00$$

$$\text{Costos de conservación} = (300,000)(.10) = B/.30000.00$$

Entonces, el Costo total de mantenimiento es B/.75000.00, que representa el 25% del valor invertido. En particular, el costo de mantener una caja en inventario en un año es $C_1 = (B/.4.00)(.25) = B/.1.00$

Además se estima que $C_2 = B/.26.00$ por pedido.

Como $D = (52)(4012) = 208624$ cajas por año, entonces

$$C_c = \frac{1}{2} Q, \text{ y}$$

$$C_p = (208\ 624)(26) / Q$$

Por lo tanto,

$$C_T = \frac{1}{2} Q + 5424224/Q \quad (2.5)$$

La expresión (2.5) calcula el costo total anual en términos de la cantidad a pedir. La cantidad Q^* que minimiza el costo total anual se obtendrá aplicando dos técnicas:

a) Por ensayo y error (Tabla 2.2), y

b) Por la expresión (2.4)

La tabla 2.2 muestra el costo total anual para diversas cantidades de pedido Q , y en la figura 2.3 se muestra la gráfica correspondiente.

TABLA 2.2

CANTIDAD DE PEDIDO (Q)	C_c	C_p	C_T
8000	B/.4000.	B/.678.	B/.4678.
6000	3000	904.	3904.
4000	2000	1356.	3356.
2000	1000	2712.	3712.
1000	500	5424.	5924

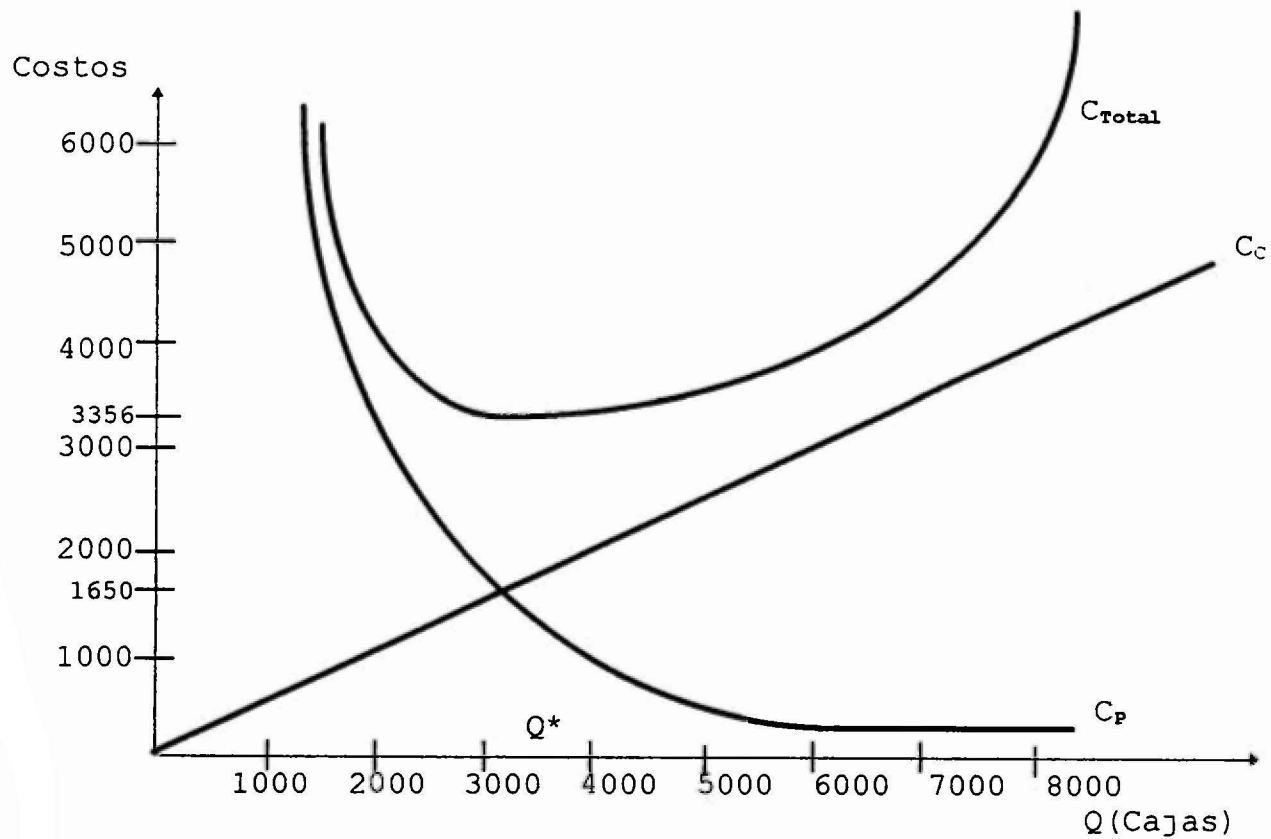


Figura 2.3 :Gráfica de Costos Totales, Costos de Pedidos y de Conservación

a) Según los resultados de la tabla 2.2, la cantidad de pedido de costo mínimo es de 4000 cajas

b) Por medio de la expresión (2.4), tenemos que

$$Q^* = \sqrt{\frac{2(208,624)(26)}{(1)}} = 3293 \text{ cajas}$$

La política de costo mínimo indica pedir 3293 cajas, obteniendo un costo total anual óptimo de B/ 3293.00, lo que equilibra el costo de conservación y el costo de pedido por período.

DECISION DE CUANTO PEDIR

Una vez que conocemos la cantidad a pedir Q^* , nos enfrentamos al problema de cuándo debemos hacer los pedidos, lo cual se expresa en términos de PUNTO DE RENOVACION de pedido.

El punto de renovación P_R de pedidos está dado por

$$P_R = (696)(2) = 1338 \text{ cajas}$$

Esto indica que durante los dos días que se necesitan para entregar cada pedido se espera vender 1338 cajas. Además,

$$N^* = D/Q^* = 208,624/3293 = 63.4$$

es decir, se harán 63 pedidos cada año.

Considerando el año comercial (50 semanas), entonces en los 300 días laborables los pedidos se harán aproximadamente cada $T = 300/63 = 4.7$ días (tiempo de ciclo).

Luego, la ecuación general para el tiempo de ciclo de T días es

$$T = 300 / N^* = 300Q^*/D$$

2.1.2 MODELO TIPO CEP CON AGOTAMIENTO.

El agotamiento o escasez ocurre cuando la demanda no se puede satisfacer con los inventarios existentes o con la producción. En la práctica esto se da, por ejemplo, cuando el valor de cada unidad del inventario es muy alto, lo que implica un costo de tenencia alta. En estos casos es justificable planear y permitir faltantes.

Al quedarnos sin existencias en el inventario en un determinado momento y que sean demandadas, puede implicar un costo (de agotamiento en este caso), ya sea por pérdida de tiempo de producción o de ventas. Lógicamente, el costo de quedarse sin existencias debe ser más pequeño en comparación al costo de mantenimiento.

Otras variables pertinentes al problema son:

S : Cantidad de pedidos atrasados (faltantes)

$I_{\max} = Q - S$ · Nivel máximo inventario

t_1 : tiempo en el que hay inventario disponible

t_2 : tiempo en el que existen

T : tiempo entre pedidos o de ciclo ($T = t_1 + t_2$)

C_3 : Costo de agotamiento por unidad / período.

Los supuestos para este modelo son los establecidos para el modelo CEP clásico, excepto que se permiten faltantes. La figura 2.4 muestra el comportamiento del modelo de inventario con agotamientos, donde las cantidades negativas indican los pedidos pendientes.

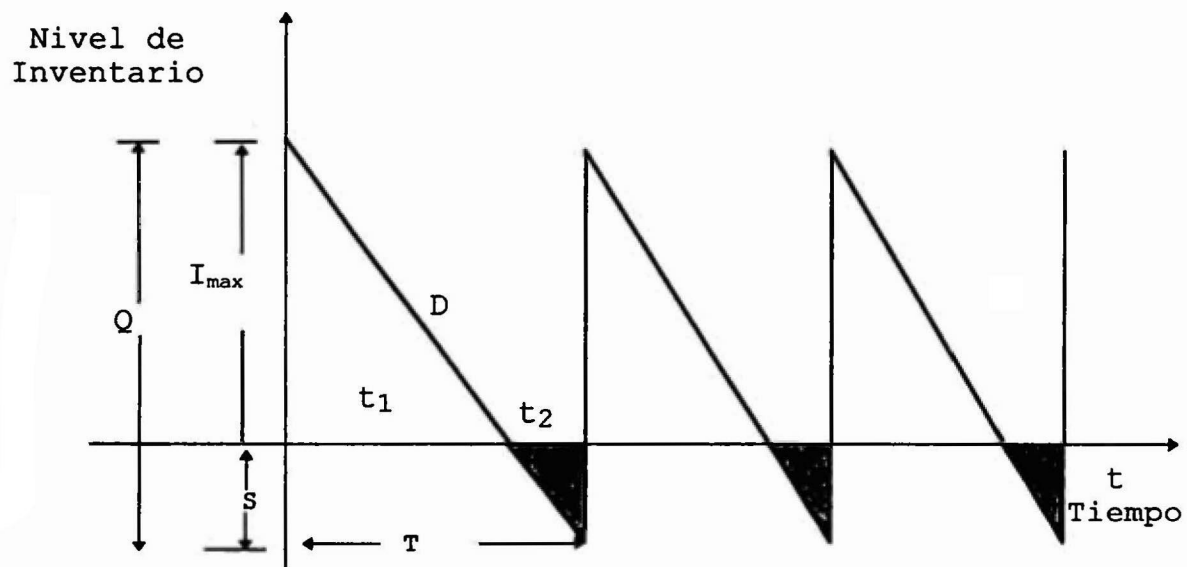


Figura 2.4 : Modelo de Inventario CEP con faltantes.

De acuerdo a la gráfica, se observa un patrón similar al modelo anterior excepto que se permite que el nivel mínimo de inventario llegue por debajo de

cero Esto es, la demanda del inventario continua con o sin existencias. Esta demanda insatisfecha se acumula en forma de **pedidos atrasados**.

Una vez definido el patrón de los inventarios, nos enfrentamos al desarrollo de un modelo de costo total donde los costos de mantenimiento y de ordenar son los mismos utilizados anteriormente. Para este caso el costo total tiene tres componentes :

Costo Total = Costo de Ordenar + Costo de Mantenimiento + Costo por Agotamiento.

COSTO DE ORDENAR : C_p

Como en el caso anterior, el costo por pedido está dado por C_2 . Luego el costo de pedidos por período se obtiene multiplicando C_2 por el número de pedidos por período (N). Esto es,

$$C_p = C_2 \times N = C_2 \times D/Q$$

COSTO DE MANTENIMIENTO: C_c

Los costos de mantenimiento ocurren durante el período t_1 , es decir, cuando hay inventario disponible (para un ciclo)

Luego,

$$C_c = I_p \times C_1 \times t_1$$

Como el nivel máximo de existencias es $Q - S$ unidades, el inventario promedio durante los t_1 días es

$$I_p = I_{\max} / 2 = (Q - S) / 2$$

entonces,

$$C_c = C_1 (Q - S) / 2 \cdot t_1$$

representa el costo de mantenimiento en un ciclo T .

Para determinar el costo por período de mantenimiento aplicamos semejanza de triángulos a la figura 2.4, de la siguiente manera:

$$(Q - S) / t_1 = Q / T$$

esto es,

$$t_1 = T (Q - S) / Q$$

Luego,

$$C_c = C_1 \frac{(Q - S)^2 T}{2Q}$$

Puesto que hay N pedidos por períodos,

$$C_c = C_1 \frac{(Q - S)^2}{2Q} NT, \quad \text{donde } NT = 1$$

De esta manera, el costo de mantenimiento por período está dado por :

$$C_c = \frac{C_1 (Q - S)^2}{2Q}$$

COSTO DE AGOTAMIENTO: C_a

El costo por agotamiento se define como:

$$C_a = (\text{Costo de faltante por período}) (\text{Número de períodos})$$

Tenemos que el nivel promedio de faltantes durante t_2 será $S/2$. El costo de un faltante en un ciclo T se determina como $C_3 (S/2) t_2$

De la figura 2.4, tenemos que $S/t_2 = Q/T$, entonces,

$$t_2 = T S/Q$$

Así,

$$\text{Costo de faltante por ciclo} = C_3 \frac{S^2 T}{2Q}$$

Para N períodos se tiene,

$$C_a = C_3 \frac{S^2 TN}{2Q}, \text{ donde } TN = 1 (\text{período})$$

o bien:

$$C_a = C_3 \frac{S^2}{2Q}$$

El costo total por período se expresa como , $C_T = C_p + C_c + C_a$

Por lo tanto,

$$C_T = C_2 \frac{D}{Q} + \frac{C_1(Q-S)^2}{2Q} + C_3 \frac{S^2}{2Q} \quad (2.7)$$

Obviamente, el efecto de incluir costos por escasez repercute en un aumento de Q^* . Los costos de mantenimiento y ordenamiento son menores debido a que el inventario promedio es menor, por consiguiente, el costo total será menor que en el modelo CEP original.

Aplicando derivadas parciales a la ecuación (27) con respecto a Q , determinamos que la cantidad optima de pedido Q^* está dada por:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D C_2 (C_1 + C_3)}{C_1 C_3}} \quad (2.8)$$

Así,

$$I^*_{\max} = \sqrt{\frac{2C_2 D}{C_1} \cdot \frac{C_3}{C_1 + C_3}}$$

y

$$S^* = Q^* \left(\frac{C_1}{C_1 + C_3} \right); \quad t^* = \frac{Q^*}{D}$$

De la ecuación (2.8) también podemos afirmar que si C_3 tiende a infinito entonces, $(C_1 + C_3)/C_3$ tiende a 1 y $C_1/(C_1 + C_3)$ tiende a 0 ; se obtiene así la ecuación (21) correspondiente a una política en que no se admite agotamientos. Además cuando C_1 crece, también aumenta Q^* pero I_{\max} decrece y $S^* = Q^* - I_{\max}$ aumenta. Esta es la razón por la que muchos bienes de un valor elevado se manejan en base a pedidos pendientes.

2.1.3. MODELO TIPO CEP CON DESCUENTOS POR CANTIDADES

Los descuentos por cantidades los ofrecen las industrias o empresas como mecanismos para incentivar la compra de grandes cantidades de pedidos a costos más bajos .

Para este modelo, el costo total depende de la cantidad del pedido y su precio unitario correspondiente. Por lo tanto, en la expresión del costo total debe incluirse el costo periódico de las compras (demanda periódica D por costo unitario C).

Los costos de mantenimiento, de pedidos y de compra deben modificarse, para lograr que la cantidad pedida minimice el costo total.

De esta manera, la expresión para la **FUNCION OBJETIVO** es .

Costo Total = Costo de Mantenimiento + Costo de Pedir + Costo de Compras'

esto es,

$$C_T = \frac{Q}{2} C_1 + \frac{D}{Q} C_2 + DC \quad (2.9)$$

Calculando para diferentes cantidades de pedidos y utilizando el precio unitario en base a la categoría del descuento, podemos determinar la cantidad óptima de pedido que nos minimiza el costo total.

En general, se recomienda el siguiente procedimiento para determinar el mínimo costo:

1. Calcular una Q^* utilizando la fórmula de la CEP para el costo unitario correspondiente con cada tipo de descuento
2. Para aquellas Q^* que están por debajo del rango correspondiente al descuento supuesto, se aumenta la cantidad de pedido hasta la cantidad más próxima que permita comprar el artículo al precio supuesto.
3. Calcular el costo total con la ecuación (2.9) para las cantidades de pedidos obtenidas en (2.1) y (2.2)

2.1.4. MODELO DEL LOTE DE PRODUCCIÓN

Este modelo funciona para situaciones de producción en las que, seguido de la colocación del pedido, se inicia la producción y se agrega al inventario un número de unidades (fijo) cada período hasta que termine la tanda de producción. Para determinar el tamaño de los lotes para la producción, utilizamos los mismos conceptos generales de los modelos anteriores.

PARAMETROS DEL MODELO

D tasa de demanda o utilización

P : tasa de producción, es decir, la tasa a la cual se colocan los bienes o productos en el inventario en el transcurso del tiempo.

Las otras variables y parámetros para esta nueva situación son las mismas que las establecidas para los modelos anteriores excepto que el costo de ordenar un pedido se refiere ahora a el costo de ordenar un lote de productos o bienes de tamaño Q.

SUPUESTOS DEL MODELO

1. El reabastecimiento no es instantáneo sino que se produce a través de una tanda de producción sobre un período de tiempo.
2. Los productos o bienes se demandan y se consumen a una tasa constante.
3. La tasa de producción P es mayor a la tasa de demanda o utilización D.
(Por lo tanto $C_3 = 0$, no hay costo de agotamiento).

La figura 2.5 nos muestra el comportamiento del modelo de inventario del tamaño del lote de producción sobre un horizonte de tiempo t.

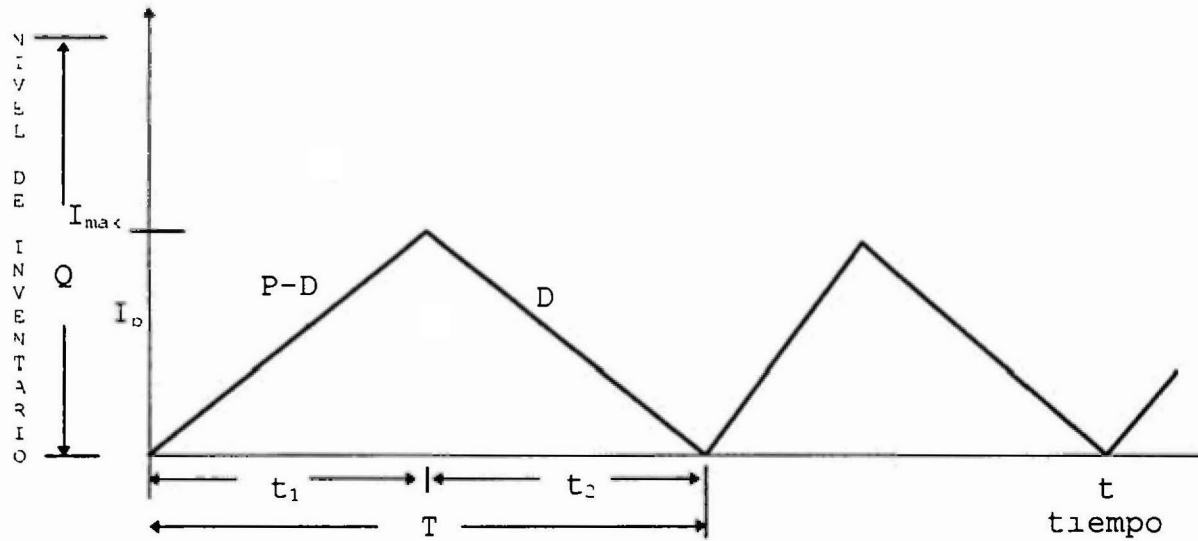


Figura 2.5 : MODELO DEL LOTE DE PRODUCCIÓN

Se trata de construir un modelo que exprese el costo total, como función del tamaño del lote de producción, y obtener el valor de la variable de decisión que representa, el tamaño óptimo del lote de producción

La **FUNCION OBJETIVO** para este modelo esta dada por:

$$\text{Costo Total} = \text{Costo de Preparación} + \text{Costo de Manejo}$$

COSTO DE PREPARACIÓN: C_p

Es el número de corridas de producción por período multiplicado por el costo de preparación de cada corrida de producción. Esto es,

$$C_p = C_2 N = C_2 D/Q$$

COSTO DE MANEJO: C_c

Estos costos se derivan del inventario promedio. El aumento del inventario durante una corrida de producción viene a ser la diferencia entre el volumen de producción y el de la demanda.

Costo de manejo = Costo unitario por Inventario promedio

En este modelo hay que ajustar el inventario máximo y el inventario promedio, puesto que, los artículos se reciben y consumen simultáneamente. Tenemos que $t_1 = Q/p$, representa el tiempo necesario para producir Q , además

$$I_{\max} = (P - D)t_1,$$

donde $P-D$ es la tasa diaria de acumulación de los inventarios durante la fase de producción.

El inventario promedio es, $I_p = t_1 (P - D) / 2$

como $t_1 = Q / P$,

$$I_p = \frac{Q(P - D)}{2P} = \frac{Q}{2} (1 - D/P)$$

Por lo tanto, el costo de manejo por período es:

$$C_c = C_1 I_p = C_1 (Q/2)(1 - D/P)$$

y el costo total es

$$C_T = C_2 (D/Q) + C_1(Q/2)(1 - D/P) \quad (2.10)$$

Derivando la función C_T respecto a Q obtenemos

$$\frac{dC_T}{dQ} = -\frac{C_2 D}{2Q} + \frac{C_1}{2} (1 - D/P) = 0$$

así .

$$Q^* = \sqrt{\frac{2C_2 D}{C_1 (1 - D/P)}}$$

con Q^* como la cantidad óptima que debe producirse para equilibrar los costos de manejo y los de ordenamiento.

Sustituyendo Q^* en (2 10) resulta,

$$C_T^* = \sqrt{2C_1 C_2 D (1 - D/P)}$$

que representa el costo total mínimo obtenido para una cantidad de producción Q^* .

El número óptimo de lotes de producción de tamaño Q^* es

$$N^* = D/Q^*$$

El tiempo óptimo entre los lotes de producción está dado por

$$T^* = 1/N^* = Q^*/D.$$

2.1.5. MODELO DEL LOTE DE PRODUCCION CON AGOTAMIENTO. (REABASTECIMIENTO UNIFORME).

Los supuestos en este modelo son los mismos que fueron considerados en el modelo anterior con la salvedad de que se permite faltantes. La gráfica de este modelo se ilustra en la figura 2.6.

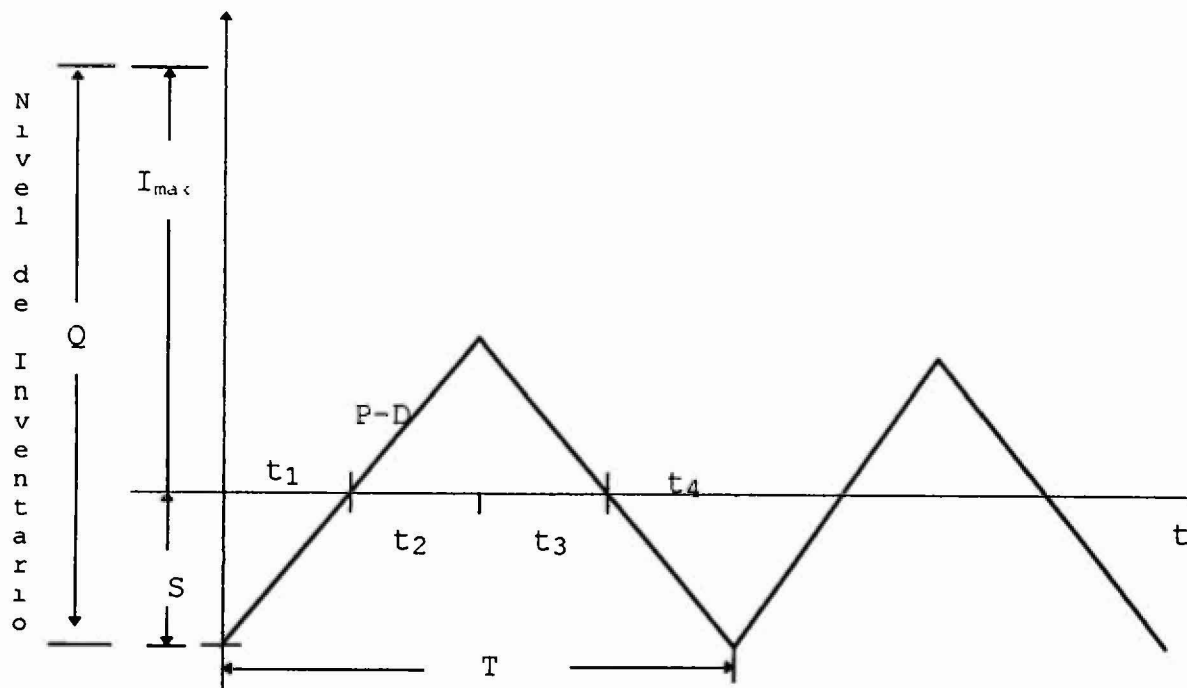


Figura 2.6 : MODELO DEL LOTE DE PRODUCCIÓN CON AGOTAMIENTO

La **Función Objetivo** viene dada por

Costo Total = Costo de Preparación + Costo de Manejo + Costo por Agotamiento

COSTO DE MANEJO : C_c

$$C_c = C_1 \times I_p$$

De acuerdo a la figura 2.6 se obtienen las siguientes relaciones

Como en $t_1 + t_2$ se producen Q unidades, tenemos que ,

$$Q = P(t_1 + t_2), \quad \text{entonces } (t_1 + t_2) = Q/P \quad (1)$$

$$I_{\max}/t_2 = P - D, \quad \text{entonces } t_2 = I_{\max}/(P - D) \quad (2)$$

$$I_{\max}/t_3 = D, \quad \text{entonces } t_3 = I_{\max}/D \quad (3)$$

$$(I_{\max} + S) / (t_1 + t_2) = P - D, \text{ entonces } I_{\max} = (P - D)(t_1 + t_2) - S \quad (4)$$

Sustituyendo (1) en (4) resulta,

$$I_{\max} = (P - D)Q/P - S \quad (5)$$

Entonces, $I_p = I_{\max} (t_1 + t_2) / 2T$

$$= 1/2Q [(1 - D/P)Q - S]^2 [1/(1 - D/P)] \quad (6)$$

Luego,

$$C_c = C_1 [(1 - D/P)Q - S]^2 [1/(1 - D/P)]$$

Por otro lado tenemos,

$$S_p = S (t_1 + t_2) / 2T,$$

pero $t_1 = S / (P - D)$ y $t_2 = S / D$

entonces,

$$S_p = S^2 / 2Q (1 - D/P)$$

COSTO DE PREPARACION : C_p

$$C_p = C_2 D / Q$$

COSTO POR AGOTAMIENTO: C_a

$$C_a = C_3 \times S_p = C_3 S^2 / 2Q (1 - D/P)$$

Por lo tanto, la ecuación para el costo total puede escribirse como

$$C_T = C_1/2Q [(1 - D/P)Q - S]^2 [1/(1 - D/P)] + C_2D/Q + C_3S^2/2Q(1 - D/P)$$

Derivando parcialmente esta última ecuación con respecto a S y Q, determinamos la cantidad óptima S* y Q*, dadas en la siguiente manera :

$$S^* = C_1 Q (1 - D/P) / (C_1 + C_3)$$

y

$$Q^* = \sqrt{2 C_2 D / C_1 (1 - D/P) [(C_1 + C_3) / C_3]}$$

CAPITULO III.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN JUSTO A TIEMPO.

Este capítulo se inicia con la descripción de la filosofía de un sistema de producción justo a tiempo (JIT), que busca eliminar todas las fuentes de desperdicios y todo aquello que no agrega valor a las actividades de producción, para obtener la parte correcta en el lugar y tiempo oportuno. De igual forma, se describen los objetivos básicos del sistema JIT y un planteamiento diseñado para su implementación, de forma que se logre el máximo beneficio con su aplicación. Finalizamos con el Modelo Matemático de Bitran y Chang para un sistema Kanban determinístico de producción.

3.1. PRINCIPIOS BASICOS.

El sistema de producción justo a tiempo resulta ser una técnica sencilla, diseñada por los japoneses, que en muchas ocasiones, proporciona a las empresas controles mucho más estrictos del inventario de los que pueden lograrse con los métodos tradicionales occidentales llevados, incluso, por computadoras

La idea central del JIT es que todos los materiales estén activamente en uso como elementos de la producción en proceso, nunca en reposo y acumulando costos de almacenaje. Es por esta razón que muchas personas llaman a esta técnica **producción sin inventario o cero inventario**. Los partidarios de esta teoría, Hall (1983) y Schonberger (1982) y (1987), sostienen la tesis de que el inventario representa ineficiencia.

La producción en el sistema JIT se analiza como un sistema de control de inventario ; como un instrumento de control de calidad y de despilfarro , como estructura moderna de una empresa que trata de aumentar la rentabilidad y equilibrar las líneas de producción ; así como la búsqueda de una participación dinámica y motivada del empleado.

Así, con la aplicación de JIT, se busca principalmente que las empresas.

- Reduzcan los tiempos de preparación
- Reduzcan los tamaños de los lotes de producción
- Reduzcan las cantidades entregadas a los proveedores

La reducción del tamaño de los lotes significa beneficios, pues se mejora la calidad en la producción (menos inventario para manejar y

controlar) y se disminuyen los desperdicios. La figura 3.1 muestra un esquema general de las ventajas del sistema de producción justo a tiempo

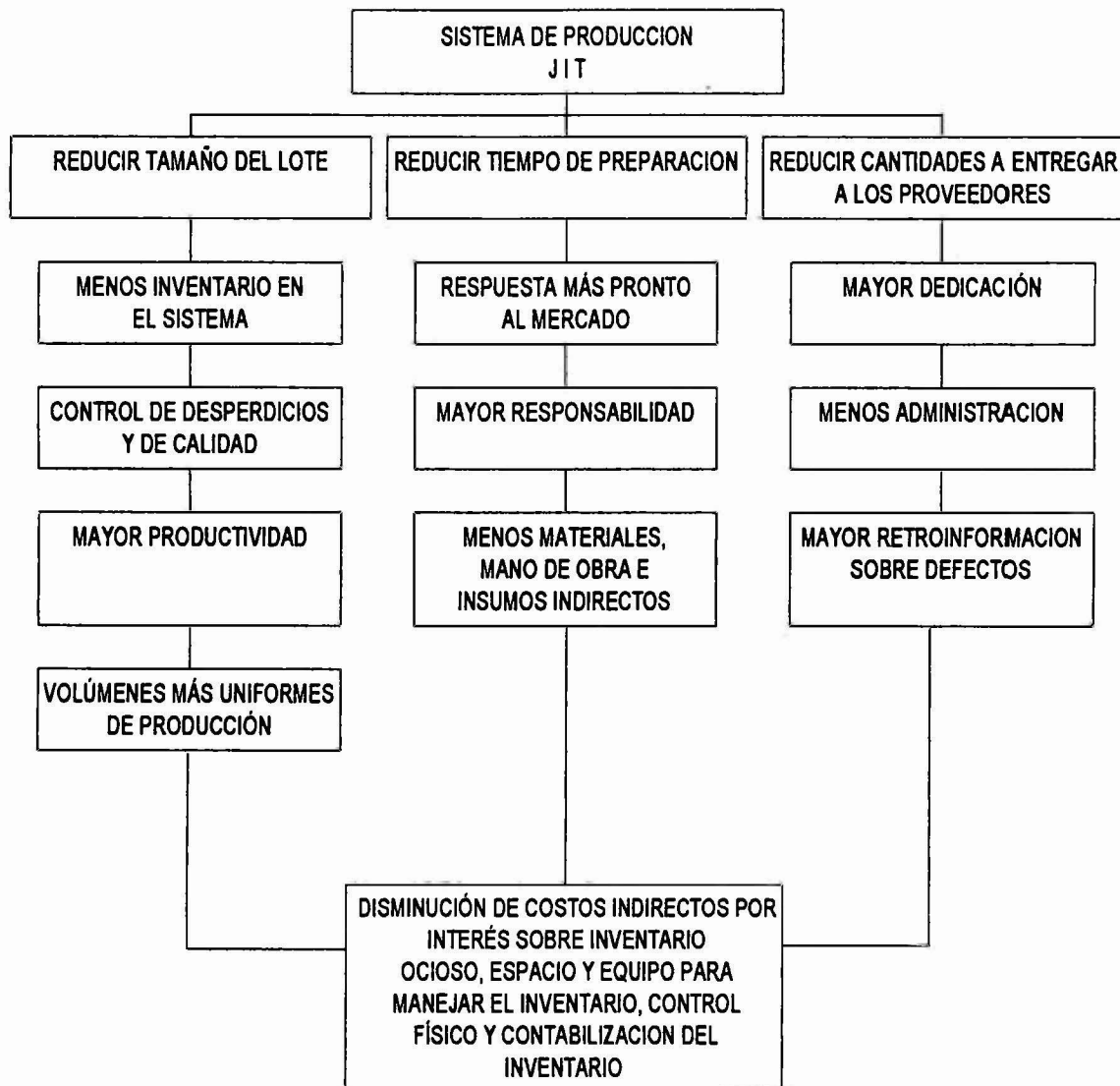
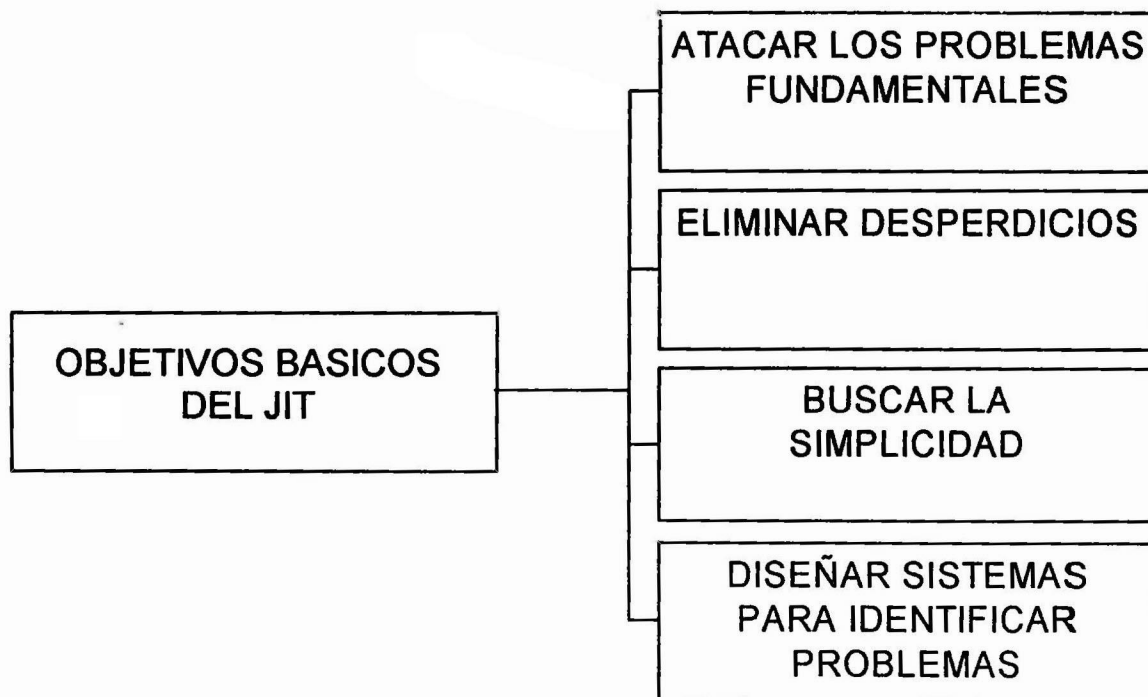


Figura 3.1 : ESQUEMA GENERAL DE LA PRODUCCION JIT.

3.2. OBJETIVOS FUNDAMENTALES DEL JIT.

En esta sección daremos una visión global del JIT, de modo que se conozca el perfil sobre el cual subyace la filosofía de este sistema y proporcionar así la estructura alrededor de la cual se pueden implantar las cinco fases necesarias para obtener una aplicación exitosa.

El JIT tiene cuatro objetivos básicos, que describiremos en el siguiente diagrama:



3.2.1 ATACAR LOS PROBLEMAS FUNDAMENTALES.

El JIT ataca los problemas en vez de ocultarlos. Esto es, busca cuales son las causas del problema para luego contrarrestarlo. Para describir este objetivo los japoneses lo comparan a un río de existencias. (Figura 3.2).

Del mismo modo en que los niveles altos del agua en un río ocultan las rocas peligrosas, los altos niveles de inventarios en una empresa ocultan fuentes de ineficiencia, lo que implica una baja calidad en la producción.

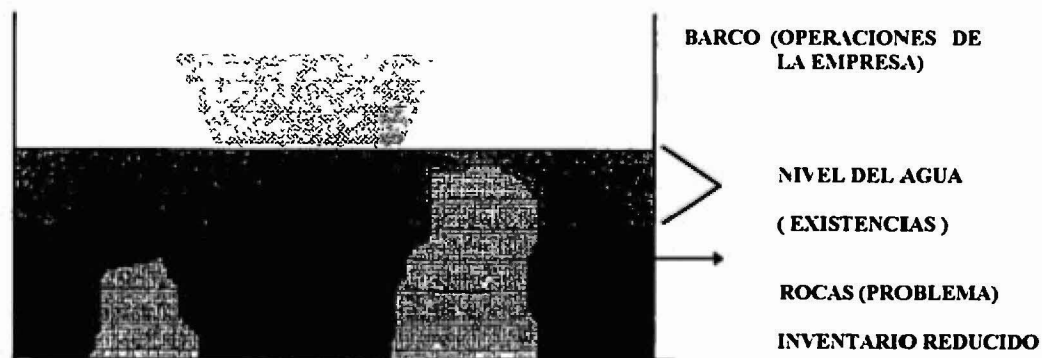


Figura 3.2: RÍO DE EXISTENCIAS

Si una empresa trata de bajar el nivel de existencias (agua) encuentra problemas (rocas). Frente a esta situación las técnicas tradicionales de inventarios (Occidentales) conducen a la solución de aumentar las existencias para ocultar el problema, sin embargo, el JIT indica que estos problemas hay que enfrentarlos y resolverlos (quitar las rocas del río).

Cuando exista una máquina o proceso que provoque un cuello de botella, el JIT recomienda reducir el tiempo de preparación para conseguir una mayor capacidad, buscar máquinas o procesos alternos, comprar capacidad adicional, etc

Cuando se detectan tiempos largos entre lotes de producción, se intenta identificar cuáles son las causas. Entre las posibles causas se pueden mencionar máquinas poco fiables, máquinas o procesos que causan cuellos de botella, falta de control en la fábrica y un deficiente control de calidad

3.2.2. ELIMINACIÓN DE DESPERDICIOS

Este segundo objetivo trata de eliminar toda actividad ineficiente, es decir, todo aquello que no agrega valor al producto tales como: el transporte, el inventario, la inspección, etc. Así se reducirán costos, se obtendrán productos de alta calidad, se disminuirán los tiempos de ciclo y se brindará un mejor servicio al cliente

Analizaremos como ejemplo, la inspección y el control de calidad. El enfoque tradicional consiste en colocar inspectores situados, estratégicamente, con el fin de interceptar o detectar las piezas dañadas. Esto, por un lado, implica mayor uso del tiempo, y por el otro, que la falla sea descubierta tardíamente, lo que conllevaría a deshacer o reprocesar todo un

lote El JIT sugiere que las cosas se hagan bien desde el principio trabajando con productos de buena calidad o evitando que los productos se desvíen de lo normal, haciendo que el operario controle el proceso y ejecute las medidas correctivas necesarias con base en ciertas pautas que debe intentar lograr

Otro ejemplo de una actividad improductiva o deficiente es el Inventario El enfoque del JIT sostiene que las existencias ocultan los problemas por lo que hay que ir reduciéndolos y exponiéndolos gradualmente Una reserva alta implica costos de almacenaje, de devolución si hay mala calidad, y de obsolescencia Todo esto se resolvería con una mayor frecuencia de suministros y mayor flexibilidad

En este aspecto, se requiere sostener una lucha continua por ir aumentando cada vez más la eficiencia de la organización Esto requiere, en gran parte, la colaboración de los empleados Por lo tanto, hay que involucrar a los empleados con programas dinámicos que le den participación, donde éstos se sientan que sus aportes y sugerencias son de gran ayuda para mejorar la productividad de la empresa

3.2.3. BUSCAR LA SIMPLICIDAD

El tercer objetivo de la filosofía JIT es la búsqueda de soluciones simples para el funcionamiento del sistema de producción, basándose en la

premisa de que enfoques simples conllevan una gestión más eficiente. Para el logro de este objetivo se toman en consideración dos aspectos.

1- El flujo de material.

Se trata de remplazar las rutas complejas de flujos de piezas y productos de una empresa por líneas de flujo más directas (Unidireccionales)

La simplicidad del JIT se enfoca hacia la necesidad de simplificar la complejidad de la fábrica y adoptar un sistema simple de controles. Esto se puede hacer agrupando los productos en familias y reorganizando los procesos, de forma que cada familia de productos se fabrique en una línea de flujo. Esto podría reducir la cantidad de productos en curso, así como los tiempos de fabricación. Otras ventajas son.

- La gestión es más fácil debido a la independencia de las líneas de flujo.
- Se mejora la calidad, pues hay menos pedidos urgentes.

2- Controles.

Se requiere el control de las líneas de flujo. El JIT recomienda un control simple, proponiendo un **sistema de arrastre de trabajo (Kanban)**. Este último concepto será ampliado en la sección 3.4.1. De esta forma, se elimina así el conjunto de flujo de datos complejos.

Cuando la última operación termina el trabajo, se envía una señal a la operación anterior, comunicándole que tiene que producir más artículos, éste hace lo mismo con su predecesor y así, se sigue retrocediendo toda la línea de flujo. La Figura 3.3 muestra, en términos generales, el comportamiento dinámico de un sistema de arrastre Kanban.

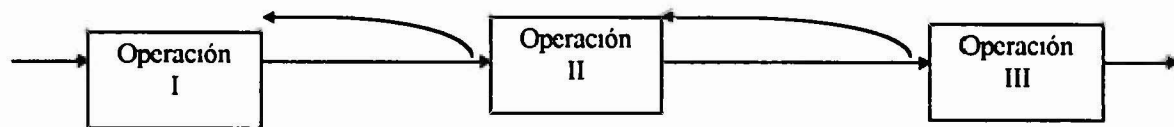


Figura 3.3: SISTEMA DE ARRASTRE KANBAN.

Estos sistemas de arrastre Kanban aseguran que la producción no exceda de las necesidades inmediatas, de forma que se reduzca los niveles de existencias y los tiempos de fabricación. El período de tiempo improductivo se aprovecha para eliminar las fuentes de problemas posteriores con un programa de mantenimiento preventivo.

3.2.4 DISEÑAR SISTEMAS PARA IDENTIFICAR PROBLEMAS.

Además de los sistemas de arrastre Kanban para identificar los problemas, existen otros sistemas con la misma finalidad, como es el uso de control de calidad estadístico. Para identificar un problema en la forma adecuada, la administración debería estar dispuesta a pagar un alto precio

Como ejemplo a lo señalado, tenemos el caso de la línea de producción de la Toyota. A cada trabajador se le hace responsable de una pieza del carro según las necesidades. Por ejemplo en el caso que falle una luz de freno, el trabajador involucrado se ve obligado a llamar la atención, de modo que se hagan los correctivos para resolver el problema y poner a funcionar la línea nuevamente. Se debe tener la disposición de aceptar una reducción de la eficiencia a corto plazo con el propósito de obtener ventajas a largo plazo.

Con la aplicación del JIT, los sistemas deben diseñarse, de forma que se envíe algún tipo de aviso en el momento que surja algún problema y se reactiven una vez que este sea superado.

3.3. IMPLANTACION DEL JUSTO A TIEMPO.

La implantación del sistema JIT consta de cinco fases esenciales que conllevan a una aplicación eficiente; es decir, una aplicación profesional, informada y resuelta que produzca la más alta tasa de rentabilidad.

3.3.1. FASE 1 : INICIALIZAR EL SISTEMA .

La forma como el sistema inicia su funcionamiento es fundamental, puesto que, de aquí depende la efectividad de la aplicación . Aunque una

mala aplicación proporcione algún beneficio, se gana más si se hace bien el trabajo desde el principio

La puesta en marcha de esta primera fase de implantación del sistema implica seis etapas que, realizadas de forma simultánea, conducen a la empresa por el camino de una aplicación satisfactoria. Estas etapas son

i. Comprensión básica de la filosofía.

Esta etapa involucra al personal clave que toma las decisiones de la empresa: directores, gerentes, jefes de producción, de fabricación, de finanzas, de ventas, de compras, etc. También involucra el conocer el éxito logrado y las limitaciones de otras empresas, de manera que sirvan como parámetros y fuerza motora para la aceptación, por su propia empresa, de esta filosofía. Este personal clave se encarga de la educación preliminar de los que ocupan las altas posiciones de la empresa mediante charlas, seminarios y otras técnicas que permitan conocer la información necesaria, para valorar los beneficios y escollos del mismo.

Al finalizar esta etapa, se espera que los pioneros tengan un adecuado conocimiento del JIT y de lo que significa una buena aplicación de éste. Entonces, se continúa con la siguiente etapa, que es comenzar con un programa de educación preliminar para el resto del personal.

Una adecuada y planificada educación preliminar es necesaria, puesto que una buena aplicación del JIT requiere de ciertos cambios. Por lo tanto, el objetivo de esta etapa es dar una visión general del JIT, de cómo se implanta y de dar a conocer los posibles costos y beneficios. Esta educación debe ser objetiva, incluyendo casos donde se ha aplicado el JIT con los respectivos análisis de los resultados obtenidos.

ii. Análisis de Costo-Beneficio.

Los enfoques tradicionales de control de fabricación exigen grandes inversiones de capital, en donde la mayor parte de estos costos radican en hardware y software informáticos. Sin embargo, el JIT requiere muy poca inversión de capital para su aplicación y todos los costos que implica son, en su mayoría, costos de formación.

Cuando el JIT da margen para la obtención de artículos de mejor calidad (menos desperdicios y más partes buenas), el tiempo y el dinero gastados en la corrección disminuyen, al igual que los costos de los materiales desperdiciados. Además, los beneficios de un espíritu motivador del empleado también pueden ser igualmente significativos.

Por lo tanto, este análisis tiene que ser realizado cuidadosamente y puede dividirse en dos tipos:

1 Tangibles y cuantificables (duros)

2 No cuantificables (blandos)

COSTOS / BENEFICIOS

Duros	Blandos
Reducción de Existencias	Aumento de la eficiencia de personal
Reducción de Productos en Cursos	Mejor Servicio al Cliente
Reducción de Obsolescencia	Control del tiempo
Reducción de Costo de Transporte	Actitud Personal
Aumento de Utilidades	Aumento de las ventas

Es por esto que el JIT es considerado como una política de bajo costo y alta rentabilidad.

iii. Compromiso Gerencial.

Para una aplicación satisfactoria del JIT se requiere un compromiso de los altos directivos, ya que esta etapa exige una justificación y autorización para conseguir el nivel adecuado de inversiones. Los altos directivos son quienes tienen la autoridad y la potestad de efectuar los cambios que requiere la aplicación del JIT.

Por otro lado, tenemos la gestión de personal, que implica el cuidado que deben tener los altos directivos al realizar los nombramientos o cambios

importantes de personal en el transcurso de la aplicación. Esto podría afectar el óptimo desarrollo del sistema.

El tercer aspecto, debido a que obliga a divulgar y demostrar el compromiso adquirido, presenta un matiz psicológico de mayor profundidad y como consecuencia existe más posibilidad de aceptación por parte de los cargos inferiores.

Este compromiso establecerá el presupuesto de aplicación, la conformación del equipo del proyecto y las fechas de inicio y término de la aplicación.

iv. Tomar la decisión.

Los altos directivos deben decidir si la empresa está preparada o no, para asumir los cambios o la inversión financiera que implica adoptar el JIT. Una decisión positiva indica que la empresa acepta asumir los riesgos y ello implicará un progreso rápido y contundente hacia la aplicación del JIT, mientras que una decisión negativa podría afectar la rentabilidad de la empresa y hasta su supervivencia. Si la empresa no está preparada para el cambio, es preferible esperar, aunque esto represente un alto costo para ella.

Algunas interrogantes que conducen a la conclusión de esta etapa son.

- ¿ Se realizó la etapa de comprensión básica?
- ¿ Se efectuó la educación preliminar?
- ¿ El análisis costo/beneficio indica una buena rentabilidad?
- ¿ Existe el compromiso de los altos directivos?
- ¿ Se han involucrado todos los departamentos de la empresa?

Una respuesta afirmativa a ellas indica que la empresa está preparada para poner en práctica el JIT. Otra alternativa es iniciar con una aplicación a una pequeña escala y ampliarse progresivamente.

v. Selección del equipo .

Para realizar una aplicación exitosa del JIT, se requiere un equipo dinámico, optimista y de calidad. Para ello se debe contar con:

a. Un jefe a tiempo completo

Así se invertiría el tiempo adecuadamente y la atención necesaria para coordinar el proyecto. Este jefe debe ser un empleado con buena experiencia, de calidad comprobada, comunicativo y sociable.

b. Un equipo de aproximadamente diez personas claves

c. Un programa agresivo de aplicación.

d. Programar una o dos reuniones semanales sin exceder de dos horas, con la total participación de los miembros, si es posible.

vi. Identificación de la planta piloto.

Es importante que parte del equipo proceda de una planta piloto. En empresas grandes, se selecciona una planta piloto para experimentar una aplicación preliminar del JIT y posteriormente implementarla en todas las otras plantas. Por lo tanto, la planta piloto debe ser representativa de todas las demás. El hecho de seleccionar una planta compleja como planta piloto, podría ser de gran importancia, puesto que el funcionamiento del JIT en ésta , demuestra todo el potencial al resto del personal. Algunas de las características que debe poseer la planta piloto son:

- a. Relativamente autónoma.
- b. Presentar algunas dificultades reales.
- c. Representativa de las demás plantas de la empresa.
- d. Geográficamente, debe estar en un sitio estratégico.

Es importante reiterar que el éxito de esta implantación repercutirá posteriormente en la aplicación en otras plantas.

La figura 3.4 muestra un ejemplo de la duración ideal para toda la primera fase.

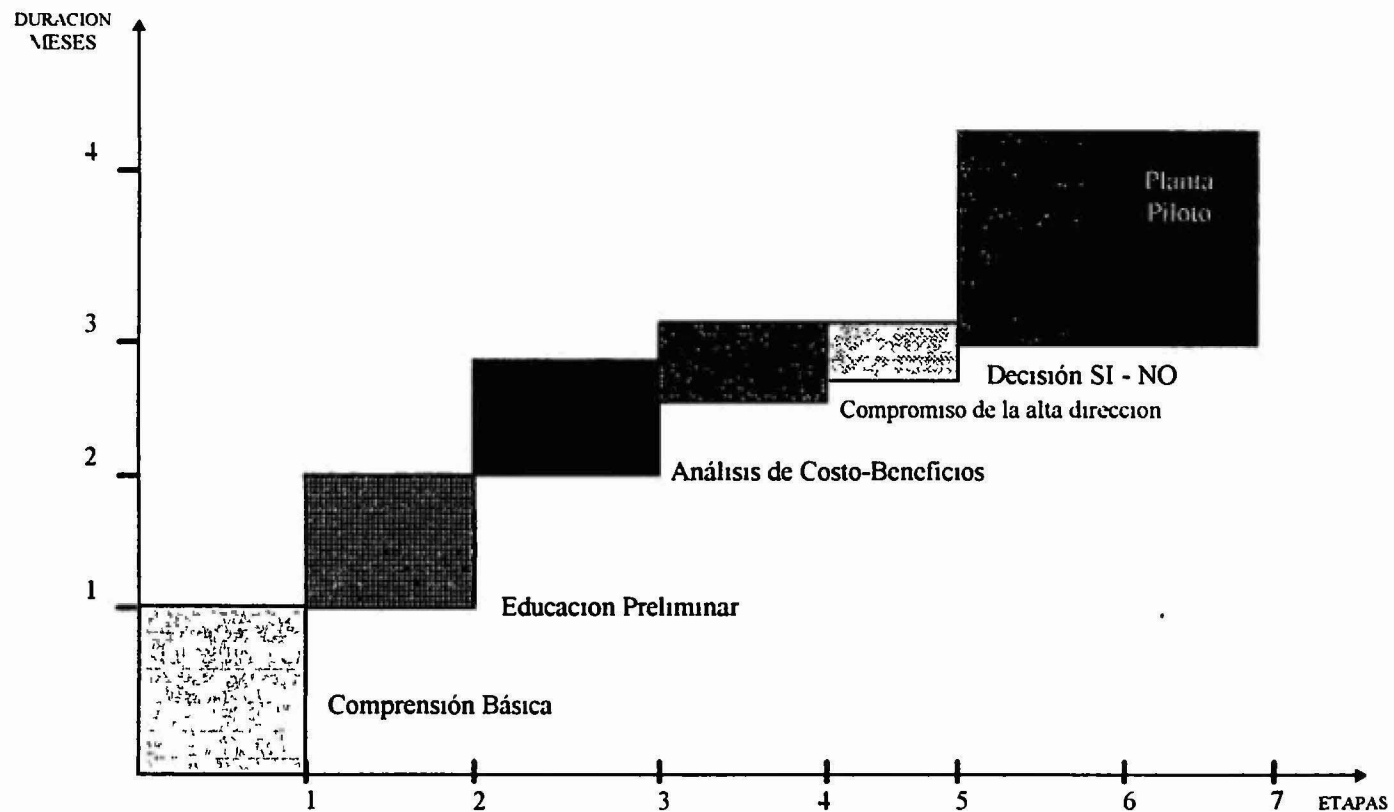


Figura 3.4: DURACIÓN IDEAL DE LA PRIMERA FASE.

3.3.2. FASE 2 : EDUCACION GLOBAL.

La educación es la clave del éxito en la implantación del JIT, y si se realiza en una forma adecuada, impulsaría a gran escala una aplicación de este método de manera continua

El personal de la empresa debe asimilar muy bien la filosofía del JIT para poder cambiar la forma de trabajar y su comportamiento, por lo que es necesario que la empresa estructure un programa de educación global

Los programas de educación global pueden ser cursos o seminarios dentro o fuera de la empresa, diseñados por un profesional del JIT con experiencia en su aplicación. Estos programas deben dividirse en dos partes:

- a. Capacitación inicial para la fase de aplicación;
- b. Capacitación permanente y actualizada una vez puesto en práctica el JIT

3.3.3. FASE 3 : MEJORAR LOS PROCESOS.

Esta fase contempla los cambios físicos del proceso de fabricación para obtener una producción justo a tiempo. Estos cambios implican tres aspectos:

- 1 Reducción del tiempo de preparación
- 2 Uso de un mantenimiento preventivo.
3. Adoptar nuevas líneas de flujo.

El tiempo de preparación es el necesario para cambiar una máquina, de modo que pueda procesar otro tipo de producto. Un tiempo de preparación excesivo tiene diversas desventajas, pues en éste la máquina no produce nada y se tendrían que producir lotes grandes para cubrir posibles faltantes en este período

Sin embargo, al reducir los tiempos de preparación, la máquina es más eficiente, se fabrican lotes pequeños, disminuyen los plazos de fabricación, bajan los niveles de existencias y existen menos riesgos de obsolescencia

Algunas formas para reducir el tiempo de preparación son

- a Separar la “ preparación interna ”, que se refiere a acciones que requieren que las máquinas estén paradas, de la “ preparación externa”, que se refiere a acciones que se pueden realizar con las máquinas en funcionamiento
- b Convertir, hasta donde sea posible, la preparación interna en externa
- c Eliminar el proceso de ajuste, esto es, preparar accesorios, afilar y ajustar herramientas etc antes de parar las máquinas

Otro aspecto para mejorar el proceso de producción bajo el JIT, es el mantenimiento preventivo. En esta política las actividades de mantenimiento son asignadas a los propios operadores, de forma que estos sean los responsables de este trabajo, además de los rutinarios. Esta acción resulta efectiva, ya que los trabajadores solucionan los problemas al momento que surgen, antes que se vuelvan crónicos. Los operarios deben . comprobar los niveles de lubricantes de la máquina ; añadir lubricante, si es necesario ; comprobar el desgaste y detectar ruidos o vibraciones no rutinarias.

3.3.4. FASE 4 :MEJORAS EN EL CONTROL.

En esta fase se establece el sistema de control de producción de control de la fábrica. El mecanismo de control básico en torno al JIT es un sistema de arrastre. Como su nombre lo indica, estos sistemas “arrastran” el trabajo de producción desde su inicio hasta su culminación. Este concepto es aplicado de diferentes formas, dependiendo de las características del sistema de fabricación.

La Figura 3.5 representa el funcionamiento de este sistema. Los artículos pasan a través de la línea de flujo desde la operación uno (OP 1) hasta la operación dos; luego a la operación tres y así sucesivamente, hasta la operación final. Cuando existe la demanda de un artículo, este se retira en la operación final y luego se distribuye. Por ejemplo, cuando la operación cuatro agota sus existencias envía una señal a la operación precedente (OP 3) para satisfacer este faltante. Luego, la operación tres produce los componentes para enviarlos a la operación cuatro. Cuando comienzan a disminuir los componentes de la operación tres, ésta envía una señal a la operación dos. Este proceso se repite a través de todo el sistema de fabricación, mientras dure la etapa de producción.

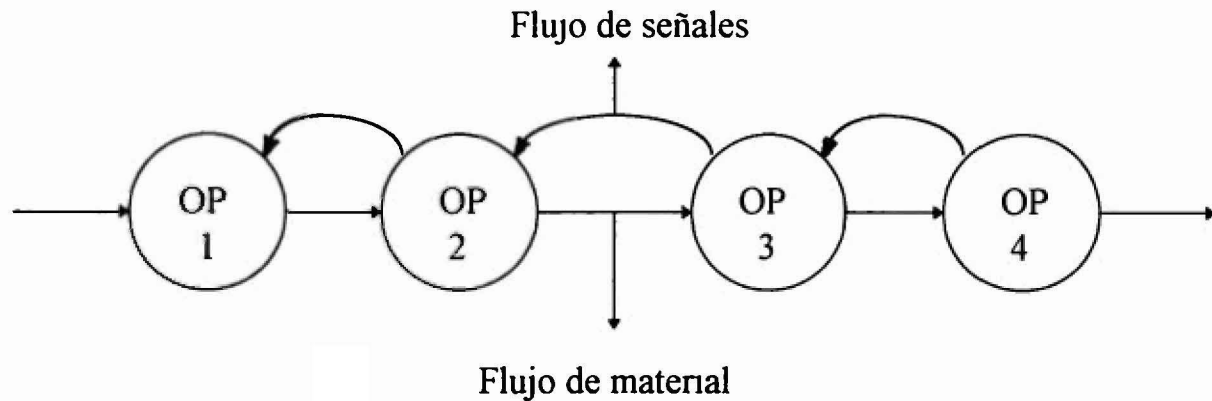


Figura 3.5: FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE ARRASTRE.

Algunas consideraciones importantes para los sistemas de arrastre son

- * Las operaciones no producen ningún artículo que no sea necesario para la operación posterior.
- * La información de control fluye en reversa a través de todo el sistema de fabricación mientras que el flujo de material va en dirección opuesta.
- * Estos sistemas ayudan a identificar los problemas y a solucionarlos rápidamente.
- * Reducen los tiempos de ciclo y la cantidad de productos en curso.

3.3.5. FASE 5 : RELACIONES PROVEEDOR- CLIENTE.

La relación proveedor-cliente constituye la última fase de la aplicación del JIT, donde su objetivo es el de ampliar las perspectivas de las empresas, mejorar la calidad y reducir costos.

Incluir a los clientes y proveedores en la aplicación del JIT, aportará mayores beneficios. Hay que considerar que al establecer vínculos que favorezcan al JIT, los proveedores pueden ser varios ; los contratos con ellos pueden ser a corto o largo plazo y pueden ser proveedores locales o foráneos.

El último eslabón del JIT es establecer vínculos con los clientes principales, cuyo objetivo global es el de mejorar la respuesta del sistema JIT a los cambios y exigencias del mercado.

La figura 3 6 muestra una secuencia apropiada en la implantación del JIT con una duración de un año a partir del día D. Se observa que se pueden programar varias fases en paralelo, debido a que el tipo de personal que se requiere para cada fase no es necesariamente el mismo.

La fase está en Primer Plano cuando se encuentra en vías de ejecución, o en proceso de retroalimentación y en Segundo Plano cuando está en plena

ejecución La primera fase tiene que haberse completado antes del día D, para luego ejecutar las siguientes fases

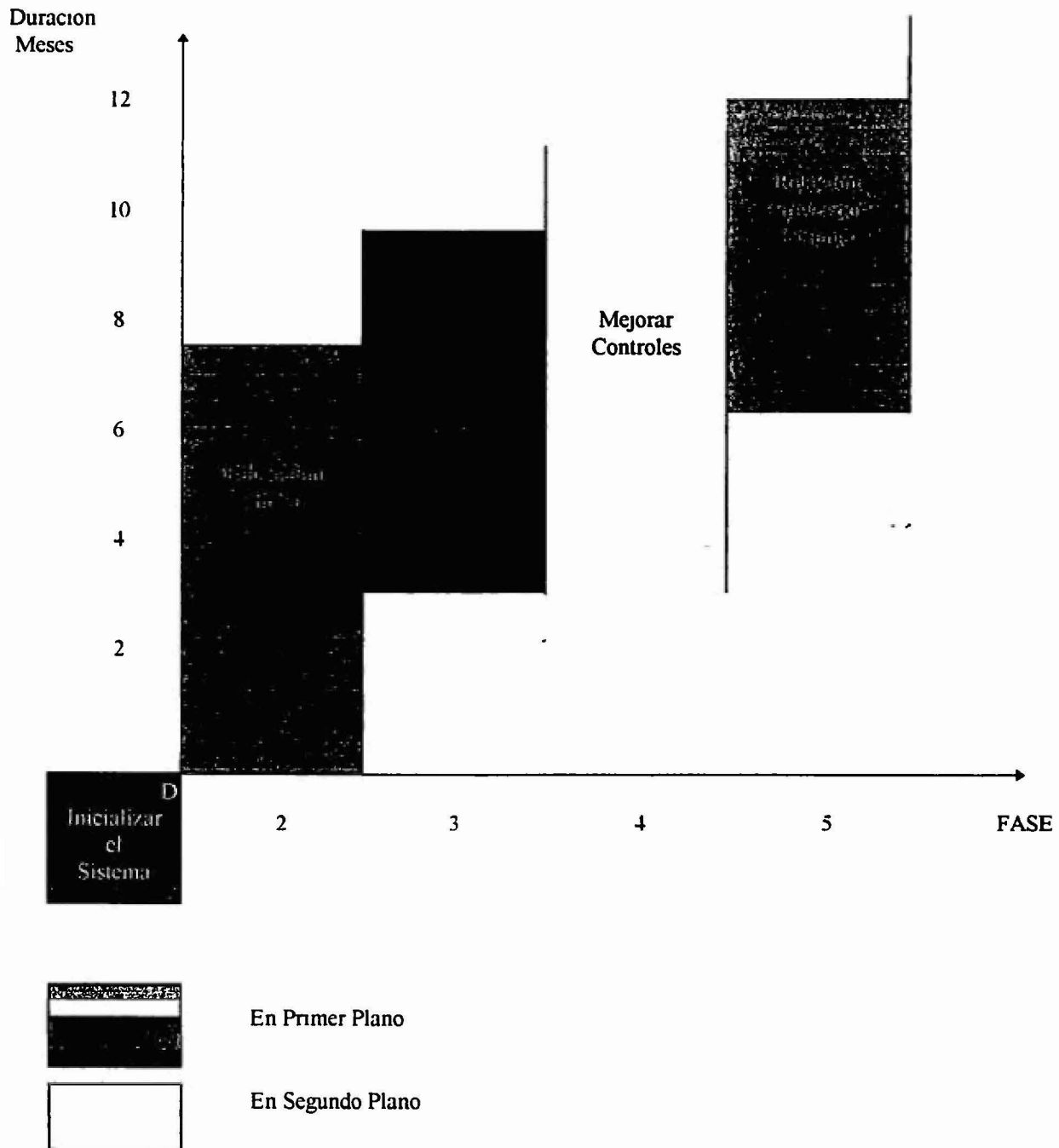


Figura 3.6 :DURACION IDEAL DE LA PLICACION DEL JIT

3.4 MODELO DETERMINISTICO DE UN SISTEMA KANBAN .

3.4.1 SISTEMAS KANBAN.

El sistema de arrastre Kanban es simple y su ejecución proporciona ciertas ventajas no necesita un control informático complejo y una vez puesto en práctica, los sistemas tipo arrastre pueden ser mejorados gradualmente hasta alcanzar su máxima eficiencia

En un sistema de arrastre Kanban, el supervisor ve inmediatamente los efectos y causas de los problemas que se presenten, por lo que puede tomar sus propias decisiones de forma más efectiva. Además, si están bien diseñados son muy sólidos y sólo un problema grave (p.e. un incendio o un cambio de equipo imprevisto), distorsionaría su funcionamiento.

Los sistemas de arrastre Kanban pueden dividirse en sistemas de tarjeta única y sistemas de tarjeta doble, pero la mayoría de las aplicaciones utilizan el primero. Además de tarjetas, pueden utilizarse otros mecanismos como fichas y redes informáticas.

Originalmente, el sistema Kanban diseñado por Toyota para desarrollar producción “ justo a tiempo ”, tenía el objetivo de mantener un estricto

control sobre el inventario y hacer que los problemas ocultos salieran para que así fueran corregidos debidamente

Este sistema, que le permitió a la Toyota hacer grandes recortes en la inversión en los inventarios, revolucionó a todos los profesionales de la producción mundial. La mayoría de las investigaciones que se han realizado al respecto, se enfocan en la comparación del sistema Kanban (método de producción japonés) y los métodos occidentales de producción como lo son los modelos de la cantidad económica de pedidos (CEP) y el método de planeación basado en los requerimientos de materiales (PRM)

3.4.2. DESCRIPCION DEL SISTEMA KANBAN.

En el lenguaje japonés, la palabra “Kanban” se refiere a una tarjeta o una señal que sirve para indicar una orden de compra, una orden de producción o una de entrega. Llamaremos **contenedores** a los recipientes o envases donde se almacenan o transportan las partes o mercancías. Los artículos son colocados en contenedores de manera que diferentes artículos se ubican en contenedores diferentes. Una vez que el contenedor es llenado, se le coloca o adhiere un Kanban. Generalmente, cada Kanban debe llevar la siguiente información

- 1 Nombre del artículo
2. Número del artículo.
- 3 Descripción del artículo.
- 4 Tipo de contenedor.
- 5 Capacidad del contenedor.
- 6 Número de identificación del Kanban.
- 7 Etapa precedente
8. Etapa subsiguiente.

La Figura 3.7 ilustra el sistema Kanban de una tarjeta. La etapa n representa una etapa intermedia dentro de la línea de producción. Esta comprende un proceso de producción denotado por P^n y un punto subsiguiente de inventario asociado I^n .

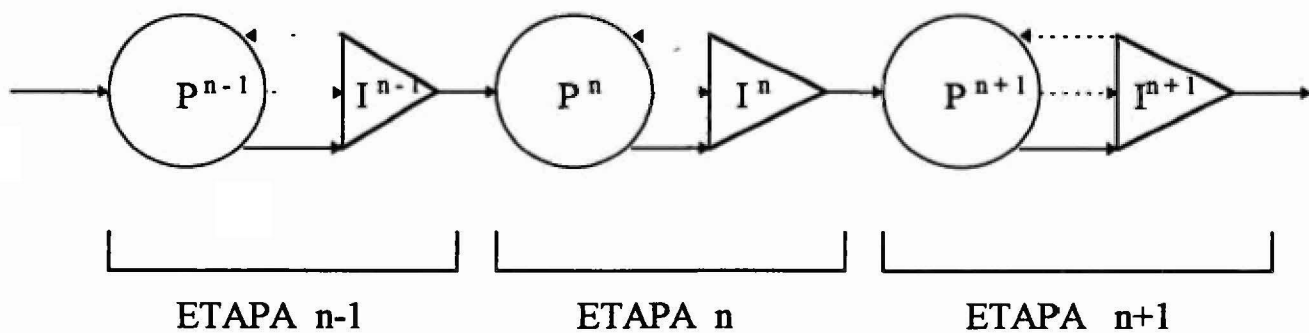






Figura 3.7: ESQUEMA PARA UN SISTEMA KANBAN DE UNA TARJETA.

-  · Reserva de seguridad o Punto de inventario
-  : Proceso de producción
-  · Flujo de artículos
-  · Flujo de Kanban

Tomando como entrada los artículos almacenados en el punto de inventario de la etapa inmediata anterior a la etapa n , (I^{n-1}), el proceso de producción P^n produce sus propios artículos para llenar uno o varios contenedores y luego almacenarlos en el punto de inventario I^n . Cuando un contenedor esta lleno, un Kanban es adherido a él. Cuando la primera pieza de este contenedor es usada por el proceso de producción subsiguiente (P^{n+1}), el Kanban originalmente adherido es despegado y se coloca aparte. Terminado un período (ciclo de tiempo), todos los Kanban despegados en I^n durante ese período se recogen y son enviados de regreso a P^n . Estos Kanban sirven para indicar nuevas órdenes de producción para el siguiente período. Análogamente para todas las etapas.

Generalmente, en las etapas de producción, se utiliza la regla FIFO (primero en entrar, primero en salir) para procesar las órdenes. Esta regla se repite hacia atrás en toda la línea de producción.

Algunas consideraciones relevantes del sistema Kanban son las siguientes

1. El número de Kanban que circula entre P^n e I^n no se modifica a lo largo del tiempo, a menos que el gerente o la administración decida agregar o eliminar tarjetas en la etapa n .
2. El número de Kanban que circula entre P^n e I^n también limita el máximo inventario acumulado en I^n .
3. El movimiento de Kanban entre P^n e I^n está controlado por el inventario retirado desde I^n por el sucesor inmediato. Esto es, P^n producirá para reponer lo que ha sido retirado desde I^n .
4. La circulación de Kanban, dentro de cada etapa implica que todas las etapas de la línea de producción están mutuamente entrelazadas.

La Figura 3.7 además de representar un sistema de producción en serie, es aplicable también para una línea de producción de ensamblaje, de distribución o de tipo mixto.

3.4.3 ANTECEDENTES .

En la literatura concerniente a inventario, existen varios estudios que tratan de establecer reglas y normas que permitan determinar el número óptimo de Kanban en los sistemas de producción justo a tiempo. Entre estos

podemos citar : Moden, Y. (23) establece que el número de Kanban debería ser minimizado bajo el supuesto de que su número entre dos estaciones adyacentes representa el nivel máximo de inventario y por ende, debe mantenerse en un mínimo. Wang y Wang (21) han dirigido sus investigaciones al problema de la determinación del número de Kanban para una diversidad de configuraciones de producción. Philipoom (15), mediante un análisis de simulación, estableció cuatro grandes factores que inciden en el número de Kanban: la velocidad, el coeficiente de variación de los tiempos de procesamiento, la tasa de utilización de las máquinas y la autocorrelación entre los tiempos de procesamiento. Sin embargo, asume que la tasa de demanda es relativamente constante. Gravel y Price (9) implementaron el sistema Kanban en una industria manufacturera de mediana magnitud en un ambiente de trabajo de taller. Entre algunas de sus conclusiones, señalaron que la capacidad del contenedor puede afectar la productividad, por lo que realizaron un experimento en el taller para determinar la capacidad apropiada. Usaron técnicas de simulación, para examinar los efectos de tres reglas de asignación, designando una gran cantidad de máquinas, para reducir el inventario y el tiempo de preparación de cada orden. David y Stubitz (5) dirigieron sus estudios al desarrollo de una estrategia para el control de

producción de un fabricante de puertas, usando una configuración Kanban. El sistema de producción no presentaba un taller de flujo rápido. Además, no había equilibrio en los procesos de producción, es decir, los tiempos de producción y las demandas para un proceso dado no estaban balanceados.

3.4.4 DESCRIPCIÓN DEL MODELO.

El modelo que se presenta, de Programación Matemática Entera no lineal, fue propuesto por Gabriel R. Bitran y Li Chang (2). Este modelo está diseñado para un sistema Kanban en una línea de producción de ensamblaje con múltiples etapas y varios períodos de estructura en forma de árbol. El modelo proporciona a la administración la mejor forma de determinar el número de Kanban circulante y, por consiguiente el nivel de inventario en cada etapa.

A pesar de que en el modelo no se usa como parámetro el tamaño del contenedor, sí se limita la capacidad de producción. Además, el modelo no incorpora los imprevistos (cambios en la demanda , daños en el equipo), por lo que los administradores deben ajustar el número de Kanban obtenido de la solución del modelo. Es recomendable revisar periódicamente el modelo, de

manera que, según los pronósticos de la demanda, pueda incorporarse cualquier información adicional oportunamente.

Inicialmente consideremos una línea de producción de $(N + 1)$ etapas, donde en cada una se produce un tipo de artículo.

Sea $n \in \{ 0, 1, 2, \dots, N \}$, donde n indica una etapa cualquiera.

Decimos que si $n_1 < n_2$, entonces la etapa n_1 es la que sigue a la etapa n_2

Denominaremos un artículo por medio del índice de la etapa donde se produce. La etapa final denotada por la etapa cero, constituye la operación de ensamblaje final (P^0), mientras que cada etapa previa a la etapa final contempla el proceso de producción y su correspondiente punto de inventario. En la figura 3.8, se bosqueja un ejemplo de la numeración de etapas para $N = 5$.

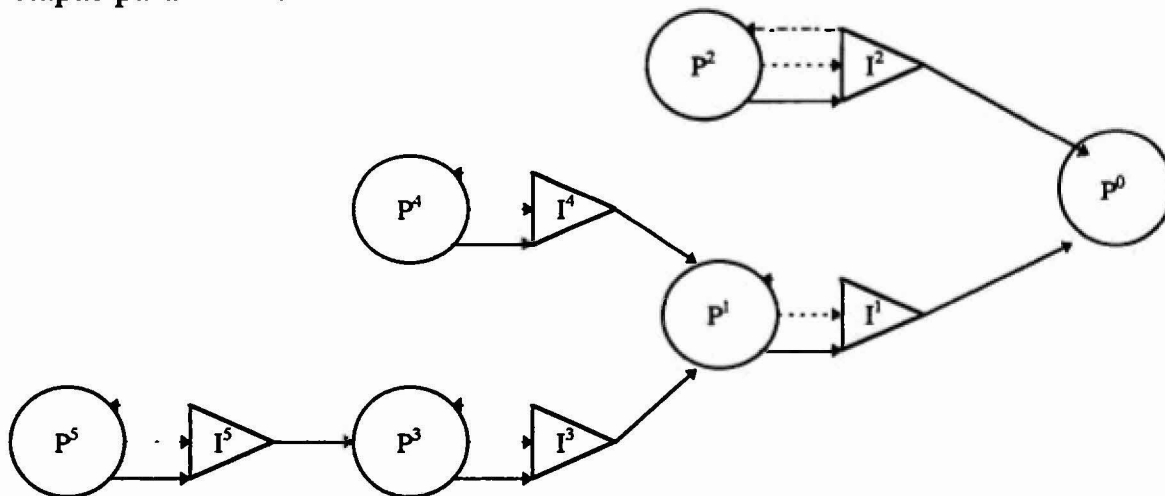


Figura 3.8 : NUMERACIÓN DE ETAPAS.

Designemos por $t \in \{ 0, 1, \dots, T \}$ el índice de los períodos de tiempo, para un horizonte de planeación dado que comienza en $t = 1$ y termina al final del período $t = T$. En el período $t = 0$, se verifican todas las condiciones iniciales para arrancar el sistema. Para cada etapa de producción dentro del horizonte planificado, se establece su tiempo de duración y una cuota de producción, que está determinada por la demanda efectiva impuesta sobre cada una de ellas.

Cada vez que los procesos de producción alcanzan su cuota, el resto de los Kanban despegados en ese proceso o por enviar a él desde su punto de inventario, suspenderá cualquier producción adicional de ese proceso y serán sacados del sistema al final del horizonte planeado.

Otras notaciones consideradas en el modelo son las siguientes:

$\lceil Z \rceil$; indica el menor entero que es mayor o igual a Z , o bien,

$$\lceil Z \rceil = \text{Min} \{ z_i \in Z / z_i \geq Z \}$$

$\lfloor Z \rfloor$; indica el mayor entero que es menor o igual a Z , o bien,

$$\lfloor Z \rfloor = \text{Max} \{ z_i \in Z / z_i \leq Z \}$$

PARÁMETROS DE MODELO

Para desarrollar el modelo, consideraremos los siguientes parámetros:

α^n : número de unidades del artículo n en un contenedor lleno,
 $\alpha^n \in \{ 1, 2, \dots \}$ y $n = 0, 1, \dots, N$.

Es obvio entonces que los α^n representan las capacidades de los contenedores.

β_t^n : capacidad de producción ; esto es, número de contenedores llenos el artículo n en P^n en el período t ,
 $\beta_t^n \in \{ 0, 1, \dots \}$ ($n = 1, \dots, N$) ($t = 1, \dots, T$).

$S(n)$: etapa inmediatamente siguiente a la etapa n . ($n = 1, \dots, N$)

$P(n)$: conjunto de etapas inmediatas anteriores a la etapa n .
 ($n = 0, 1, \dots, N$).

$e^{n, S(n)}$: número de unidades del artículo n que son requeridos para hacer una unidad del artículo $S(n)$; $e^{n, S(n)} \in \{ 1, 2, \dots \}$, ($n = 1, \dots, N$).

V_0^n : número de contenedores llenos del artículo n disponibles en I^n al final del período 0. $V_0^n \in \{ 0, 1, \dots \}$ ($n = 1, \dots, N$).

W_0^n : número de unidades del artículo n que permanecen en un contenedor parcialmente lleno y cuyo Kanban es despegado en I^n al final del período 0. $W_0^n \in \{ 0, 1, 2, \dots, \alpha^n - 1 \}$
 ($n = 1, \dots, N$).

X_t^o : número de contenedores llenos del producto final en la etapa final del período t . (Producción requerida por período del producto final)

$$X_t^o \in \{ 0, 1, 2, \dots \}, (t = 1, \dots, T).$$

$Q^n = \max \{ 0, \Omega^n \}$, donde

$$\Omega^n = \lceil (e^{n, S(n)} \alpha^{S(n)} / \alpha^n) Q^{S(n)} - V_0^n - (W_0^n / \alpha^n) \rceil$$

Q^n : cuota de producción en términos del número de contenedores llenos con el artículo n , impuesta para la etapa n durante el horizonte de planeación. $n \in \{ 0, 1, 2, \dots \}$ ($n = 1, \dots, N$).

Además:

$$Q^o = \sum_{t=1}^T X_t^o \equiv \text{Producción total}$$

C^n : representa el costo acumulado de un contenedor lleno del artículo n , esto es, la suma de los costos de material, de mano de obra y manufactura que han sido acumulados por el sistema para un contenedor lleno con el artículo n .

OBSERVACIONES:

1 Al inicio del horizonte de planeación ($t= 1$), el inventario inicial en la etapa n está compuesto de V_0^n contenedores llenos y W_0^n unidades del artículo n

Este inventario puede ser obtenido mediante la ecuación

$$\alpha^n V_0^n + W_0^n, (n = 1, \dots, N)$$

2. Se espera que tanto X_i^o como β_i^n , varíen de período a período de tal forma que le proporcionen a la administración una mayor flexibilidad, para establecer la programación de las operaciones de ensamblaje final y los ajustes en los recursos.

VARIABLES

X_t^n : número de Kanban despegados del artículo n , que activan la producción de un contenedor lleno en P^n en el período t .

$$(n = 1, \dots, N) \quad (t = 1, \dots, T).$$

Y_t^n : número de Kanban del artículo n , los cuales fueron despegados de sus contenedores asociados en I^n en el período t . $(n = 1, \dots, N) (t = 1, \dots, T)$.

U_t^n : número de Kanban despegados del artículo n , que están disponibles en P^n al final del período t y que no han ordenado producción.

$$(n = 1, \dots, N) \quad (t = 1, \dots, T).$$

V_t^n : número de contenedores llenos en I^n con el artículo n que están disponibles al final del período t . $(n = 1, \dots, N) (t = 1, \dots, T)$.

W_t^n : número de unidades del artículo n en un contenedor parcialmente lleno (remanentes), cuyo Kanban fue despegado en I^n al final del período t . $(n = 1, \dots, N) (t = 1, \dots, T)$.

U_0^n : número de Kanban despegados del artículo n introducidos dentro del proceso P^n , por la administración, al inicio del horizonte de planeación. ($n = 1, \dots, N$)

OBSERVACION

Para las variables involucradas en el modelo, usaremos la siguiente notación :

1. [U, V, W, X, Y] representa el vector multidimensional de todas las variables utilizadas en el modelo, donde se tiene, respectivamente :

$N(T + 1)$ variables del tipo U_t^n

NT variables del tipo V_t^n

NT variables del tipo W_t^n

NT variables del tipo X_t^n

NT variables del tipo Y_t^n

2. [U_0, X] representa N variables del tipo U_t^n con $t = 0$ y NT variables del tipo X_t^n .

3. [U_0] = [$U_0^1, U_0^2, \dots, U_0^N$]

4. [X^n] = [$X_1^n, X_2^n, \dots, X_T^n$]

El modelo de optimización del sistema Kanban propuesto por Bitran y Chang, que denominaremos modelo M, es el siguiente.

S.A. **Minimizar** $\sum_{n=1}^N C^n [U_0^n + V_0^n + 1 - (1/\alpha^n)]$

$$U_{t-1}^n + Y_{t-1}^n - X_t^n - U_t^n = 0; \quad (n = 1, \dots, N) \quad (t = 1, \dots, T), \quad (3-1)$$

$$V_{t-1}^n + X_t^n - Y_t^n - V_t^n = 0; \quad (n = 1, \dots, N) \quad (t = 1, \dots, T), \quad (3-2)$$

$$X_t^n = \text{Min} \begin{cases} U_{t-1}^n + Y_{t-1}^n, \\ \beta_t^n, \\ \lfloor (\alpha^k V_{t-1}^k + W_{t-1}^k + \alpha^k X_t^k) / (e^{k,n} \alpha^n) \rfloor \quad k \in P(n) \\ Q^n - \sum_{r=1}^{t-1} X_r^n, \end{cases} \quad (3-3)$$

para $(n = 1, \dots, N) \quad (t = 1, \dots, T),$

$$\alpha^k V_{t-1}^k + W_{t-1}^k + \alpha^k X_t^k \geq e^{k,0} \alpha^0 X_t^0, \quad \forall k \in P(0), \quad (t = 1, \dots, T). \quad (3-4)$$

$$\begin{aligned} Y_t^n &= \lceil (e^{n, S(n)} \alpha^{S(n)} X_t^{S(n)} - W_{t-1}^n) / \alpha^n \rceil; \quad (n = 1, \dots, N) \quad (t = 1, \dots, T). \\ Y_0^n &= 0 \quad (n = 1, \dots, N) \end{aligned} \quad (3-5)$$

$$\begin{aligned} W_{t-1}^n + \alpha^n Y_t^n - e^{n, S(n)} \alpha^{S(n)} X_t^{S(n)} - W_t^n &= 0 \\ (n = 1, \dots, N) \quad (t = 1, \dots, T), \end{aligned} \quad (3-6)$$

$$U_0^n \geq 0 \text{ y enteras}, \quad (n = 1, \dots, N) \quad (3-7)$$

La función objetivo que representa el costo total, se puede interpretar en dos formas distintas

- i- Como una cota superior del valor asociado al inventario del sistema en cualquier punto del tiempo ; esto es, en cualquier período del horizonte planeado. Evidentemente, el producto de la función objetivo por el costo de existencias del inventario en el horizonte planeado, resulta una cota superior del el costo de existencias del inventario sobre el mismo período ; o bien,
- ii- Como una combinación ponderada de la cantidad de Kanban en circulación. Al disminuir la cantidad de Kanban circulando en una etapa, se obtiene mayor eficiencia de la operación en dicha etapa ; lo que es percibido por los administradores y por los trabajadores como una meta deseable.

3.4.5 ANALISIS DE LAS RESTRICCIONES DEL MODELO.

La figura 3.9 nos permite visualizar el funcionamiento del sistema Kanban de producción para tres períodos consecutivos y dos etapas de producción

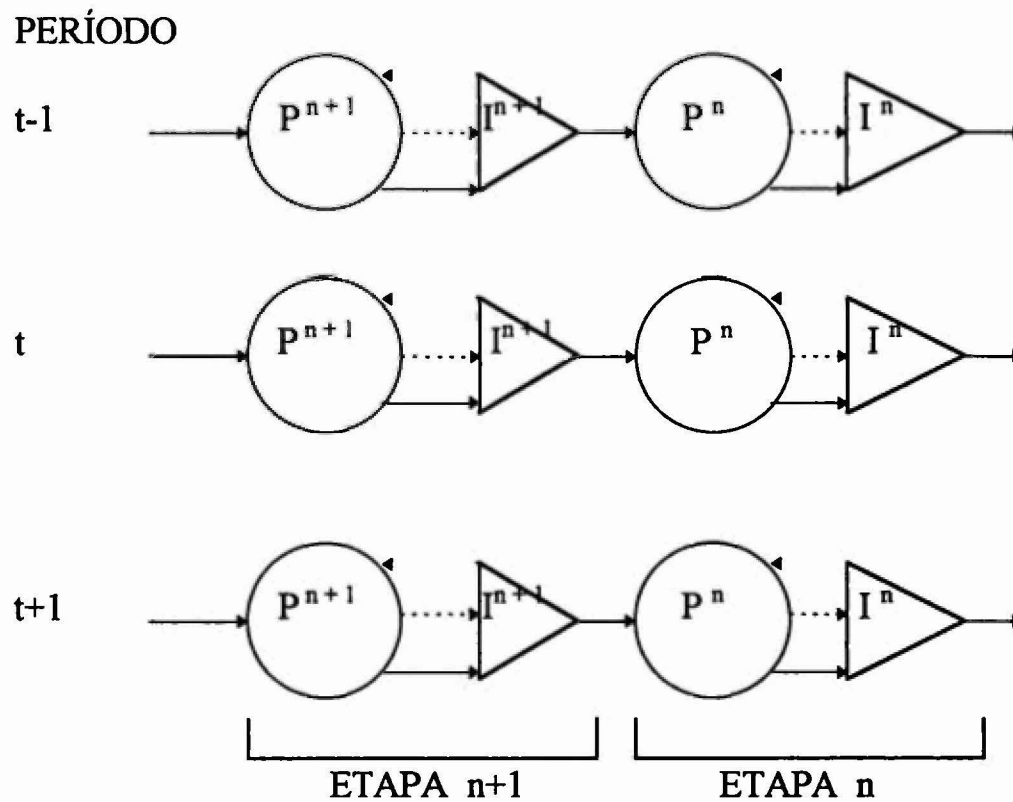


Figura 3.9: SISTEMA KANBAN DE PRODUCCION PARA $n = 2$ y $t = 3$.

Como fue explicado en la definición de las variables, al inicio del horizonte de planeación la administración puede introducir cierto número de Kanban (U_0^n) a los procesos de producción del artículo n .

Obsérvese que el conjunto de restricciones (3.1) a (3.7) está constituido por subconjuntos de restricciones correspondientes a cada una de ellas; en particular, la restricción (3.1) contiene NT restricciones. De esta manera,

para valores de N y T grandes, el modelo se convertirá en un macroproblema. Por ejemplo, para un sistema de siete procesos de producción ($N = 6$) y doce períodos ($T = 12$) contemplados en el horizonte de planeación, se tendrán aproximadamente .

- 1) 390 restricciones
- 2) 366 variables
- 3) 140 parámetros

RESTRICCIÓN (3.1).

Describe la conservación del flujo en el proceso de producción P^n , similar a la propiedad que se verifica en la teoría de redes. Nos indica que las órdenes de producción no ejecutadas (U_{t-1}^n) en el proceso P^n más los Kanban despegados (Y_{t-1}^n) en su inventario asociado I^n en cualquier período ($t-1$), representan para el siguiente período (t) los Kanban que activan la producción (X_t^n) de un contenedor lleno en P^n más los Kanban (U_t^n) despegados en P^n para ser ordenados al final del período.

RESTRICCIÓN (3.2).

Describe la conservación de flujo en el inventario asociado I^n al proceso de producción P^n . Los contenedores llenos disponibles (V_{t-1}^n) en I^n al final

de un período más las órdenes de producción (X_t^n) en P^n en el siguiente período, representan el número de contenedores llenos y disponibles (V_t^n) en I^n más el número de contenedores descargados (Y_t^n) en I^n en el siguiente período .

RESTRICCIÓN (3.3).

Indica que el número de contenedores llenos (X_t^n) y colocados en el proceso de producción P^n en el período t , está determinado por :

- a) las órdenes de producción no ejecutadas (U_{t-1}^n) en el proceso P^n , más los Kanban (Y_{t-1}^n) que fueron despegados de I^n en el período anterior ;
- b) la capacidad de producción de P^n en el período t .
- c) los inventarios disponibles en las etapas previas, y
- d) el resto de la cuota de producción.

RESTRICCIÓN (3.4).

Asegura que la producción asignada para la etapa final se alcanzará, es decir, se cumple con la cuota de producción establecida para el horizonte de planeación.

RESTRICCIÓN (3.5).

Indica el número de Kanban que serán despegados de sus respectivos contenedores en I^n , en el período t .

RESTRICCIÓN (3.6).

Se refiere a la conservación del flujo en I^n en función del número de unidades del artículo n remanentes en un contenedor

RESTRICCIÓN (3.7).

Garantiza que la administración puede introducir cierto número de Kanban al inicio de cualquier período.

En el caso que haya la necesidad de detener alguna etapa precedente P^n en un período t , se supone que dicha suspensión es externa al modelo y que el valor de β_t^n será determinado una vez que se hagan los ajustes necesarios motivados por esta suspensión.

CONSECUENCIAS DE LAS RESTRICCIONES.

Si [U, V, W, X, Y] satisfacen las restricciones (3.1) a (3.7) entonces es implícito lo siguiente :

1- Las variables (U_t^n) , (V_t^n) , (W_t^n) , (X_t^n) , (Y_t^n) son enteras no negativas, para todo $n = 1, \dots, N$ y $t = 1, \dots, T$.

2- $Y_t^n \leq V_{t-1}^n + X_t^n$; $n = 1, \dots, N$ y $t = 1, \dots, T$.

Esto es, la cantidad de Kanban despegados de sus respectivos contenedores en I^n en el período t , es menor o igual que la cantidad de contenedores llenos disponibles en I^n al final del período $(t - 1)$ más la cantidad de contenedores llenos recibidos por I^n en el período t .

3- $U_0^n + V_0^n = U_t^n + V_t^n + Y_t^n$; $n = 1, \dots, N$ y $t = 1, \dots, T$.

El número de Kanban circulando en cada etapa previa no cambia durante el horizonte de planeación y es igual al número de contenedores llenos con el artículo n que están disponibles en I^n al final del período 0, más los Kanban despegados del artículo n que son introducidos por la administración al inicio del horizonte de planeación.

4-
$$Q^n = \sum_{t=1}^T X_t^n, \quad n = 1, \dots, N.$$

Las cuotas de producción programadas para cada etapa, resulta ser la suma de las órdenes de producción durante el horizonte de planeación en esa etapa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar esta investigación se formalizan y sintetizan los principales conceptos en torno a la Teoría de Inventarios.

Una de las funciones administrativas de producción más importante es la administración del inventario , puesto que de un lado se requiere un porcentaje alto de capital y por el otro, el área de operaciones requiere inventarios que le permitan garantizar una producción homogénea y eficiente, que satisfaga los requerimientos de capital, los costos y el servicio al cliente.

Hemos observado que los enfoques tradicionales se basan en un simple control de inventario de productos terminados y no en los aspectos de fabricación y de planeación de la producción.

En el análisis del modelo de la **Cantidad Económica de Pedidos CEP** y sus variantes, observamos que la determinación de una ecuación de costo total es fundamental para todas las situaciones. En este modelo se trata de encontrar el equilibrio entre los costos de ordenar nuevos pedidos y los costos de almacenamiento, y así obtener la cantidad óptima de pedido Q^* , que le va a servir al decisor como un patrón o guía de referencia. Las soluciones obtenidas deben ser validadas y ajustadas cuando sea necesario. No

conviene que los directivos se confíen en que estas soluciones le garantizarán mejores resultados.

Algunas desventajas que encontramos en los sistemas tradicionales de control de inventarios son :

- 1- Mayores costos de almacenamiento, ya que se consume capital que se podría invertir para aumentar la productividad.
- 2- Adolecen de capacidad de adaptación frente a cualquier cambio drástico en la demanda.
- 3- Se corre el riesgo de que las existencias se vuelvan obsoletas (estancamiento de dinero y espacio).

El sistema Justo a Tiempo tiene diferencias considerables respecto a los enfoques occidentales en cuanto a la gestión de la producción. La aplicación del sistema JIT nos ofrece ventajas, a saber:

1. Se mejora la calidad de los productos
2. Se reduce el nivel de inventario.
3. Se reducen los porcentajes de partes defectuosas y reprocesos. La eliminación de producción por lotes evita que se produzcan partes defectuosas y se detengan así los procesos siguientes.

4. Se reducen los plazos de fabricación.
5. Permite mejorar el servicio al cliente.
6. Se eleva la moral, la autoestima y la responsabilidad de los trabajadores.
7. Se reducen continuamente los costos de preparación y los costos de ordenar que el CEP considera fijos

Entre las limitaciones que podemos encontrar con la aplicación del sistema JIT tenemos :

- 1- Un programa de educación inadecuado, puede llevar al fracaso la aplicación del JIT.
- 2- La frecuencia con que se toman las decisiones trascendentales, obliga a que el personal que interviene tenga que estar claro en los objetivos de la empresa, sin subestimar el trabajo.
- 3- La necesidad de saber controlar el tiempo de implantación del JIT.
- 4- Debe existir un compromiso con la alta dirección, de no ser así, los resultados de la aplicación podrían ser decepcionantes.

Proponemos el modelo de optimización de Bitran y Chang, que resuelve un problema bastante complejo para un sistema Kanban determinístico. Este modelo podría resultar beneficioso para las industrias manufactureras del país que tienen un sistema de producción con

características similares a las planteadas. El mismo le permite a los directivos determinar el número de Kanban circulando en el sistema y, por consiguiente, el nivel de inventario en cada etapa, eliminando así, el desperdicio y todo aquello que no agrega valor al producto.

Podemos agregar que el enfoque JIT es de gran utilidad para la gerencia de producción. Esto se debe principalmente a que además de considerar la materia prima como base de la producción, el factor humano también juega un papel relevante.

Contrario al principio occidental del inventario de protección, la filosofía JIT sugiere reducirlo al máximo, de manera que los problemas que pudieran estar eclipsados por la existencia del inventario afloren, se identifiquen y se corrijan sus causas.

El presente trabajo es el inicio de una etapa investigativa en esta teoría, esto constituye un aporte. Sin embargo, nos hubiese gustado abocarnos a desarrollar la implementación del modelo propuesto y poder validar los resultados.

Recomendamos que en los próximos programas de Maestría de Investigación de Operaciones se introduzca un curso fundamental de Teoría de Inventarios, de manera que le permita a los estudiantes conocer el modelo

que aquí analizamos y pueda ser complementado con otros dentro de la misma teoría.

BIBLIOGRAFIA.

- 1 Anderson, D , Sweeney, D., Williams, T (1993) **Introducción a los Modelos Cuantitativos para Administración** 2da edición Editorial beroamérica
2. Bitran, G , Chang, L (1987) **A Mathematical Programing approach to a deterministic Kanban system.** Management Science, Vol 33, No 4
- 3 Buffa, E , Dyer, S (1983) **Ciencias de la Administración e Investigación de Operaciones.** Formulación de Modelos y Métodos de Solución 7a edición Editorial Limusa,
- 4 Buffa , E , Taubert, W (1990) **Sistemas de Producción e Inventario. Planeación y Control.** 6ta Edición Editorial Limusa
- 5 David, W , Stubitz S (1987) **Configuring a Kanban system using a discrete optimization of multiple stochastic responses .** International Journal of Production Research, Vol 25, No 3
- 6 García , A. (1991) **Enfoques Prácticos para Planeación y Control de Inventarios.** 5ta edición Editorial Trillas
- 7 Gass, S (1975) **Programación Lineal. Métodos y Aplicaciones.** 4ta edición C E.C S A
- 8 Gould, F , Eppen, D (1987) **Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa.** 2da edición Prentice Hall
- 9 Gravel, M., Price, W (1988) **"Using the kanban in a job shop environment"**. International Journal of Production Research, Vol 26, No 6
- 10 Hsiao, J C , Cleaver, D S (1987) **Administración. Aplicación de Técnicas de Investigación de Operaciones** 1ra edición Editorial Limusa

- 11 Laurence, G (1988) **Fundamentos de Administración Financiera** 3ra edición Editorial Harla, México.
- 12 Love, S F (1979) **Inventory Control**. 1ra edición. Editorial McGraw-Hill
13. Moskowitz, H, Wright, G. P (1982) **Investigación de Operaciones**. 3ra edición Prentice Hall
- 14 O'Grady, P J (1993) **Just in Time: Una estrategia fundamental para los jefes de producción**. Serie McGraw-Hill de Management
- 15 Philipoom, P R (1987) **An investigation of the factors influencing the number of Kanbans required in the implementation of JIT Technique with Kanbans** International Journal of production Research, Vol 25, No 3
- 16 Plossl, G W (1987) **Control de Producción y de Inventarios: Principios y Técnicas**. 2da edición Editorial Prentice Hall
- 17 Prawda, J (1993) **Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones**. 7a edición Editorial Limusa S A
- 18 Schroeder, R G (1994) **Administración de Operaciones**. Toma de decisiones en la función de Operaciones 3a edición, Editorial McGraw-Hill
- 19 Schonberger, R J. (1990) **Técnicas Japonesas de Fabricación** 1ra edición Editorial Limusa
- 20 Taha, H. A (1991) **Investigación de Operaciones**. Editorial Alfaomega, S A
- 21 Wang, H, Wang, B (1990) **"Determining the number of kanbans: A step toward non-stock-production"**. International Journal of Production Research, Vol 28, No 11

- 22 Wayne, W. (1994) **Investigación de Operaciones : Aplicaciones y Algoritmos.** 2da edición Grupo editorial Iberoamérica
- 23 Yasuhiro, M (1983) **Production System.** Industrial Engineering and Management Press
- 24 Young, J B (1991) **Modern Inventory Operations Methods for Accuracy and Productivity.** V N R