



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PRONÓSTICOS E INVENTARIOS . HERRAMIENTAS

FUNDAMENTALES PARA LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN INTEGRADOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

MARÍA CONCEPCIÓN REYES ESPARZA.

ASESOR: M.I. SILVANA HERNÁNDEZ GARCIA

MÉXICO, D.F.

2000.

285973



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mis padres, por toda la sabiduría, cariño, confianza y apoyo que me han brindado en toda mi vida. Gracias por ser un modelo a seguir de rectitud y coraje para enfrentar la vida.

A Isolda por todos los consejos y palabras de apoyo que me has brindado. Gracias por haberme mostrado el significado de profesional.

A Eduardo por haberme mostrado el campo de la Ingeniería así como por todas las tardes en que me enseñabas algo nuevo.

A Jorge por todas las sonrisas compartidas en estos últimos años y sueños a perseguir.

A la UNAM por darme la
oportunidad de una formación
profesional y por ser
generadora de pensamientos
libres

A todos los profesores que me
dieron una formación completa.
Con especial cariño a: Silvana
Hernández, Patricia Aguilar,
Victor Ribera, Yolanda Estrada
y Orlando Lebeque.

A la familia Tovar Angelares
por todos los momentos de
apoyo y afecto que me han
demostrado.

A mis amigos Gerardo,
Mireya, Claudia, Felipe,
Nestor, Israel, Esteban,
Agustín, Martín, Rodolfo,
Elizabeth, Toño, Raúl, Marco,
Erika, Norma, Ana y Emilio y
en especial a Jorge Alejandro
y Yaxelys.

Introducción.	.....	1
Capítulo 1. Marco teórico.		
1.1 Pronósticos	.....	4
1.1.1 ¿Qué es un pronóstico?	.....	4
1.1.2 El proceso de pronóstico	.....	4
1.2.3 Métodos de pronóstico	.....	6
1.2 Inventarios		
1.2.1 Conceptos sobre inventarios	.....	8
1.2.2 Costos de inventarios	.....	9
1.2.3 Tipos de inventarios	.....	10
1.2.4 Análisis de Pareto	.....	10
1.2.4.1 Curva ABC	.....	10
1.2.5 Modelos de inventario	.....	12
1.3 Planeación y control de la producción integrados		
1.3.1 Integración de los procesos productivos	.....	14
1.3.2 Sistemas empujar	.....	15
1.3.2.1 Sistemas MRP II	.....	15
1.3.3 Sistemas Jalar	.....	16
1.3.3.1 Sistemas Kanban	.....	17
1.3.3.2 Justo a tiempo (JIT)	.....	18
1.3.4 Sistemas Cuello de Botella	.....	20
1.3.4.1 Tecnología de producción optimizada	.....	21
1.3.4.1.1 Reglas OPT	.....	21
1.3.4.2 Teoría de restricciones (TOC)	.....	22
Capítulo 2. Relación entre los modelos de inventario y los de pronósticos.		
2.1 El papel que desempeña la demanda	.....	24
2.2 Demanda Constante	.....	25
2.2.1 Modelo de pronóstico: Promedios móviles	.....	25
2.2.2 Modelo de inventario: Cantidad económica a ordenar (EOQ)	.....	27
2.3 Demanda con tendencia	.....	30
2.3.1 Modelo de pronóstico: Suavizamiento exponencial doble	.....	31
2.3.1.1 Suavizamiento exponencial simple	.....	31
2.3.1.2 Suavizamiento exponencial doble	.....	32

2.3.2 Modelo de inventario con tendencia positiva	....34
2.3.3 Modelo de inventario con tendencia negativa	....36
2.4 Demanda periódica	....37
2.4.1 Modelo de pronóstico: método Winter's	....38
2.4.2 Modelo de inventario: Sistemas de revisión periódica	....43
2.5 Demanda aleatoria	....44
2.6 Resumen	....45

Capítulo 3. Control de pronóstico.

3.1 La importancia del control de pronóstico	....50
3.2 Fase cuantitativa	....51
3.2.1 Base fundamental: límites de confianza	....51
3.2.2 Control para una demanda uniforme	....53
3.2.2.1 Modelo adaptativo M. W. Chow para un solo factor	....54
3.2.3 Control para una demanda con tendencia	....57
3.2.3.1 Modelo Robert y Reed para dos factores	....57
3.2.4 Control para una demanda periódica	....63
3.2.4.1 Modelo de Robert y Reed para tres factores	....63
3.3 Fase cualitativa	....70

Capítulo 4. Relación de los sistemas de pronósticos e inventarios en los sistemas de producción integrados.

4.1 Estructura base para los sistemas de producción integrados	....72
4.1.1 Diferencias entre los modelos de sistemas de producción integrados	....73
4.1.2 El papel de la planeación en los sistemas de manufactura integrados	....74
4.2 La importancia del pronóstico e inventario en la comprensión de un sistema de producción integrado	....77
4.3 El nuevo giro de los sistemas de producción integrados	....80
4.3.1 Telecomunicaciones en justo a tiempo	....80

Capítulo 5. Análisis de un caso típico.

5.1 Planteamiento del problema	....84
5.2 Análisis de la demanda	....86
5.3 Proyección del futuro probable de la demanda	....89

5.3.1 Procedimiento	...90
5.3.2 Control del pronóstico	...96
5.4 Análisis del tipo de inventario	...106
5.6 Aplicación de los sistemas de producción integrados	...112
Conclusiones.	...114
Apéndice A	...117
Bibliografía	...120

Introducción.

Los diversos cambios que ha sufrido el mercado en los últimos años, ha traído consigo que las empresas mejoren sus sistemas de producción. Para lograr dicho objetivo se ha creado maquinaria que puede realizar diferentes tipos de trabajo en poco tiempo, a su vez, se han desarrollado nuevas teorías que tienen por objeto mejorar los sistemas de producción, los cuales abarcan los diferentes departamentos de la empresa, esto con la finalidad de que una compañía se maneja de forma como si fuera una sola célula y no que cada área se maneje de forma independiente.

Debido a que estas nuevas teorías requieren de sistemas capaces de almacenar la mayor cantidad de información posible, se han desarrollado programas de computación que involucran la mayoría de los departamentos.

Varias empresas han tratado de implementar estos sistemas integrados, pero no todas las compañías lo han logrado hacer exitosamente. El porcentaje de implantaciones fracasadas es mayor de los que se esperaba, esto se debe a que en la mayoría de los casos se trata de implantar el sistema de producción integrado no adecuado, el personal se niega al cambio o no se tiene información confiable debido a bases mal fundamentadas como es el caso del estudio de la demanda.

El no tener las bases del sistema bien fundamentadas trae como consecuencia una variación en la información que se le va a introducir al paquete de computación, es por ello que se debe de hacer un buen análisis de todos los datos que se tiene. Dos de las bases principales para un sistema de producción integrado es el pronóstico de la demanda así como la administración del inventario.

Esta tesis presenta un estudio de la relación que existe entre los diferentes métodos de pronósticos y los de inventario, tomado como punto de relación el comportamiento de la demanda. Se decidió tomar el patrón de la demanda, ya que es la razón de existir de la empresa, además, el tener una variación del comportamiento del mercado trae como consecuencia el cambio de la planeación de la producción que se tiene en la empresa.

En el primer capítulo se presenta un breve análisis acerca de que son los pronósticos e inventarios así como los diferentes métodos que existen en la actualidad para calcularlos. Además se da una breve descripción de la ideología de los sistemas de producción más importantes en la actualidad.

En el capítulo dos se demostrará que se pueden presentar varios tipos de demanda en un periodo de tiempo y que para cada caso existe un método de pronóstico capaz de acercarse al comportamiento de la curva, así como un sistema de inventario

que se acople a las necesidades que presenta el patrón de la demanda. Esta relación permitirá tener datos más confiables, pues dicha información es el resultado de un análisis entre los dos departamentos.

Para que la planeación posea el menor grado de incertidumbre es necesario tener pronósticos de la demanda confiables, es por ello que el método de pronóstico que se esté aplicando se debe de vigilar y corregir constantemente. En el capítulo tres se muestra los diferentes métodos de control que se pueden aplicar de acuerdo al tipo de demanda que se presenta.

El capítulo cuatro involucra el análisis de la relación de los sistemas de pronósticos e inventarios con los sistemas de producción integrados mencionando los beneficios que se tiene el hacer este tipo de estudios antes de la implantación, ya que estos dos temas son una de las bases de un sistema integrado.

El último capítulo muestra un caso típico de una empresa productora de cajas de cartón, en este capítulo se hace un análisis de la demanda, se aplica el método de pronóstico e inventario adecuados y se muestran los costos de acuerdo al nivel de servicio que se desea dar.

Este estudio pretende señalar la relación que existe entre las nuevas teorías de la ingeniería industrial con los pronósticos e inventarios, con la finalidad de tener el menor porcentaje de incertidumbre en el momento de implantar un sistema de producción integrado.

Capítulo 1. Marco teórico.

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

Objetivo: Comprender el significado de los pronósticos, inventarios y de los sistemas de producción integrada dentro de la Ingeniería Industrial.

1.1 PRONÓSTICOS

1.1.1 ¿Qué es un pronóstico?

Los diferentes cambios que presenta el mundo actual en todos los ámbitos de las sociedades, tanto en lo económico, en lo político y en lo social, incrementa la incertidumbre hacia el futuro en lo que respecta a los resultados que desea obtener una empresa, es por ello que el uso de pronósticos en el área industrial ha tomado importancia para enfrentar variables como la inflación, recesiones, escasez de insumos, cambios en el comportamiento del consumidor, etc.

Un pronóstico es un procedimiento objetivo, en el que se utiliza información recabada en un espacio de tiempo.¹

Un buen pronóstico es aquel que parte de datos reales, que reflejan la realidad de la demanda; debido a que el pronóstico siempre va a arrojar un dato este puede ser tan bueno o tan malo según la calidad de la información que se le introduzca en un principio.²

Las empresas tienen la necesidad de generar pronósticos debido a que operan en un medio de incertidumbre, y a pesar de ello deben de tomar decisiones que de una u otra forman afectan su futuro. Además, es bien sabido que las organizaciones que no pueden reaccionar con rapidez a las condiciones cambiantes están destinadas al fracaso.

La base para cualquier actividad en la producción son los pedidos reales o el pronóstico de pedidos futuros, es decir la *demanda*. En un ambiente de producir con inventarios, las actividades de producción se fundamentan por completo en pronósticos debido a que los pedidos deben satisfacerse con los artículos que hay en inventario.³

1.1.2 El proceso de pronóstico.

La aplicación de las diversas técnicas de pronóstico al tema de estudio necesita de un método ordenado y estructurado, dicho método consta de seis pasos, los que se presentan a continuación:⁴

¹ FOGARTY, Administración de la producción e inventarios, ED: CECSA, 1994.

² SIPPER Daniel, Planeación y control de la producción, ED: Mc. Graw-Hill, 1999.

³ FOGARTY, Administración de la producción e inventarios, ED: CECSA, 1994.

⁴ SALVENDY Gabriel, Biblioteca del Ingeniero Industrial, ED: Grupo Noricga editores, 1993.

1. Origen

- Seleccionar el tema de estudio.
- Señalar los límites del estudio: Definir el alcance del pronóstico en el tiempo.
Definir la amplitud del estudio.
Definir la misión del pronóstico.
- Formar un equipo de pronóstico.

2. Obtención de datos

- Identificar las necesidades de datos (elementos).
- Identificar las fuentes de datos.
- Planear la obtención de datos.
- Obtener los datos.
- Establecer un archivo de datos.

3. Organización y análisis de los datos

- Clasificar los datos.
- Establecer un orden cronológico.
- Determinar las tendencias.
- Determinar las interrelaciones.
- Interpretar la importancia de los datos.

4. Proyección

- Establecer marcos de referencia optimistas, pesimistas y realistas.
- Proyectar futuros probables.

5. Análisis de la situación

- Evaluar el impacto de las proyecciones en la situación actual.
- Proyectar esos impactos al futuro.
- Recomendar modificaciones de la situación actual para asegurar el éxito del futuro.

6. Vigilancia.

- Determinar qué se va a vigilar.
- Establecer un proceso de vigilancia.
- Actualizar el archivo de datos.

1.1.3 Métodos de pronósticos.

Uno de los problemas relacionados con la estimación de la demanda es determinar qué método de pronóstico se va a utilizar. La decisión se basa fundamentalmente en el uso funcional del pronóstico y no en su mecanismo de cálculo, es decir, observando el comportamiento de la demanda del producto se puede determinar que método es el que se adapta a dicha conducta.

En el siguiente cuadro⁵ se puede observar la clasificación de los diferentes métodos así como una pequeña descripción. En dicho cuadro se comienza diferenciando los métodos informales de los formales, donde los primeros son meramente intuitivos y carecen de procedimiento sistemático, mientras que los formales fijan metódicamente los pasos que deben seguirse, de tal manera que el proceso pueda repetirse de forma homogénea.

Cuadro 1.1.3. Métodos de pronósticos

MÉTODO	BREVE DESCRIPCION
I. MÉTODOS INFORMALES	
1. No estructurados	Métodos intuitivos, subjetivos, ad-hoc.
II. MÉTODOS FORMALES	
II.1 Métodos Cuantitativos	Son procedimientos que producen resultados cuantitativos..
a) Causales o regresivos	Estos métodos se aplican cuando la demanda es una variable dependiente o al menos tiene una correlación alta con el valor de la(s) variable(s) independiente(s).
1. Regresión simple o múltiple	Las variaciones en las variables dependientes son explicadas por las variaciones en las variables independientes. Se emplean principalmente en economía.
2. Modelos econométricos	Sistemas de varias ecuaciones de regresión múltiple. Se emplean principalmente en economía.
b) Cronológicos	Se encuentran basados en una lista cronológica de datos históricos. La suposición esencial es: la historia pronostica el futuro de manera razonable.
1. Simples	Reglas simples. Por ejemplo: el pronóstico es igual al dato correspondiente del mismo mes del año pasado más 5%. Se emplean bastante en la práctica empresarial.
2. Extrapolativos	Extrapolación lineal, exponencial y otras formas de proyección. Es preferido en investigación operativa.

⁵ MAKRIDAKES, Pronóstico para uso empresarial. Evaluación de las técnicas disponibles.

MÉTODO	BREVE DESCRIPCIÓN
3. Ajustamiento	Los pronósticos se basan en proyección de valores reales, promedios lineal o exponencial. Es preferido en investigación operativa.
4. Análiticos	Se descompone una serie cronológica separando su tendencia, sus variaciones estacionales, cíclicas y aleatorias. Se emplea de preferencia en planeación a largo plazo.
5. Filtración	Los pronósticos son combinaciones lineales de cifras reales pasadas. Los parámetros o el modelo pueden adaptarse a los cambios en los datos. Se emplean preferiblemente en la ingeniería y ciencias físicas.
6. ARMA (promedios móviles, auto regresión; Box Jenkins)	Los pronósticos son combinaciones lineales de cifras reales pasadas o de errores pasados. Se emplean en estadística.
II.2 Métodos cualitativos	Estos métodos no requieren de una abierta manipulación de datos, sino más bien del juicio de quien pronostica. Un ejemplo de este tipo de pronóstico es el método Delphi y el TKJ.
a) Subjetivos	Se encuentran basados en la evaluación subjetiva del personal. Un beneficio importante de este tipo de métodos es que obliga un compromiso por parte de los responsables.
1. Árboles de decisión	Se asignan subjetivamente probabilidades de ocurrencia a cada evento, empleándose una técnica bayesiana. Se usa en estadística.
2. Estimación de la fuerza de venta	Suma de estimaciones de los vendedores. Bastante usado en la práctica empresarial.
3. Panel de ejecutivos	Los funcionarios de finanzas, comercialización y producción, concilian sus opiniones, formulando los pronósticos de consumo. Se usa bastante en la práctica empresarial.
4. Encuestas de intención	Se analizan las opiniones, o proyectos de clientes en potencia, de productores, etc. Bastante usado en la práctica empresarial.
b) Tecnológicos	Se basan en la evolución tecnológica, para estimar el futuro.
1. Exploratorios	Parten de los conocimientos actuales firmes, para realizar estimaciones generales de las posibles condiciones del futuro. Se emplean en planeamiento a largo plazo.
2. Normativos	Parten de la fijación de objetivos, deseos y necesidades futuras, y retroceden al presente tratando de deducir las acciones o eventos necesarios para lograr aquellos. Se emplean en planeación a largo plazo.

La importancia de conocer los diferentes métodos de pronóstico radica en que el procedimiento seleccionado dé resultados que ayuden a la toma de decisiones de los administradores de la organización y sobre todo, de los encargados de planeación y control de la producción. Además, la utilización de algún método de pronóstico debe producir un beneficio que exceda al costo asociado con su uso.

1.2 INVENTARIOS

1.2.1 Conceptos sobre inventarios.

En las últimas décadas las empresas han tenido que luchar arduamente por un lugar en el mercado, debido a que los posibles clientes tienen mayor variedad de productos a escoger. Es por ello que las industrias deben de mejorar sus sistemas de producción, de tal manera que puedan responder a las fluctuaciones del mercado.

Los inventarios son tema de estudio, debido a que tiene una importancia fundamental en el proceso de producción para que esta pueda ser llevada a cabo, además de que representan un costo dentro de la planeación de las empresas. Un inventario se crea por la necesidad de abastecer la demanda en un tiempo dado.

Un inventario es una cantidad de bienes bajo el control de una empresa, guardados durante algún tiempo, para satisfacer una demanda futura.⁶

El inventario es el amortiguador entre dos procesos: el abastecimiento y la demanda. El proceso de abastecimiento es aquel que contribuye con bienes al inventario, mientras que la demanda consume lo que posee el inventario. Debido a que existe una diferencia en las tasas y en los tiempos entre estos dos procesos es necesario que exista el inventario. Las causas de estas diferencias pueden ser 4 factores:

- *Economías de escala*: Existen algunos costos asociados con la producción, para recuperarlos es necesario producir más unidades. Es por ello que se ordena mayor cantidad de material a los proveedores, el cual se coloca en el inventario.
- *Suavizamiento de la operación*: este concepto se utiliza cuando la demanda es muy variable, y se desea que la producción sea constante. Es por ello que en los períodos donde la demanda es menor, la producción se almacene.
- *Servicio a clientes*: algunas empresas poseen inventario de producto terminado para satisfacer la demanda inmediata de los clientes.
- *Incertidumbre*: una manera de evadir la incertidumbre es poseer unidades dentro del inventario, también llamado inventario de seguridad.

⁶ SIPPER Daniel, Planeación y control de la producción, ED: Mc. Graw-Hill, 1999.

1.2.2 Costos del sistema del inventario.

El sistema del inventario no solo presenta el costo de adquirir la materia, sino que involucra diferentes tipos de costos, los cuales se explican a continuación:

- *Costo de compra (c)*: es el costo que se le paga al proveedor por cada artículo que se adquiera.
- *Costo de ordenar (A)*: es el costo que se da cada vez que se coloca una orden al proveedor. Este costo incluye las siguientes actividades: formular el pedido, preparar las especificaciones, registrar el pedido, hacer el seguimiento del mismo, procesar las facturas y preparar el pago. El costo por ordenar es independiente del número de artículos que se van a adquirir.
- *Costo de almacenaje (m)*: es el costo que se da por mantener inventario dentro de la empresa. Dicho costo incluye el pago de personal que administre al inventario, que se tenga un seguro contra incendios o robo, electricidad, mantenimiento, etc.
- *Costo de oportunidad (ϕ)*: es el dinero comprometido que no obtiene rendimientos. Por ejemplo si se tienen 50 artículos en almacén con un costo unitario de 100 pesos, se tiene en total \$5,000 que no se encuentran generando rendimientos, ha esto se le llama costo de oportunidad. El valor más bajo de este costo de oportunidad es el interés que ganaría en una cuenta de ahorros. El costo de oportunidad también se puede considerar dentro del costo de almacenar.
- *Costo por faltante (π)*: existen dos variantes en el costo por faltante. El primero es el costo por faltante por unidad, este costo se presenta cuando no existe producto terminado en el almacén que pueda satisfacer la demanda inmediata. El segundo costo es el costo por faltante por unidad de tiempo, este se presenta cuando el proveedor no abastece de material a la empresa en el tiempo establecido, trayendo como consecuencia un paro momentáneo en la producción.

La sumatoria de estos costos sirven como base para el análisis de sistemas de inventarios, en donde se hace un trueque entre los beneficios de mantenerlo y los costos asociados en tenerlo. La medida de efectividad para el inventario es el costo total promedio por unidad de tiempo.⁷

$$\text{Costo total} = \Sigma c + \Sigma A + \Sigma m + \Sigma \phi + \Sigma \pi$$

⁷ Ibidem (6).

1.2.3 Tipos de Inventarios.

Los tipos de inventarios en los sistemas de producción se clasifican según el valor agregado que le den al producto final durante el proceso de manufactura. La clasificación es la siguiente:

- Inventario de materia prima: material que necesitan mayor procesamiento.
- Inventario de producto en proceso: es el inventario en el sistema de producción que espera para ser procesado o ensamblado al producto final.
- Inventario de producto final: material que llega a las manos del cliente.
- Inventario de seguridad: su objetivo es proteger a la empresa de la incertidumbre de la demanda.

Es importante mencionar que en los últimos años, se han desarrollado sistemas de producción tales como Justo a tiempo (JIT) donde una de sus premisas, es el de tener la menor cantidad de inventarios, ya que las diferentes publicaciones que se han realizado acerca de Justo a tiempo mencionan que entre más grandes sean los almacenes, los costos del sistema de producción se elevaran entre un 20 y 30% anual.

1.2.4 Análisis de Pareto.

El análisis de Pareto, es una herramienta que se utiliza para separar lo importante de lo no importante. El principio de Pareto dice que unos cuantos tiene mucha importancia y muchos tienen muy poca importancia.

Es común que los sistemas de inventarios tengan unos cuantos artículos que tenga mayor rotación o posean un valor monetario mayor, esta característica permite un trueque entre la inversión y el control, trayendo como consecuencia mantener un costo bajo y un alto nivel de servicio. La aplicación del análisis de Pareto a la administración de inventarios tiene como objetivo:

- Clasificar los artículos del inventario sobre la base de su importancia relativa,
- Establecer diferentes controles de administración para las distintas clasificaciones, con el grado de control apropiado a la importancia concedida a cada clasificación.

1.2.4.1 Curva ABC.

El análisis de Pareto utiliza la curva ABC para jerarquizar los artículos del inventario en orden descendente según su importancia, la cual se puede medir de dos formas: por su uso anual en dinero o por su nivel de rotación. Quedando la siguiente clasificación:

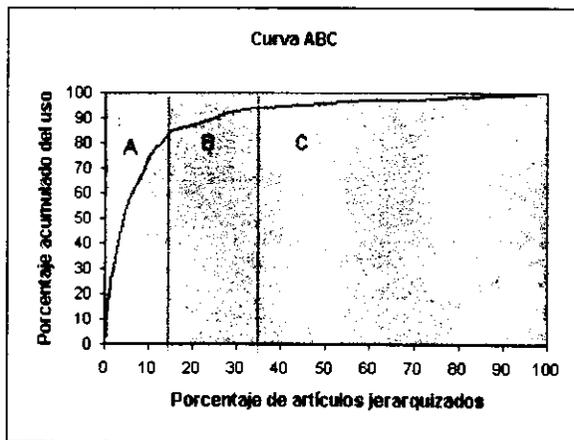
- A = artículos con alto uso de dinero o alta rotación.
- B = artículos con medio uso de dinero o rotación media.
- C = artículos con bajo uso de dinero o baja rotación.

Por lo general, las curvas ABC muestran que el grupo A significa alrededor del 20% del total de los artículos jerarquizados y el 80% del uso total de dinero o de su uso rotacional. El procedimiento para realizar la curva ABC es:⁸

1. Se tabulan los artículos del inventario en orden descendente debido al uso anual del dinero, a la rotación o la combinación de ambas.
2. Se evalúa la actividad acumulada comenzando al principio de la lista y acumulando las actividades por artículo hacia abajo.
3. Se grafica la curva ABC del porcentaje acumulado del uso del dinero o rotación como función del porcentaje acumulado de artículos.

Como se puede observar en la gráfica 1.2.4.1, la curva que se describe se divide en tres partes, teniendo que el grupo A llega hasta donde comienza a doblarse la curva, el grupo B hasta el final del doblez, y el C es el resto de los artículos.

Debido a que los artículos que pertenecen al grupo A son los que poseen mayor uso del total, es a estos a los que se les debe de aplicar un sistema de control más estricto, de tal manera, que en lo más importante es donde existan menos problemas.



Gráfica 1.2.4.1. Curva ABC

⁸ Ibidem (6).

1.2.5 Modelos de Inventarios.

El principal elemento que afecta a los inventarios es la demanda, pero como esta es una variable incontrolable, la clasificación de los modelos de inventarios se basa en las tres variables de decisión básicas que son:

- ¿Qué se debe ordenar? (decisión de variedad)
- ¿Cuándo debe ordenarse? (decisión de tiempo)
- ¿Cuánto debe ordenarse? (decisión de cantidad)

La primera variable se va a determinar mediante el análisis de Pareto, el cual como ya se ha mencionado, clasifica los artículos que tienen mayor importancia. Mientras que en las otras dos variables, es necesario de métodos numéricos para determinar cuánto y cuándo se debe de proveer de material, de tal manera que los costos sean mínimos.

En el cuadro 1.2.5 se presenta la clasificación de los diferentes métodos de inventarios, así como una breve descripción. En dicho cuadro se diferencian los métodos basados en las decisiones de cantidad y los que se encuentran basados en el nivel de servicio.

Los primeros tienden a tomar como prioridad los costos, mientras que los segundos son afectados por el nivel de servicio que se le quiere dar al cliente (el concepto más sencillo de servicio en el ámbito de los inventarios, es que siempre que un cliente necesite un artículo del inventario, esté ahí).

Cuadro 1.2.5. Métodos de Inventario

MÉTODO	BREVE DESCRIPCION
I. DECISIONES DE CANTIDAD	
1.1 Tamaño de lote estático	Se utiliza para demanda constante durante u horizonte de planeación.
1. Cantidad económica a ordenar	Es el modelo fundamental de los inventarios. La importancia de este modelo es que todavía es de lo que más se usa. Es adecuado para la compra de materia prima en producción o para el ambiente de ventas al menudeo.
2. Cantidad económica a producir por extensiones	La tasa de abastecimiento es finita, que es normal para artículos fabricados, en donde el lote se entrega a través del tiempo de acuerdo con la tasa de producción.
3. Descuentos por cantidad	Como su nombre lo indica, este modelo es usado cuando los proveedores ofrecen un descuento por comprar cierta cantidad de artículos.

MÉTODO	BREVE DESCRIPCIÓN
4. Modelos de artículos múltiples con restricción de recursos	Este es adecuado cuando se tienen varios artículos y existe interacción entre ellos, como compartir recursos comunes.
5. Órdenes para múltiples artículos	Este método se utiliza cuando existe un solo proveedor de varios artículos.
1.2 Tamaño de lote dinámico	Son modelos empleados para cambiar la demanda durante el horizonte de planeación.
1. Reglas simples	Son reglas de decisión para la cantidad económica a ordenar que no están basadas directamente en la optimización de la función de costos, sino que tienen otras características, como la maximización de los beneficios.
2. Métodos heurísticos	Son aquellos que están dirigidos al logro de una solución de bajo costo que no necesariamente sea óptima.
3. Método Wagner-Whiting	Es un enfoque de optimización de la demanda regular. Genera una solución de costo mínimo que conduce a una cantidad óptima a ordenar.
II. DECISIONES DE NIVEL DE SERVICIO	
1. Decisiones de una sola vez	Se utiliza cuando la demanda se da en periodos de tiempo cortos o cuando el tiempo de entrega del producto es largo.
2. Sistemas de revisión continua	El nivel de inventario se controla continuamente. Cuando el nivel llega a un punto de reorden, se ordena una cantidad fija. Dentro de estos sistemas se encuentran los modelos: EOQ, EPQ, inventario de seguridad y nivel de servicio, modelo QR.
3. Sistemas de revisión periódica	Se verifica el nivel del inventario en intervalos de tiempo fijo, y se coloca una orden si el inventario es menor a cierto nivel predeterminado (punto de reorden). Dentro de estos sistemas se encuentran los modelos: ST, sistemas de reabastecimiento opcional, etc.

Como se ha observado el uso de inventarios adecuados trae como consecuencia una optimización en los costos y en el servicio. Aunque cabe señalar que para lograr esto se debe de tener una buena relación con los proveedores para exigirles que sus productos mantengan la calidad solicitada.

Los sistemas de inventarios deben de ser revisados constantemente para:⁹

- Mejorar políticas y sistemas ya establecidos.
- Evaluar la eficiencia de la administración de los materiales.
- Determinar la viabilidad de las líneas de producción.
- Valuación financiera del inventario.

1.3 PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN INTEGRADOS.

1.3.1 Integración en los procesos productivos.

En la actualidad existen diferentes métodos para mejorar la producción, la administración, las finanzas, mercadotecnia, etc., pero todos estos lo realizan en forma independiente, es decir, que cada departamento de la empresa utiliza una herramienta diferente para administrarse. En las últimas tres décadas se ha desarrollado la tendencia de eliminar estas barreras dentro de la empresa, y permitir que el flujo de información llegue a todos los departamentos.

La suposición primordial dentro de una organización es que la integración optimiza la operación de toda la empresa. Un antecedente de la organización por proceso es el enfoque de equipo multifuncional, es decir, personas o equipos capacitados para realizar diferentes tareas.

La integración de una compañía es una estrategia y una tecnología. La estrategia es integrar las decisiones estratégicas, tácticas y de cada día. El apoyo para esta integración es una tecnología que permite la implantación de un flujo de información eficiente y oportuno.

La nueva tendencia en el diseño de sistemas de producción es hacia los sistemas integrados, estos pueden lograrse a través de 3 enfoques principales de diseño: manufactura celular, manufactura flexible y manufactura integrada por computadora. Estos sistemas de producción integrada se encuentran estrechamente relacionados con los sistemas de planeación y control de la producción integrados (PCP), ya que entre ambos tienen un mayor alcance dentro de la empresa.

Existen tres grandes enfoques a la planeación y control de la producción integrada: *los sistemas de empujar, los sistemas de jalar y los sistemas de cuello de botella.*¹⁰

⁹ EVANS James. *Applied production and operations management*, ed: West, 1993.

¹⁰ SIPPER Daniel. *Planeación y control de la producción*, ED: Mc. Graw-Hill, 1999.

1.3.2 Sistemas Empujar.

Los sistemas de empujar tienen como característica técnica la manera en que se mandan los trabajos al sistema de producción y su flujo a través del sistema, como se muestra en la figura 1.3.2.

Cuando es enviado el trabajo fluye de una operación a otra a través del sistema de producción sin importar lo que pase delante de él. De aquí el término empujar para este método. El concepto administrativo detrás de los sistemas empujar es el de la planeación central. Las decisiones sobre como deben procesarse las órdenes de producción son centralizadas.¹¹

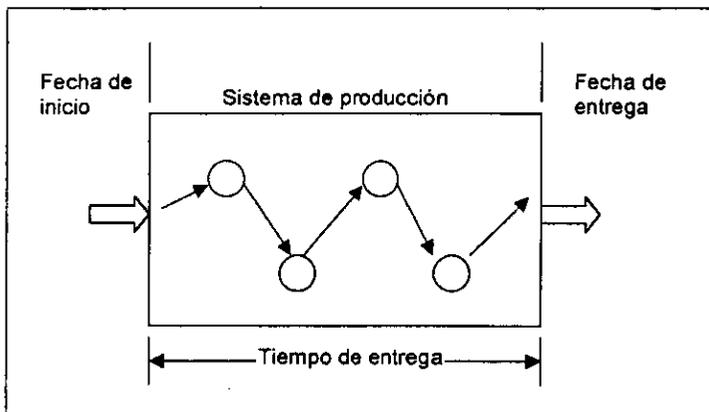


Figura 1.3.2. Sistema Empujar

1.3.2.1 Sistemas MRP II.

Un ejemplo de los sistemas empujar es el MRP II (Planeación de los recursos para la Manufactura), el cual es un sistema de planeación, programación y control manejado por computadora. Proporciona a la administración una herramienta para planear y controlar sus actividades de manufactura y las operaciones de apoyo, obteniendo un alto grado de satisfacción del cliente y reduciendo, al mismo tiempo los costos.

Puede decirse que un sistema MRP II tienen tres componentes principales que son:

- *Planeación administrativa:* la cual se hace cargo de las decisiones a largo plazo. La alta gerencia es la encargada de estas actividades.

¹¹ Ibidem (10).

- *Planeación de operaciones:* son todas las actividades que sirven de apoyo para realizar las operaciones.
- *Ejecución de operaciones:* como su nombre lo dice, es la ejecución de las decisiones tomadas. El departamento de manufactura lleva a cabo dichas operaciones.

Cada componente tiene puntos de verificación para proporcionar retroalimentación, con el objetivo de determinar si los recursos globales son los adecuados, y verificar la conformidad de los planes.

El MRP II es una herramienta que se puede implantar en cualquier sistema de producción, debido a que no se necesita de una infraestructura especial dentro de la empresa, ya que el software es el corazón del MRP II. Un inconveniente de este sistema es lo costoso que resulta la implantación, pues no se invierte solamente en la compra del software, en realidad los costos se dividen en tres categorías que son:

- *Costos de reprogramación:* debido a que el software de MRP II es para cualquier tipo de producción, es necesario contratar gente experta que re programe el paquete de computación a la medida de la empresa.
- *Costos de interfase:* el software de MRP II tiene que enlazarse con módulos o bases de datos existentes, es por ello que es necesario la adquisición de equipo de cómputo.
- *Costos de capacitación:* es necesario capacitar al personal, para que sea capaz de manejar el equipo sin ningún problema.

Una de las ventajas del sistema MRP II es que permite introducir varias variables dentro del paquete, las cuales representan las diferentes áreas de estudio de la empresa. Por lo que la incertidumbre es menor, además de que posee de varias herramientas para la administración y control de la producción.

1.3.3 Sistemas Jalar.

El objetivo de los sistemas jalar es proporcionar una técnica de control sencilla que reduzca el tiempo de entrega y el trabajo en proceso. La diferencia existente entre los sistemas empujar y jalar es: *un sistema empujar controla la producción a través del envío de la ordenes de trabajo y miden el trabajo en proceso dentro del sistema de producción, mientras que los sistemas jalar controlan el trabajo en proceso y miden la producción, con el objeto de cumplir con la demanda de los clientes con un tiempo de entrega mínimo.*

El concepto de jalar es la administración de la dependencia mutua entre los diferentes módulos que conforman el sistema. Como se puede observar en la figura 1.3.3, el material fluye hacia delante y la información hacia atrás. Una señal de una operación a una que le precede pide la cantidad requerida de un artículo. Un sistema jalar transforma un sistema interdependiente secuencial en un sistema interdependiente recíproco.¹²

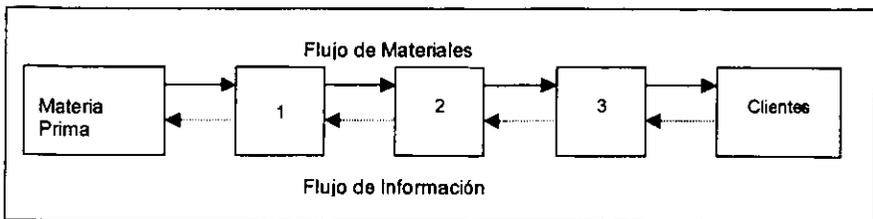


Figura 1.3.3. Sistema Jalar.

1.3.3.1 Sistemas Kanban.

El significado de la palabra Kanban en japonés es tarjeta. El sistema Kanban sirve para transmitir la información sobre consumo y demanda de componentes. Como tal, es un sistema de información manual para controlar la producción, el transporte de los materiales y el inventario.

El sistema Kanban simplifica pues la gestión de órdenes y seguimiento en el taller, ya que es el montaje final quien tira del resto de la producción en la función de las necesidades reales. El Kanban no se adapta más que a las producciones en serie, es por ello que las operaciones de producción deben de ser cortas en todas las estaciones de trabajo.

Existen diferentes tipos de Kanban entre ellos los que más destacan son:

- Kanban de transporte: se utiliza en conexiones. Desencadena la entrega de materiales para la fabricación de un lote del producto.
- Kanban de producción: se utiliza en las estaciones de trabajo. Menciona las operaciones que se le deben realizar a los materiales.
- Kanban de Inventario: sirve para llevar un control sobre el inventario. En el Kanban deben estar perfectamente mencionadas las especificaciones de los materiales.

¹² Ibidem (11).

Los datos que debe poseer el Kanban son:

- Tipo de Kanban
- Denominación y clave de la pieza
- Denominación y emplazamiento del puesto de trabajo anterior donde se fabrican las piezas (procedencia).
- Denominación y emplazamiento del lugar donde deben ir las piezas (destino).
- Denominación y emplazamiento del lugar de almacenaje.
- Cantidad de piezas por lote y momento del envío (frecuencia).
- Tipo de contenedor, capacidad y número a comprometer.

El sistema Kanban posee un nivel de alcance muy limitado, ya que solamente se enfoca a la producción, con el paso del tiempo Kanban ha servido como herramienta de otros sistemas de producción, como es el caso de Justo a tiempo.

1.3.3.2 Justo a tiempo (JIT).

El concepto de justo a tiempo (JIT), no es exclusivamente un procedimiento de control de materiales, inventarios y obra en curso, sino una filosofía de gestión, cuyo objetivo es la eliminación del despilfarro y la utilización al máximo de las capacidades de los obreros.

Se considera despilfarro a todas las actividades que no añaden valor al producto.

Existen ocho fuentes de despilfarros:¹³

1. Movimientos improductivos.
2. Productos defectuosos.
3. Sobreproducción.
4. Tiempos muertos.
5. Transportes
6. Procesos inadecuados
7. Inventarios.
8. Reprocesos

Debido a que el JIT es más una filosofía, que una herramienta cuantitativa, se rige a través de cuatro principios para cualquier aplicación, los cuales son:

¹³ Ing. Francisco Uruchurtu, Apuntes de Sistemas de producción avanzada.

- *Atacar los problemas fundamentales.* El JIT asegura que tiene poco sentido cubrir los principales problemas como los cuellos de botella o proveedores de baja calidad. Es mucho mejor resolver estos problemas fundamentales y evitar un estilo de dirección de "bomberazo".
- *Eliminar despilfarros.* Se considera despilfarro cualquier actividad que no añada valor, como son las inspecciones, el transporte y el inventario. JIT subraya que hay que eliminar estas actividades para mejorar el funcionamiento de la empresa.
- *En busca de la simplicidad:* Cualquier enfoque que se adopte debe ser simple si se quiere que sea eficaz. Una aplicación del JIT es simplificar el flujo de materiales mejorando el control.
- *Crear sistemas para identificar problemas.* Para resolver problemas fundamentales hay que identificarlos. Una herramienta del JIT incluirá mecanismos que permitan salir a la superficie a los problemas. Un ejemplo de lo anterior es el control estadístico de calidad, además de los sistemas de arrastre Kanban, que identifican las áreas de producción con cuello de botella.

El JIT no es universalmente aplicable, ya que solamente se recomienda en las empresas que presentan procesos de manufactura repetitivos. Esto se debe a que la implantación de JIT puede presentar varios problemas; a continuación se presenta la tabla 1.3.3.2 donde se describen las posibles dificultades que se pueden presentar con su respectiva solución.

Tabla 1.3.3.2. Problemas y posibles soluciones dentro de JIT.

PROBLEMA	SOLUCION PROPUESTA
A fin de fabricar productos diversos en una misma máquina se exige de ella alta flexibilidad.	Se utilizan preferentemente máquinas multipropósito.
El aumento de tiempo de preparación en las máquinas.	Simplificar y reducir todos los tiempos de preparación gracias a técnicas de reglaje individual y mejor preparación de obreros.
Hay problemas de control de la producción a nivel del taller.	Utilización de sistemas Kanban.
La producción es sensible a las fluctuaciones de la demanda y a los cambios que interfieren en los elementos de producción.	Problema resuelto mediante el control visual (andon) y las líneas de producción polivalentes.
Las instalaciones deben ser muy fiables y extremadamente duraderas.	Se garantiza la fiabilidad y duración de la vida a través de un excelente sistema de mantenimiento.
Se exige de las operaciones un alto nivel de capacitación.	Esta competencia la garantiza la formación y la fuerte motivación.
Problemas con los proveedores.	Comunicación con los proveedores, los cuales deben garantizar que la entrega sea justo a tiempo y con pocos defectos. La empresa debe tener menos proveedores para casi poderlos controlar respecto a la calidad.

1.3.4 Sistemas Cuello de Botella.

El sistema cuello de botella fue creado a finales de los años 70's y mejorados en los años 80's. Este sistema cuenta con una parte técnica y una administrativa con la finalidad de tener un mayor alcance dentro de la empresa.

La componente técnica es conocida como *tecnología de producción avanzada (OPT)* y el concepto administrativo se llama *teoría de restricciones (TOC)*. La filosofía que rige estas dos componentes es: haz dinero en el presente lo mismo que en el futuro.

La forma en que se complementan ambas herramientas es de la siguiente manera: TOC se fija metas que sirven como guía para desarrollar sus herramientas, estas pueden ser aumentar la producción, reducir inventarios, etc. TOC por su lado analiza y reduce las restricciones que impiden que el sistema de producción mejore, y así alcanzar la meta que se fijó con anterioridad.

1.3.4.1 Tecnología de producción optimizada (OPT).

La premisa de OPT es que los cuellos de botella en la producción son la base para la programación y la planeación de la capacidad. Un cuello de botella es la componente de una cadena de eventos que permite por una u otra razón ocurran menos eventos que el resto de las componentes.

Los recursos se clasifican como los que son cuellos de botella y los que no lo son. Los recursos de cuello de botella se programan a su máxima utilización, y el resto se programan para servir al cuello de botella. Esto significa que en algunos casos los recursos que no son cuello de botella pueden estar ociosos, ya que el objetivo de maximizar la eficiencia de todas las máquinas ya no es aplicable en esta herramienta. El OPT distingue dos tipos de restricciones:¹⁴

- *Cuello de botella*: se aplica al caso en que la capacidad de los recursos es menor o igual, que la demanda del mercado, es decir, un cuello de botella es un recurso que restringe la producción.
- *Recurso restringido de la capacidad*: es un recurso que se ha convertido en cuello de botella como resultado de la utilización ineficiente.

1.3.4.1.1 Reglas de OPT.

Las reglas de OPT, formuladas para la utilización máxima del cuello de botella son:¹⁵

1. Se balaceo el flujo no la capacidad.
2. Las restricciones determinan la utilización de lo que no es cuello de botella.
3. Utilización y activación de un recurso no son sinónimos.
4. Una hora perdida en un cuello de botella es una hora perdida en todo el sistema.
5. Una hora ahorrada en donde no hay un cuello de botella es un espejismo.
6. Los cuellos de botella gobiernan la producción y el inventario en el sistema.
7. El lote transferido puede, y muchas veces debe, no ser igual al lote en proceso.
8. El lote el proceso debe ser variable, no fijo.
9. Deben establecerse programas observando todas las restricciones. Los tiempos de entrega son el resultado de un programa y no pueden predeterminarse.

¹⁴ SIPHER Daniel, Planeación y control de la producción, ED: Mc. Graw-Hill, 1999.

¹⁵ *Ibidem* (14).

1.3.4.2 Teoría de restricciones (TOC).

La base de TOC, también llamado manufactura sincrónica o producción sincronizada, es su definición de restricción: *cualquier cosa que limita un sistema para lograr un desempeño más alto en el cumplimiento de su meta.*

TOC es una manera de manejar las restricciones del sistema. La influencia que ejerce sobre OPT es clara, ya que un cuello de botella es un tipo de restricción en el sistema de producción. Debido a que TOC toma como base cualquier tipo de restricción que pueda afectar al sistema, su aplicación es amplia. Se identifican tres grandes categorías de restricciones:

- *Restricción de recursos internos:* es el cuello de botella que se presenta en la producción, ya sea por la máquina o por un empleado.
- *Restricciones de mercado:* se presenta cuando la demanda es menor que la producción.
- *Restricciones de política:* una política dicta la tasa de producción, por ejemplo la política de una empresa de no trabajar los fines de semana.

Como se puede observar TOC tiene un alcance mayor dentro de la empresa, pues analiza cualquier tipo de restricción que afecta a la empresa, es por ello que es el mejor complemento para OPT, ya que OPT da las herramientas técnicas, mientras que TOC da el análisis administrativo.

Capítulo 2. Relación entre los modelos de inventario y los de pronóstico.

CAPITULO 2. RELACIÓN ENTRE LOS MODELOS DE INVENTARIO Y LOS DE PRONÓSTICO.

Objetivo: Analizar, de acuerdo a sus características, la relación existente entre los sistemas de inventarios y los pronóstico.

2.1 EL PAPEL QUE REALIZA LA DEMANDA

Con frecuencia las fluctuaciones del mercado son la causa de que se desarrollen sistemas de pronósticos más exactos, llegando a ser una ventaja competitiva para la empresa, ya que pueden determinar la producción que se debe desarrollar durante algún tiempo, así como adquirir el material necesario para llegar a la meta establecida.

Las variaciones que pueden presentar los precios en el mercado, también pueden justificar la adquisición de más materiales que los requeridos para la demanda estimada, trayendo así el aumento o la creación de inventarios dentro de la empresa. Es por ello que los modelos de inventarios deben ser analizados, para utilizar el que se adecue mejor al comportamiento de los requerimientos.

Un elemento importante que afecta tanto a los inventarios como a los pronósticos es la demanda del producto. Desde el punto de vista del control de la producción, se supone que la demanda es una variable incontrolable.¹⁶

En este trabajo se considerará como una serie de tiempo el comportamiento de la demanda del producto respecto al tiempo. Las ventas será la variable dependiente, mientras que el tiempo será la variable independiente.

Existen varios tipos de demanda, los cuales se clasifican de acuerdo a su comportamiento a través del tiempo, que son:

- *Demanda Constante:* presenta el menor número de fluctuaciones durante un periodo de tiempo.
- *Demanda con Tendencia:* es el movimiento general que muestra la demanda a través del tiempo y puede ser de crecimiento o decrecimiento .
- *Demanda Estacional:* son los cambios que presenta la demanda siempre en algunos meses o estaciones determinados.
- *Demanda Aleatoria:* no presenta un comportamiento definido en un lapso de tiempo.

Exceptuando a la demanda aleatoria, las otras tres se pueden determinar de una manera más o menos exacta. A continuación se desarrollan algunos modelos de

¹⁶ Ibidem (14).

pronóstico e inventarios que satisfacen las necesidades de la demandas anteriormente definidas. Cabe mencionar que existen varios modelos de pronósticos e inventarios, pero solamente se desarrollará los modelos que cumplen con las expectativas de la presente tesis.

2.2 DEMANDA CONSTANTE

2.2.1 Modelo de pronóstico: Promedios móviles.

Este modelo se base en datos cronológicos, teniendo como suposición esencial: "la historia predice al futuro de manera razonable". El método de promedios móviles se usa en la búsqueda de patrones de los datos utilizados, cuando algún registro se encuentra afectado por el ruido. Entiéndase por ruido el error producido dentro del pronóstico debido a la aleatoriedad de la demanda.

Si la empresa dispone de todos los valores de la demanda desde su inicio de operaciones, se puede realizar un pronóstico del promedio de todos estos datos, aunque los números iniciales tienen menor ponderación que los más recientes, ya que las condiciones del mercado son distintas. Es por ello, que el planteamiento que propone promedios móviles es utilizar los datos más recientes de la demanda, de tal manera que se refleje las condiciones en que se encuentra la demanda. Sea:



X_T = demanda en el tiempo T

N = número de periodos que se desean tomar para el cálculo del pronóstico

M_T = promedio móvil

Se tiene que el promedio móvil entre los periodos T-N+1 y T es,

$$M_T = (X_T + X_{T-1} + X_{T-2} + \dots + X_{T-N+1}) / N = (1/N) \sum_{t=T-N+1}^T X_t$$

El pronóstico para cualquier periodo futuro T+ τ es:

$$X_{T+\tau}(T) = M_T$$

En cada calculo de promedios móviles, la observación más vieja es descartada y la más reciente es añadida al conjunto de datos, de tal manera que N es constante.

Existe una ecuación alternativa que llega al mismo resultado, pero sin el uso de tantos datos históricos, la cual se desarrolla a continuación:

Supóngase que se suma $(X_{T-N} - X_{T-N}) / N$ (que es cero) a la ecuación de M_T ,

$$M_T = \frac{X_T + X_{T-1} + \dots + X_{T-N+1}}{N} + \frac{X_{T-N} - X_{T-N}}{N}$$

$$M_T = \frac{X_T + (X_{T-1} + \dots + X_{T-N+1} + X_{T-N}) - X_{T-N}}{N}$$

$$M_T = M_{T-1} + \frac{(X_T - X_{T-N})}{N}$$

Con esta ecuación se obtiene M_T directo de un valor previo M_{T-1} .

Como en todos los sistemas de pronósticos existe un porcentaje de error, el cual puede variar de acuerdo al número de datos que se desean tomar. Para este método existen dos tendencias:

- Tomar el mayor número de datos posibles, trayendo como consecuencia un margen de error menor.
- Considerar el menor número de datos (5 - 7), lo cual permite que el pronóstico tenga una mayor reacción a las fluctuaciones del mercado, pero un mayor porcentaje de error.

Para determinar cuantos datos se deben de considerar es necesario estudiar el producto y el mercado, para poseer un pronóstico lo más confiable posible. La figura 2.2.1 que se muestra a continuación, representa el comportamiento del pronóstico de 6 y 3 periodos respecto a la demanda real.

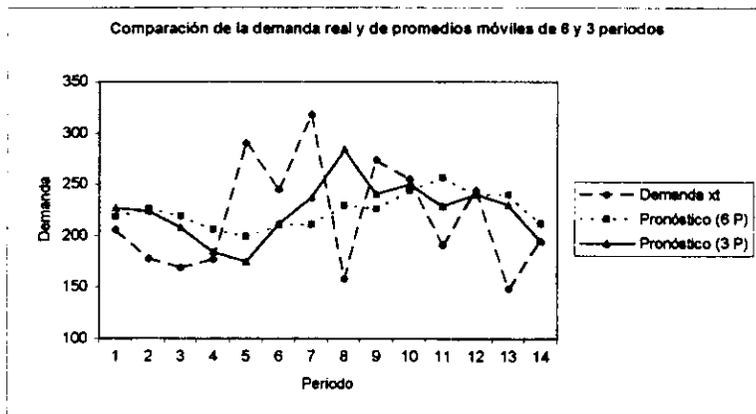


Figura 2.2.1. Comparación de l comportamiento de la curva de la demanda real contra las curvas de los promedios móviles de 6 y 3 periodos.

Otro tipo de modelo de pronóstico que se puede utilizar para una demanda uniforme es el pronóstico simple, que consiste en promediar todos los datos obtenidos sin importar que se le dé la misma ponderación a todas las observaciones. Este tipo de pronósticos, da resultados con las siguientes características:

- valores similares entre sí (ya que se trata de demanda uniforme),
- los datos obtenidos siguen un patrón de demanda poco afectado por el ruido.

Para este tipo de modelos de pronóstico es conveniente utilizar modelos de inventarios que puedan utilizar los valores obtenidos del pronóstico con el mínimo error posible. En este análisis se encontró que el modelo de cantidad económica a ordenar puede hacer uso de los datos obtenidos de promedios móviles, ya que ambos modelos plantean una situación en común: demanda constante. Este modelo de inventario se describe a continuación.

2.2.2 Modelo de inventario: Cantidad económica a ordenar (EOQ).

Este es el modelo que fue creado en 1915 y es el modelo fundamental de los inventarios, el cual puede presentar cuatro variaciones que son: 1) sin producción – sin déficit, 2) con producción – sin déficit, 3) sin producción – con déficit y 4) con producción – con déficit. Su importancia radica en que es la base de los modelos más elaborados que se fueron creando posteriormente, además de que muchas empresas en la actualidad lo siguen utilizando.

En este trabajo se tomará como referencia la primera variación del modelo EOQ. El ambiente que supone dicho modelo para la toma de decisiones es:

- La demanda es constante y el monto de artículos a ordenar es de n unidades por unidad de tiempo.
- No se permiten faltantes
- Existe un solo artículo dentro del sistema de inventarios.
- No existe tiempo de entrega, es decir el tiempo desde que se coloca la orden hasta que el producto es entregado es igual a cero.
- Toda la cantidad ordenada llega al mismo tiempo.

Este modelo es adecuado para la compra de materia prima en producción o para ventas al menudeo. El concepto fundamental para este modelo es crear un balance entre los costos de ordenar y los de almacenar. A continuación se presenta la figura 2.2.2 del modelo (EOQ), así como sus variables, las cuales tendrá una escala anual.

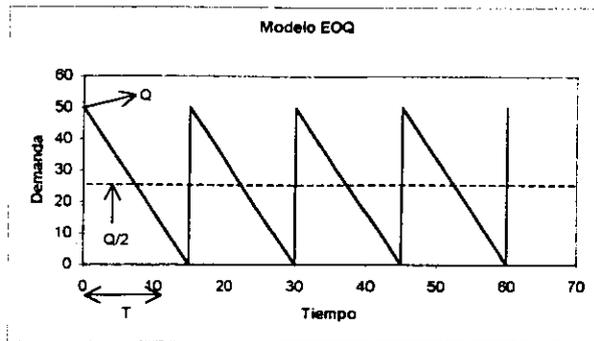


Figura 2.2.2. Modelo EOQ

Sea:

c = Costo unitario (\$/unidad)

i = costo total anual de mantener el inventario por unidad (% por año)

$h = ic$ = costo total anual por mantener el inventario (\$ por unidad por año) = costo por mantener el inventario + (costo de oportunidad)(costo unitario) = $m + \varphi c$

A = costo por ordenar (\$/orden)

D = demanda por unidad de tiempo

T = longitud de ciclo, el tiempo que transcurre entre la colocación o recepción de ordenes sucesivas de abastecimiento

$K(Q)$ = costo promedio anual como función del tamaño de lote Q

I_t = inventario disponible en el tiempo t

Q = tamaño de lote a pedir

I = inventario promedio

Este modelo supone que el inventario se encuentra en un nivel cero donde se hace un pedido de Q unidades, mismo que se recibe inmediatamente, al ir transcurriendo el tiempo T el inventario se va reduciendo a una tasa de D unidades, llegando a cero. Cuando se llega a este punto se ordenan Q unidades, las cuales son entregadas inmediatamente (tiempo de abastecimiento cero).

Se puede observar en la gráfica que el tiempo T se calcula de la siguiente manera,

$$T = Q/D$$

Inventario promedio es:

$$I = Q/2$$

Como el objetivo principal de este modelo es minimizar los costos, el costo total queda definido con la siguiente ecuación,

$$\text{Costo promedio anual} = \text{costo de compra} + \text{costo anual por ordenar} + \text{costo promedio por mantener inventario}$$

Donde,

Costo de compra = costo unitario * el número de piezas = cD

Costo promedio por ordenar = costo por ordenar * número de veces en el año = $A(D/Q)$

Costo promedio por mantener inventario = costo por mantener una pieza en inventario * inventario promedio = $h(Q/2)$

Por lo que,

$$K(Q) = cD + A(D/Q) + h(Q/2)$$

La meta de este modelo es minimizar los costos, a través de optimizar el nivel de inventario (Q). Este análisis se logra utilizando las reglas de máximos y mínimos del Cálculo Diferencial, teniendo:

$$K'(Q) = 0 - AD/Q^2 + h/2$$

$$K''(Q) = 2ADQ/Q^4$$

Como se puede ver en la segunda derivada de $K(Q)$ es positiva, es decir, es una función cóncava hacia arriba.

Igualando cero la primera derivada para obtener el mínimo, se tiene:

$$K' = -AD/Q^2 + h/2$$

$$0 = -AD/Q^2 + h/2$$

$$0 = (-2AD + Q^2h) / 2Q^2$$

$$0 = Q^2h - 2AD$$

$$2AD = Q^2h$$

$$2AD/h = Q^2$$

$$\text{Cantidad Económica a ordenar } Q^* = \sqrt{(2AD/h)}$$

Sustituyendo la ecuación de cantidad económica a ordenar en el costo promedio, se tienen que el costo promedio mínimo es:

$$K^*(Q^*) = cD + \sqrt{2ADh}$$

2.3 DEMANDA CON TENDENCIA

Cuando un producto sale al mercado presenta un ciclo de vida (ver figura 2.3), que pasa por 4 etapas, que son: inicio, lanzamiento, madurez y decadencia. Entre la etapa de inicio y lanzamiento se puede observar que la demanda presenta una tendencia positiva, mientras que en la zona de madurez a decadencia se da una tendencia negativa, es decir, el consumidor ha disminuido la compra del producto.

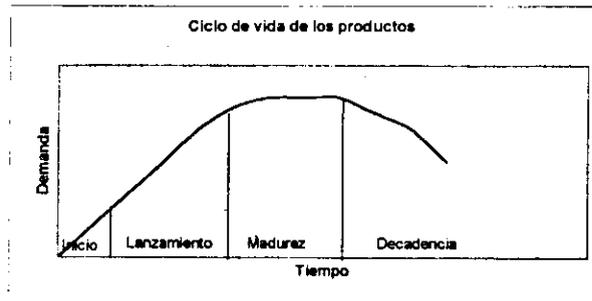


Figura 2.3.Ciclo de vida de los productos.

Es en estas dos etapas donde los modelos de pronósticos e inventarios presentan algunas variaciones, con la finalidad de obtener un mejor provecho tanto de los materiales como del dinero.

La tendencia que se presenta en la curva de la demanda no solamente es sinónimo de lanzamiento o decadencia de un producto, también puede ser un cambio dentro del mercado, dichos cambios pueden ser de naturaleza política, económica, ecológica, etc. Si el cambio que se presenta es continuo, la tendencia de la demanda se clasifica en este rubro, pero si ésta modificación se presenta solamente una vez en un lapso de tiempo considerado dentro de la vida del producto, se considerará dentro de la clasificación de demanda aleatoria.

Para pronosticar este tipo de demandas el método de suavizamiento exponencial doble puede ser el adecuado tanto para tendencia negativa como positiva, ya este método considera tanto la componente lineal como la componente de la tendencia de la curva que describe el patrón de la demanda. Mientras que el inventario se va a regir por dos métodos distintos, de acuerdo a la tendencia. A continuación se presentan los modelos tanto de pronósticos como de inventarios.

2.3.1 Modelo de pronóstico: Suavizamiento exponencial doble.

El objetivo del modelo de suavizamiento exponencial doble es estimar la pendiente de la demanda del producto, y multiplicar la estimación por el número de periodos futuros que se desea pronosticar. Para entender este concepto es necesario conocer el modelo de suavizamiento exponencial simple, el cual se aplica a demandas uniformes.

2.3.1.1 Suavizamiento exponencial simple.

Tomando en cuenta que la demanda es lineal, se tiene que el pronóstico va ser igual al valor del periodo anterior pronosticado (S_{T-1}) más el error de aleatoriedad (e_T), teniendo:

$$\text{Demanda Esperada} = S_{T-1} + e_T$$

donde la demanda esperada se denotará como (S_T).

Una manera razonable de obtener una nueva estimación es modificando la estimación anterior a través del error de aleatoriedad, el cual se obtiene de la diferencia de la demanda real en el periodo T (X_T) y del pronóstico del periodo anterior, dando:

$$e_T = X_T - S_{T-1}$$

si α es la fracción deseada o constante de suavizamiento, la nueva estimación de la demanda esperada es:

$$S_T = S_{T-1} + \alpha [X_T - S_{T-1}]$$

$$S_T = \alpha X_T + [1 - \alpha] S_{T-1}$$

Donde X_T es el valor de la demanda real en un periodo previo. La ecuación resultante es llamada suavizamiento exponencial simple, y S_T es llamado el valor suavizado.

Sustituyendo la ecuación de S_T en S_{T-1} , con sus respectivos valores, tenemos:

$$S_T = \alpha X_T + [1 - \alpha] S_{T-1}$$

$$S_T = \alpha X_T + [1 - \alpha] * [\alpha X_{T-1} + [1 - \alpha] S_{T-2}]$$

$$S_T = \alpha X_T + \alpha [1 - \alpha] X_{T-1} + [1 - \alpha]^2 S_{T-2}$$

y así sucesivamente nos da,

$$S_T = \alpha \sum_{k=0}^{T-1} [1 - \alpha]^k X_{T-k} + [1 - \alpha]^T S_0$$

donde S_0 es el valor inicial del conjunto de datos.

Como se puede observar este método presenta un suavizamiento en la ponderación de los datos, es decir, entre más reciente sea el dato mayor ponderación tendrá. Esta ponderación se encuentra regida por el coeficiente α ($0 \leq \alpha \leq 1$), por lo que si se tiene un α muy grande los valores obtenidos de la ecuación tendrán la característica de reaccionar rápidamente a la tendencia de la demanda, pero también se incrementará el error por fluctuación.

2.3.1.2 Suavizamiento exponencial doble.

Como se dijo anteriormente el objetivo del método de suavizamiento exponencial doble es estimar la pendiente de la demanda, ya que este método solamente se aplica cuando la demanda presenta una tendencia, ya sea positiva o negativa.

Una simple estimación de la pendiente daría la diferencia entre las demandas de 2 periodos sucesivos, sin embargo la variación aleatoria inherente hace que esta estimación sea mala. Para reducir el efecto de aleatoriedad se puede usar la diferencia entre los promedios calculados en dos periodos sucesivos (ver figura 2.3.1.2). Usando suavizamiento exponencial, la estimación del promedio en el periodo T es S_T , de modo que la estimación de la pendiente en el tiempo T sería (ver anexo A)¹⁷:

$$\text{Pendiente en el periodo T} = (S_T - S_{T-1})$$

donde la pendiente en el periodo T se denotará como (B_T) .

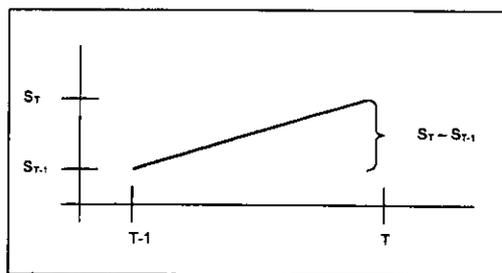


Figura 2.3.1.2. Estimación de la pendiente entre los promedios de dos periodos sucesivos

¹⁷ MONTGOMERY Douglas, Forecasting and time series analysis. Ed. Mac. Graw-Hill, 1990.

Con esta idea una vez más, se puede usar el suavizamiento exponencial para actualizar la estimación de la tendencia, lo que lleva al suavizamiento exponencial doble, representado por el siguiente conjunto de ecuaciones:

$$S_T = \alpha X_T + [1 - \alpha] S_{T-1}$$

$$S^2_T = \alpha S_T + [1 - \alpha] S^2_{T-1}$$

$$X_{T+\tau} = (2 + [\alpha\tau/\beta]) S_T - (1 + [\alpha\tau/\beta]) S^2_T$$

Donde,

S_T = valor del suavizamiento exponencial en el periodo T

α = coeficiente de suavizamiento

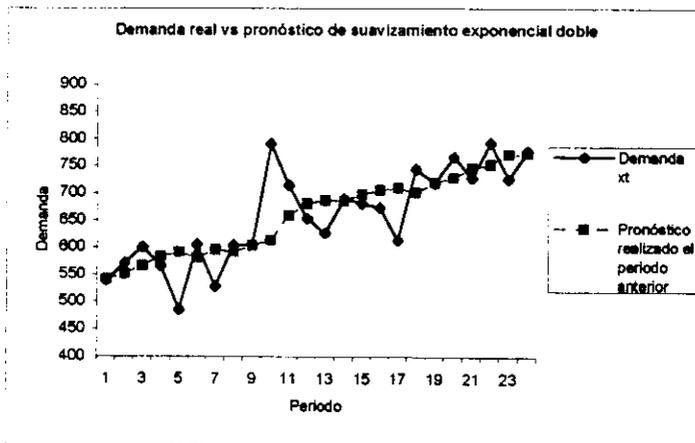
$\beta = 1 - \alpha$

X_T = demanda real en el periodo T

S^2_T = valor del suavizamiento exponencial doble en el periodo T

τ = número de periodos

A continuación se presenta la gráfica 2.3.1.3 que muestra el comportamiento de los pronósticos calculados por medio del modelo de suavizamiento exponencial respecto a la demanda.



Gráfica 2.3.1.3. Curva de la demanda real vs. curva del pronóstico de suavizamiento exponencial doble

Como se puede observar en la figura anterior los pronósticos calculados a través de este método presentan una tendencia, en este caso positiva. Para obtener un mejor aprovechamiento de este tipo de modelo, es necesario disponer de inventarios que se rijan con las mismas suposiciones que el pronóstico, es decir, que se tenga una demanda con un patrón establecido. Para demandas con tendencia positiva el modelo de inventario conveniente es el de Descuento por Cantidad, negociando con el proveedor dichos descuentos, el cual calcula la cantidad óptima de inventario a menor costo.

Mientras que, para una demanda con tendencia negativa, lo mejor es reducir la cantidad de materiales en el almacén, pero sin descuidar el costo por faltante, por lo que es necesario un inventario de seguridad. A continuación se analizan ambos modelos de inventario.

2.3.2 Modelo de inventario para tendencia positiva: Descuento por cantidad.

Muchas empresas experimentan el proceso donde, los productos que ofrecen incrementan o disminuyen sus ventas en cada periodo. No solamente los administradores de las empresas se percatan de este hecho, sino también los proveedores, los cuales ofrecen descuentos en los materiales que tienden a ser obsoletos, presentan poca rotación o mayor competencia en el mercado de los mismos. Es en este punto donde el administrador debe pensar si le conviene tomar el descuento e invertir más en el costo por almacenar o no tomar el descuento.

El modelo de descuento por cantidad ofrece determinar la cantidad óptima al mejor costo, aprovechando los descuentos del proveedor sin aumentar tanto los costos del inventario mayor.

En la mayoría de los casos los proveedores ofrecen un descuento en todas las unidades, es decir, el descuento se aplica a todos los artículos, si la cantidad excede el rango de descuento, dado que el costo por adquirir es igual al número de unidades por el precio de compra. Por lo anterior, el precio de compra de Q unidades esta definido por:

Costo de compra de Q unidades en el intervalo j = costo por unidad en el j-ésimo
intervalo * número de unidades

Al igual que el modelo EOQ, el modelo de descuento de cantidad busca minimizar el costo total de inventario. Para este caso se utilizará la siguiente notación:

A = costo de ordenar

D = demanda por unidad de tiempo

i = costo total anual por mantener el inventario

m = número de cortes de precio

q_j = límite superior del j-ésimo intervalo de corte de precio

c_j = costo de unidad en el j-ésimo intervalo $[q_{j-1}, q_j]$ en el rango del precio

Q_j = cantidad EOQ, calculada usando c_j

Q_j^* = la mejor cantidad a ordenar en el intervalo j

Q^* = cantidad óptima a ordenar para todos los precios

$K_j(Q)$ = costo de Q unidades en el intervalo j

$K_j(Q_j^*)$ = costo mínimo en el intervalo j

$K^*(Q^*)$ = costo mínimo para todos los precios

$C_j(Q)$ = costo de compra de Q unidades en el intervalo j

El precio de compra de Q unidades con Q en el intervalo j queda definido matemáticamente como,

$$C_j(Q) = c_j Q \quad \text{para } q_{j-1} \leq Q < q_j$$

Siguiendo el mismo procedimiento matemático que se desarrolló en el modelo de EOQ, nos da,

$$Q_j = \sqrt{[(2AD) / (ic_j)]}$$

$$K_j(Q_j) = c_j D + \sqrt{2ADic_j}$$

Estas dos fórmulas nos dan la cantidad óptima a ordenar y el costo mínimo, dado un precio j. Ya que c_j cambia, este término debe ser incluido en la ecuación de costos.

En muchas de las ocasiones, el cálculo de la cantidad óptima a ordenar utilizando un costo en el intervalo j, da como resultado una cantidad que no pertenece a este intervalo de precio. Es por ello que es necesario desarrollar una metodología que dé el resultado óptimo, la cual se presenta a continuación (diagrama 2.3.2):

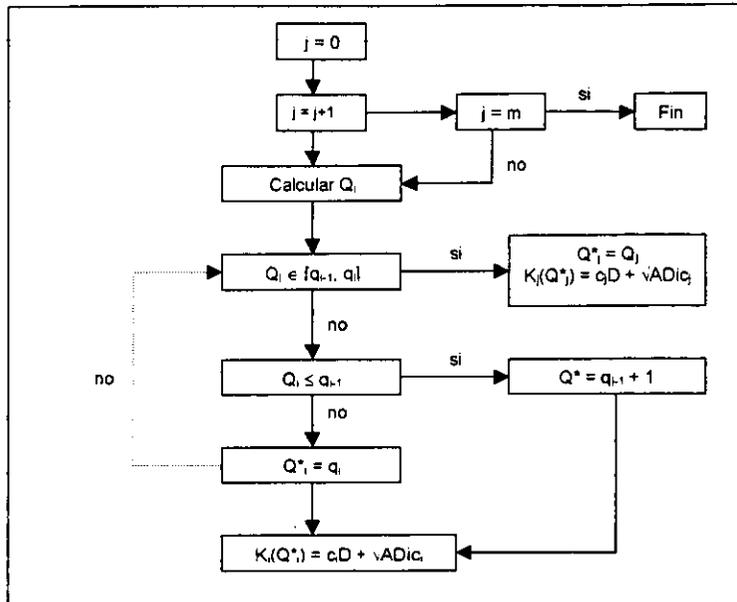


Diagrama 2.3.2. Diagrama de flujo para calcular la cantidad óptima a ordenar en el modelo de inventario con descuento.

2.3.3 Modelo de inventario para tendencia negativa: inventario de seguridad.

Cualquier tipo de inventario puede tener un inventario de seguridad. Aunque éste se justifica cuando la demanda va disminuyendo en forma no lineal, por lo que nunca se sabe si en determinado periodo el cliente va a comprar más del producto de lo que se ha estimado por medio de los pronósticos o, si el costo por faltante es alto.

Es por ello que el inventario de seguridad va muy ligado con el concepto de servicio durante el tiempo de reorden, el cual se define de la siguiente manera: *siempre que un cliente necesite de un artículo del inventario, esté ahí*. Cuando el servicio es perfecto el inventario de seguridad cumple con el objetivo. Sin embargo, más inventario significa más costo de mantenerlo y menos oportunidad de que un cliente se enfrente a un faltante. Debido a esto el inventario de seguridad debe de analizarse de tal manera que se tenga la cantidad necesaria para una fluctuación en la demanda, sin llegar a inventarios demasiados grandes (n) y costosos.

Se puede observar en la figura 2.3.3, que el inventario de seguridad se utiliza para enfrentar los picos de la demanda durante el tiempo de entrega el cual puede ser aleatorio o determinístico.

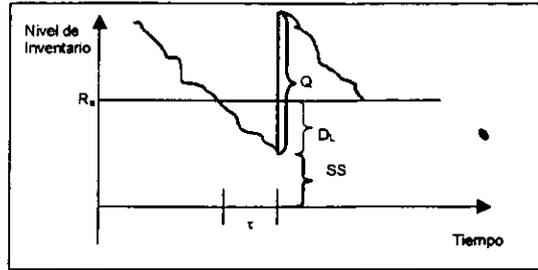


Figura 2.3.3. Función del inventario de seguridad en un tiempo de reorden τ

Donde,

R_a = punto de reabastecimiento

Q = tamaño del lote

D_c = demanda media durante el tiempo de abastecimiento

SS = nivel del inventario de seguridad

τ = tiempo de entrega extra

Para calcular el tamaño del inventario de seguridad, es conveniente conocer la distribución de la demanda durante el tiempo de entrega y calcular su media y su desviación estándar.

Se puede observar en la figura anterior que el inventario de seguridad es una función del punto de reabastecimiento y se puede determinar como:

$$SS = R_a - D_c$$

Esta ecuación da como resultado un SS promedio, el cual se puede aumentar o disminuir de acuerdo al nivel de servicio que se quiera dar al cliente.

2.4 DEMANDA PERIÓDICA

No todos los productos presentan demanda constante en un periodo de tiempo dado, sino que tienen sus altibajos de ventas en algunos lapsos. Tal es el caso de los trajes de baño que aumentan sus ventas en periodos vacacionales.

Para este tipo de demandas es necesario utilizar modelos de pronósticos que se adecuen a ellas, de tal manera que se produzca lo que se va a vender, ni más ni menos. También es necesario poseer un inventario eficiente que contenga la materia necesaria para satisfacer la demanda en los periodos donde exista el aumento de las ventas. A

continuación se presentan los modelos de pronóstico e inventarios que pueden compensar este tipo de comportamiento.

2.4.1 Modelo de pronóstico: Método Winter's

Como se ha podido observar en el último caso, el suavizamiento exponencial es una eficiente técnica para estimar series de tiempo. Teniendo como herramienta principal modelos en forma de polinomio que representan el comportamiento de la demanda en un lapso de tiempo. Pero existen muchas series de tiempo que no se pueden adecuar a modelos en forma de polinomios, tal es el caso de la demanda cíclica.

Para este tipo de demanda se desarrolló el método Winter's, que tiene como fundamento matemático representar el comportamiento a través del siguiente modelo:

$$x_t = (b_1 + b_2 t) c_t + \varepsilon_t$$

teniendo que, cada c_t es el factor multiplicativo de periodicidad de cada periodo del ciclo de tiempo L, por lo que,

$$\sum_{t=1}^{t=L} c_t = L \quad t = 1, 2, \dots, L$$

donde,

X_t = demanda

b_1 = es el origen, normalmente llamada componente permanente

b_2 = es la componente de la tendencia lineal

c_t = factor multiplicativo de periodicidad de cada periodo en el ciclo L

ε_t = error de variabilidad

L = ciclo dentro del marco del tiempo

t = número de periodos

La siguiente figura 2.4.1.1 representa una demanda con el comportamiento estacional, donde b_1 es el origen que se va a tomar en el ciclo L, mientras que b_2 es la pendiente (positiva en este caso) que presenta la curva y $\sum c_t$ es la amplitud del ciclo.

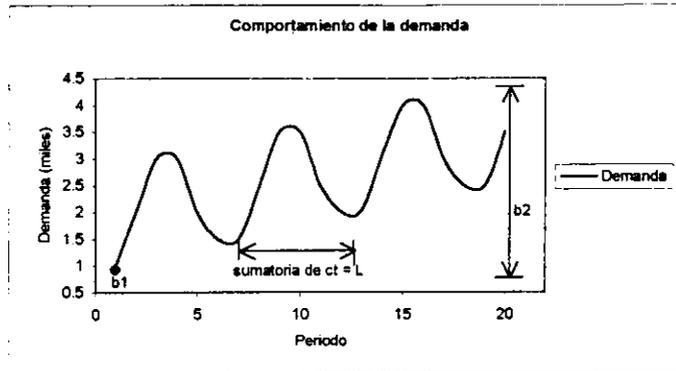


Figura 2.4.1.1. Comportamiento de la curva de una demanda periódica

En la realidad ningún ciclo es idéntico a otro debido a que se presentan algunas variaciones, trayendo como consecuencia que la amplitud del ciclo ($\sum c_t = L$) cambie, es por ello, que en el proceso para estimar la demanda es necesario un factor no estacional $a_1(T)$ que describa la constante lineal y el origen de la curva, que es:

$$a_1(T) = b_1 + b_2 T$$

Por lo que el valor esperado de la demanda periódica en el periodo T y considerando $\varepsilon_t = 0$ nos da,

$$E(X_t) = a_1(T) c_t$$

El método Winter's tiene como objetivo estimar los parámetros b_1 , b_2 y c_t . Para el análisis matemático que a continuación se desarrollará¹⁸, se van a establecer las estimaciones de los factores de tendencia y de periodicidad al final del periodo T , como $\hat{b}_2(T)$ y $\hat{c}_T(T)$. La componente permanente b_1 se va a establecer en las bases del origen del ciclo en curso, la cual va ser estimada como $\hat{a}_1(T)$.

Al final del periodo T , después de observar la tendencia de la demanda de ese periodo, X_t , se desarrolló el siguiente flujo de ecuaciones:

1. Revisión de la estimación de la componente permanente

$$\hat{a}_1(T) = \alpha [X_T / \hat{c}_T(T - L)] + (1 - \alpha) [\hat{a}_1(T - 1) + \hat{b}_2(T - 1)] \quad \dots(1)$$

¹⁸ Ibidem

donde $0 < \alpha < 1$ es una constante de suavizamiento. Al dividir X_T por $c^{\wedge}_T(T - L)$, donde c^{\wedge}_T es la estimación del factor de periodicidad para el periodo T registrado hace L ciclos, quita la estabilidad de los datos; por lo que la única componente de tendencia y el primer valor de la componente permanente entran dentro del proceso de $a^{\wedge}_1(T)$. Esto cambia de posición el origen del tiempo al final del periodo en curso T .

2. Revisión de la estimación de la componente de la tendencia

$$b^{\wedge}_2(T) = \beta [a^{\wedge}_1(T) - a^{\wedge}_1(T - 1)] + (1 - \beta) b^{\wedge}_2(T - 1) \quad \dots(2)$$

donde $0 < \beta < 1$ es la segunda constante de suavizamiento. Se puede observar que la estimación de la componente de la tendencia es la diferencia entre dos estimaciones sucesivas de la componente permanente.

3. Revisión de la estimación del factor de periodicidad para el periodo T

$$c^{\wedge}_T(T) = \gamma (X_T / a^{\wedge}_1(T)) + (1 - \gamma) c^{\wedge}_T(T - L) \quad \dots(3)$$

donde $0 < \gamma < 1$ es la tercera constante de suavizamiento. Se observa que la variación del ciclo en estudio ($X_T / a^{\wedge}_1(T)$), es suavizada con la estimación del factor de periodicidad para el periodo T , registrado hace L ciclos, la cual fue la última oportunidad para observar esta porción de la conducta del ciclo para obtener una nueva estimación del efecto estacional en el periodo T .

Cabe mencionar que las ecuaciones anteriormente expuestas no añaden una amplitud al ciclo. Una posible modificación del método Winter's, es normalizar los factores de periodicidad al final de cada ciclo.

4. Para pronosticar la observación en cualquier periodo futuro $T + \tau$, se realiza

$$x^{\wedge}_{T+\tau}(T) = [a^{\wedge}_1(T) + b^{\wedge}_2(T)\tau] c^{\wedge}_{T+\tau}(T + \tau - L) \quad \dots(4)$$

Otra vez, se debe de recordar que la cantidad dentro del paréntesis para $a^{\wedge}_1(\cdot)$, $b^{\wedge}_2(\cdot)$ y $c^{\wedge}_1(\cdot)$ indica el periodo de registro de la estimación. De esta manera, para pronosticar el periodo $T + \tau$, se necesita un factor de periodicidad para el periodo $T + \tau$, el cual se registro en el periodo $T + \tau - L$.

Pronósticos para periodos más lejanos que L se pueden realizar reutilizando el apropiado $c^{\wedge}_1(\cdot)$.

El desarrollo de un sistema de pronósticos utilizando el método Winter's requiere los valores iniciales para los parámetros $a^{\wedge}_1(0)$, $b^{\wedge}_2(0)$ y $c^{\wedge}_1(0)$ para $t = 1, 2, \dots, L$. Si se posee de información histórica, esta se puede utilizar para proveer algunas o todas las estimaciones iniciales. Varios algoritmos heurísticos se han creado para utilizar datos

históricos para la estimación de los parámetros iniciales. A continuación se presenta un procediendo de iniciación similar al propuesto por Winter's.

Suponiendo que los datos del último periodo m se encuentran accesibles, y dejando $\bar{x}_j = 1, 2, \dots, m$ como el promedio de las observaciones durante el ciclo j . La estimación del factor de tendencia quedaría,

$$b_2(0) = (X_m - X_1) / (m - 1)L \quad \dots(5)$$

La componente permanente al principio del primer periodo sería estimada por,

$$a_1(0) = \bar{X}_1 - [(L/2) b_2(0)] \quad \dots(6)$$

Los factores estacionales se encuentran registrados para cada periodo $t = 1, 2, \dots, mL$, como la razón de la observación actual para el promedio de estacionalidad se ajusta al valor para ese ciclo, hay mayor ajuste por la tendencia, que es:

$$c_t = X_t / [\bar{X}_j - [(L - 1)/2 - j] b_2(0)] \quad t = 1, 2, \dots, mL \quad \dots(7)$$

donde \bar{X}_j es el promedio para el ciclo correspondiente al índice t , y j es la posición del periodo t dentro del ciclo (por ejemplo, si $1 \leq t \leq L$, entonces $i = 1$, y si $L+1 \leq t \leq 2L$, entonces $i = 2$, y cuando $t = 1$ y $t = L+1$, entonces $j = 1 \dots$ ect). La ecuación (7) va a producir m estimaciones del factor de periodicidad para cada periodo. Por lo que se puede producir un solo factor de periodicidad promedio para cada periodo dentro del ciclo. Esto se logra con la siguiente ecuación,

$$c_t = 1/m \sum_{k=0}^{m-1} c_{t+kL} \quad t = 1, 2, \dots, L$$

Finalmente, los factores de periodicidad deben normalizarse para que se pueda añadir a L . Esto produce las estimaciones iniciales para los factores de periodicidad de la siguiente manera,

$$c_t^*(0) = c_t (L / \sum_{t=1}^L c_t) \quad t = 1, 2, \dots, L$$

Este procedimiento produce las estimaciones $a_1(0)$, $b_2(0)$ y $c_t^*(0)$, asumiendo que el origen del tiempo es inmediatamente al inicio del periodo 1. Para pronosticar futuras observaciones en una serie de tiempo, el análisis usualmente requiere de estimaciones iniciales de los parámetros en el periodo mL como el origen del tiempo. Varios puntos de la demanda pueden ser utilizados. Una posibilidad es estimar la constante permanente a un punto en el tiempo por medio de $X_m + (L/2) b_2(0)$ en lugar de la ecuación (6), y posteriormente utilizar $b_2(0)$ y $c_t^*(0)$ como se registro con anterioridad. Otra aproximación es suavizar repetidamente $a_1(0)$, $b_2(0)$ y $c_t^*(0)$ periodo por periodo de

donde $0 < \alpha < 1$ es una constante de suavizamiento. Al dividir X_T por $c^{\wedge}_T(T - L)$, donde c^{\wedge}_T es la estimación del factor de periodicidad para el periodo T registrado hace L ciclos, quita la estabilidad de los datos; por lo que la única componente de tendencia y el primer valor de la componente permanente entran dentro del proceso de $a^{\wedge}_1(T)$. Esto cambia de posición el origen del tiempo al final del periodo en curso T .

2. Revisión de la estimación de la componente de la tendencia

$$b^{\wedge}_2(T) = \beta [a^{\wedge}_1(T) - a^{\wedge}_1(T - 1)] + (1 - \beta) b^{\wedge}_2(T - 1) \quad \dots(2)$$

donde $0 < \beta < 1$ es la segunda constante de suavizamiento. Se puede observar que la estimación de la componente de la tendencia es la diferencia entre dos estimaciones sucesivas de la componente permanente.

3. Revisión de la estimación del factor de periodicidad para el periodo T

$$c^{\wedge}_T(T) = \gamma (X_T / a^{\wedge}_1(T)) + (1 - \gamma) c^{\wedge}_T(T - L) \quad \dots(3)$$

donde $0 < \gamma < 1$ es la tercera constante de suavizamiento. Se observa que la variación del ciclo en estudio ($X_T / a^{\wedge}_1(T)$), es suavizada con la estimación del factor de periodicidad para el periodo T , registrado hace L ciclos, la cual fue la última oportunidad para observar esta porción de la conducta del ciclo para obtener una nueva estimación del efecto estacional en el periodo T .

Cabe mencionar que las ecuaciones anteriormente expuestas no añaden una amplitud al ciclo. Una posible modificación del método Winter's, es normalizar los factores de periodicidad al final de cada ciclo.

4. Para pronosticar la observación en cualquier periodo futuro $T + \tau$, se realiza

$$x^{\wedge}_{T+\tau}(T) = [a^{\wedge}_1(T) + b^{\wedge}_2(T) \tau] c^{\wedge}_{T+\tau}(T + \tau - L) \quad \dots(4)$$

Otra vez, se debe de recordar que la cantidad dentro del paréntesis para $a^{\wedge}_1(\cdot)$, $b^{\wedge}_2(\cdot)$ y $c^{\wedge}_1(\cdot)$ indica el periodo de registro de la estimación. De esta manera, para pronosticar el periodo $T + \tau$, se necesita un factor de periodicidad para el periodo $T + \tau$, el cual se registro en el periodo $T + \tau - L$.

Pronósticos para periodos más lejanos que L se pueden realizar reutilizando el apropiado $c^{\wedge}_1(\cdot)$.

El desarrollo de un sistema de pronósticos utilizando el método Winter's requiere los valores iniciales para los parámetros $a^{\wedge}_1(0)$, $b^{\wedge}_2(0)$ y $c^{\wedge}_1(0)$ para $t = 1, 2, \dots, L$. Si se posee de información histórica, esta se puede utilizar para proveer algunas o todas las estimaciones iniciales. Varios algoritmos heurísticos se han creado para utilizar datos

históricos para la estimación de los parámetros iniciales. A continuación se presenta un procedimiento de iniciación similar al propuesto por Winter's.

Suponiendo que los datos del último periodo m se encuentran accesibles, y dejando $\bar{x}_j = 1, 2, \dots, m$ como el promedio de las observaciones durante el ciclo j . La estimación del factor de tendencia quedaría,

$$b_2(0) = (X_m - X_1) / (m - 1)L \quad \dots (5)$$

La componente permanente al principio del primer periodo sería estimada por,

$$a_1(0) = \bar{X}_1 - [(L/2) b_2(0)] \quad \dots (6)$$

Los factores estacionales se encuentran registrados para cada periodo $t = 1, 2, \dots, mL$, como la razón de la observación actual para el promedio de estacionalidad se ajusta al valor para ese ciclo, hay mayor ajuste por la tendencia, que es:

$$c_t = X_t / [\bar{X}_j - [(L - 1)/2 - j] b_2(0)] \quad t = 1, 2, \dots, mL \quad \dots (7)$$

donde \bar{X}_j es el promedio para el ciclo correspondiente al índice t , y j es la posición del periodo t dentro del ciclo (por ejemplo, si $1 \leq t \leq L$, entonces $j = 1$, y si $L+1 \leq t \leq 2L$, entonces $j = 2$, y cuando $t = 1$ y $t = L+1$, entonces $j = 1 \dots$ ect). La ecuación (7) va a producir m estimaciones del factor de periodicidad para cada periodo. Por lo que se puede producir un solo factor de periodicidad promedio para cada periodo dentro del ciclo. Esto se logra con la siguiente ecuación,

$$c_t = 1/m \sum_{k=0}^{m-1} c_{t+kL} \quad t = 1, 2, \dots, L$$

Finalmente, los factores de periodicidad deben normalizarse para que se pueda añadir a L . Esto produce las estimaciones iniciales para los factores de periodicidad de la siguiente manera,

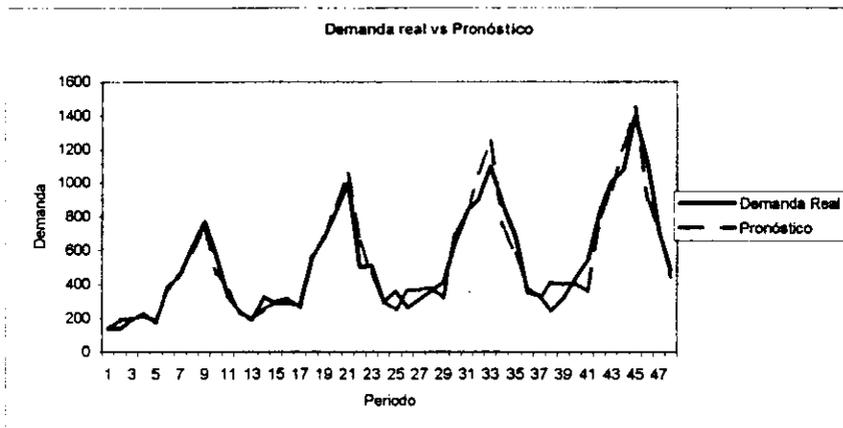
$$\hat{c}_t(0) = c_t (L / \sum_{i=1}^L c_i) \quad t = 1, 2, \dots, L$$

Este procedimiento produce las estimaciones $\hat{a}_1(0)$, $\hat{b}_2(0)$ y $\hat{c}_1(0)$, asumiendo que el origen del tiempo es inmediatamente al inicio del periodo 1. Para pronosticar futuras observaciones en una serie de tiempo, el análisis usualmente requiere de estimaciones iniciales de los parámetros en el periodo mL como el origen del tiempo. Varios puntos de la demanda pueden ser utilizados. Una posibilidad es estimar la constante permanente a un punto en el tiempo por medio de $X_m + (L/2) b_2(0)$ en lugar de la ecuación (6), y posteriormente utilizar $\hat{b}_2(0)$ y $\hat{c}_1(0)$ como se registro con anterioridad. Otra aproximación es suavizar repetidamente $\hat{a}_1(0)$, $\hat{b}_2(0)$ y $\hat{c}_1(0)$ periodo por periodo de

acuerdo a las ecuaciones (1), (2) y (3) hasta que los valores al final del periodo mL sean obtenidos. Por lo que el origen del tiempo puede ser redefinido como el periodo mL .

Un esquema más amplio para estimar los valores iniciales de los factores de periodicidad es simplemente dividir las observaciones en cada periodo por el promedio del ciclo. Este procedimiento puede funcionar bastante bien si la demanda NO presenta tendencia. Aunque, si la componente de tendencia no es cero, las estimaciones de los factores obtenidos de esta forma van a poseer efectos de tendencia, y el pronóstico se puede ver adversamente afectado.

La figura 2.4.1.2 muestra como reacciona el método Winter's a la demanda cíclica. Aunque el pronóstico se ve un poco desfasado de la demanda real debido a las variaciones aleatorias, las tres componentes de suavizamiento permiten seguir el comportamiento de la demanda lo más aproximado posible.



Gráfica 2.4.1.2. Curva de la demanda real vs. curva del pronóstico por medio del método Winter's

Gracias al método de Winter's se puede pronosticar este tipo de demanda con un porcentaje de error promedio del 4% de todo el lapso de tiempo pronosticado. Es importante mencionar que la demanda cíclica presenta algunos altibajos en ciertas épocas, es por ello que nuestro inventario no debe de poseer la misma cantidad de material todo el ciclo, sino que puede ir variando de acuerdo a los resultados obtenidos del pronóstico. Es conveniente que el inventario se revise cada determinado tiempo, con la finalidad de saber cuando y cuanto se debe de reordenar, y no tener un punto predeterminado de reorden para una cantidad fija.

Los sistemas de inventarios que poseen estas características son los de revisión periódica, los cuales se describen a continuación.

2.4.2 Modelo de Inventario: Sistemas de revisión periódica.

Los sistemas de revisión periódica se basan en la política de tiempo fijo, la cual tienen como fundamento *verificar el nivel de inventario en intervalos de tipo fijo, llamados periodos de revisión, y se coloca la orden si el nivel de inventario es menor que cierto nivel predeterminado, llamado punto de reorden. El tamaño de la orden es la cantidad requerida para aumentar el inventario a un nivel predeterminado, por lo que el tamaño puede variar de periodo a periodo.*

En la siguiente figura se muestra como se comporta un inventario de revisión periódica, en diferentes lapsos de tiempo, ya que existen periodos donde no es necesario ordenar materia. Por otro lado, cabe mencionar que para este tipo de inventarios es necesario un inventario de seguridad mayor, para tener mayor flexibilidad de un periodo a otro.

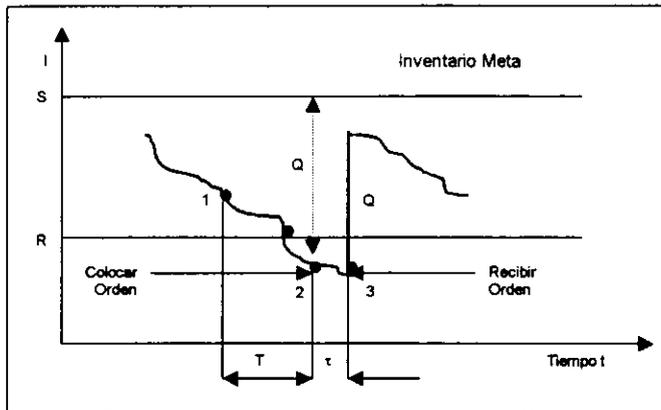


Figura 2.4.2. Comportamiento del inventario con sistema de revisión periódica

Donde,

- X_t = nivel del inventario en el periodo t
- R = punto de reorden
- S = nivel de inventario predeterminado
- Q = nivel de inventario
- T = periodo
- I = Inventario

El inventario se revisa cada T periodos. En cada revisión, si $X_t > R$, no se ordena, pero si $X_t \leq R$, se ordena hasta el nivel meta S , donde X , es la posición del inventario.

Observando la figura anterior se puede ver que en le primer punto de revisión no pasa nada. Después del periodo de revisión, T , el inventario (suponiendo que no hay artículos ordenados) se encuentra bajo del punto de reorden (punto 2), y se coloca una orden por $Q = S - I$. Esta orden llega τ más tarde (punto 3) debido al tiempo de entrega.

Un caso especial de la política de revisión periódica es cuando $R = S$ y se coloca una orden en cada punto de revisión. La variable de decisión es el periodo de revisión T .

Esta política de revisión continua se puede aplicar al modelo de cantidad económica a ordenar (EOQ), trayendo como consecuencia una pequeña variación del modelo original (estudiado con anterioridad).

Tomado en cuenta que la suposición primordial para este modelo es el saber cada cuando se debe de revisar el inventario, se tiene que:

$$T^* = Q^* / D = \sqrt{(2A / hD)}$$

El nivel de inventario meta es Q^* , de manera que el tamaño del lote ordenado es Q^* . Cuando el tiempo de entrega es τ , T^* permanece igual, pero el inventario meta es $R + Q^*$ con tamaño de lote Q^* .

Las fórmulas descritas en el modelo EOQ en la sección de demanda constante, se aplican de la misma forma para este tipo de modelo para obtener el tamaño de lote inicial.

2.5 DEMANDA ALEATORIA

La componente aleatoria se refiere a los movimientos esporádicos, aleatorios de la serie de tiempo, debido a sucesos inesperados tales como: terremotos, inundaciones, devaluaciones, etc. Debido a su aleatoriedad, no es posible predecir a esta demanda.

Es por ello que cuando se presenta un cambio inesperado dentro del comportamiento de la demanda, es necesario analizar ese periodo para determinar cual fue el motivo de dicha variación, y saber si la demanda solamente va a presentar este cambio o si en un futuro va tener más, esto con la finalidad de ir adaptando los modelos de pronóstico, para que las estimaciones futuras presenten el menor número de errores.

2.6 RESUMEN

En el transcurso de este capítulo, se ha estudiado la relación existente entre los modelos de pronósticos e inventarios, tomando como común denominador el patrón de la demanda.

Los empresarios deben de realizar pronósticos confiables de los productos o servicios que desean vender en el futuro, para poder planear las cuotas, el desarrollo de los productos, planes de promoción, asignación de personal, medir la capacidad instalada de la producción, ver el volumen de inventarios, etc.

A continuación se presenta un cuadro 2.6 con el resultado de una encuesta donde se muestran 13 técnicas diferentes de pronósticos utilizados por las 175 empresas encuestadas y su frecuencia de uso.¹⁹

Cuadro 2.6.1. Métodos de pronóstico más utilizados en las empresas.

METODO	USADO	USADO	NUNCA
	REGULARMENTE	OCASIONALMENTE	USADO
Opinión de los ejecutivos	52	18	5
Composición de fuerzas de ventas	48	15	9
Proyección de tendencias	28	16	12
Promedio móvil	24	15	15
Encuesta industrial	22	20	16
Regresión	17	13	24
Encuesta de intención de compra	15	17	23
Suavizamiento exponencial	13	13	26
Índice de leading	12	16	24
Análisis de ciclo de vida	8	11	28
Índice de difusión	8	11	30
Modelo de simulación	8	8	25
Modelo entrada/salida	6	8	34

Como se puede observar en el cuadro anterior, la mayoría de las empresas realizan sus pronósticos a través del método de Opinión de los ejecutivos, ya que son las personas que tienen la experiencia necesaria para predecir el futuro de los productos. Dichas personas actúan como los expertos para pronosticar dentro de la empresa, por lo

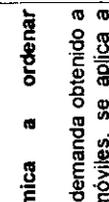
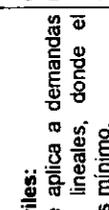
¹⁹ MAKRIDAKES. *Pronóstico para uso empresario. Evaluación de las técnicas disponibles.*

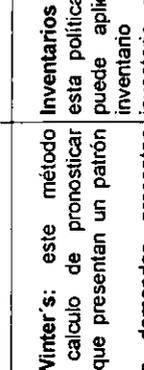
que es recomendable utilizar los métodos que disminuyan el grado de incertidumbre de forma cualitativa, como es el caso de los métodos Delphi o TKJ.

Aunque un método cuantitativo da mejores resultados ya que analiza el patrón de la curva, el único inconveniente que tiene este tipo de métodos, es que es costoso en el momento de la implantación, pues se necesita de gente y equipo calificado para poderlos aplicar.

La importancia de conocer una gran variedad de métodos para pronósticos radica en hecho del tipo de demanda que se presenta y, así escoger el método de acuerdo a la exactitud, el horizonte de planeación, la disponibilidad y tipo de datos, y la experiencia del pronosticador.

A continuación se presenta un cuadro sinóptico 2.6.2 donde se resume todo el análisis de este capítulo. En este cuadro se puede observar la clasificación de la demanda, así como el modelo de pronóstico e inventario que se le debe de aplicar y dicho patrón. Dentro de las clasificaciones de los modelos, se dará una breve descripción de las características que poseen estos, así como de las condiciones que deben existir para que se puedan aplicar.

<p style="text-align: center;">Constante</p>		<p>Promedios Móviles: Este método se aplica a demandas con tendencias lineales, donde el ruido aleatorio es mínimo. Otro tipo de métodos que se pueden utilizar para este tipo de demandas es: promedio simple y suavizamiento exponencial simple.</p>	<p>Cantidad económica a ordenar (EOQ): El pronóstico de la demanda obtenido a través promedios móviles, se aplica a este modelo debido a que EOQ supone que la demanda es uniforme y conocida. Además de que el tiempo de entrega es cero, esta suposición puede ser alcanzada ya que se conocen los límites superiores e inferiores de este patrón de demanda, por medio del pronóstico (ruido aleatorio).</p>
<p style="text-align: center;">Tendencia positiva</p>		<p>Suavizamiento exponencial doble: Este método ayuda a pronosticar demandas que poseen una tendencia tanto negativa como positiva. El suavizamiento exponencial doble trata de seguir el patrón de la demanda tanto a través del tiempo como al aumento o disminución de la demanda.</p>	<p>Descuento por cantidad: Cuando los datos cronológicos presentan una tendencia positiva, y los pronósticos de demanda siguen el mismo patrón, es conveniente tener tratos con el proveedor para que se obtengan descuentos en los materiales. Es en este punto donde se debe evaluar si es menos costoso comprar mayor cantidad de materia prima a menor precio y almacenarla o, comprar menor cantidad a mayor precio y tener menor costo de almacenaje. Este modelo balancea los costos de compra y de almacenaje obteniendo la cantidad óptima a ordenar.</p>

Tipo de Demanda	Patrón de la Demanda	Modelo de Pronósticos	Modelo de Inventario
Tendencia Negativa	 <p>Demanda</p> <p>Tiempo</p>	Suavizamiento exponencial doble: explicado en el tipo de demanda anterior.	<p>Inventario de seguridad: los modelos de inventario EOQ con sus variaciones (con o sin producción, con o sin déficit) pueden poseer inventario de seguridad. Pero es en el caso de demanda con tendencia negativa donde el inventario de seguridad toma mayor importancia, ya que no es conveniente tener una cantidad por ordenar grande, pues no se sabe si se va a vender.</p> <p>En cambio si se estima la variación de la demanda a través del pronóstico, se puede calcular un inventario de seguridad estándar, que pueda satisfacer al cliente, en casos imprevistos.</p>
Periódica con crecimiento	 <p>Demanda</p> <p>Tiempo</p>	<p>Método Winter's: este método facilita el cálculo de pronosticar demandas que presentan un patrón cíclico.</p> <p>Muy pocas demandas presentan tendencia cero, por lo que el este método posee dentro de sus ecuaciones factores que puedan determinar tanto la tendencia (tanto positiva como negativa) así como patrón de periodicidad.</p>	<p>Inventarios de revisión periódica: esta política de revisión periódica se puede aplicar a cualquier tipo de inventario (como en el caso de inventario de seguridad). Las únicas condiciones que se deben de cumplir para su aplicación son: establecer un periodo de revisión fijo que se acople al final de los picos de la demanda y poseer un sistema de pronóstico eficiente para determinar la cantidad a comprar para el siguiente periodo.</p>

Cuadro Sinóptico 2.6.2. Tipo de modelo de pronóstico e inventario de acuerdo a las características de la demanda

Capítulo 3. Control del pronóstico

CAPITULO 3. CONTROL DEL PRONÓSTICO

Objetivo: Conocer y analizar tanto los métodos matemáticos como los cualitativos para el control de pronósticos.

1.1 LA IMPORTANCIA DEL CONTROL DE PRONÓSTICOS

Los sistemas de pronósticos necesitan retroalimentación para mejorar resultados, es por ello que es importante poseer un buen control de pronóstico, debido a que éste, puede determinar si el método utilizado para pronosticar la demanda es el adecuado, ya que en muchas de las ocasiones dicha demanda puede presentar ciertas variaciones aleatorias, que en algunas ocasiones traen como consecuencia un cambio en el patrón de la demanda.

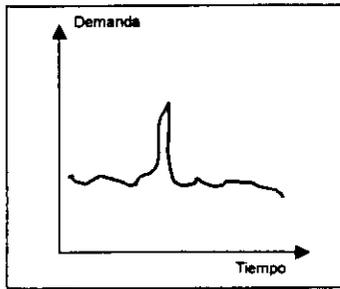
Un adecuado control de pronósticos ayuda a tener un buen control de los inventarios, ya que se posee información necesaria para determinar cuánto, cuándo y qué se debe de adquirir para el siguiente período, y así mantener un equilibrio entre los costos y el nivel de servicio que se desea dar al cliente.

Un buen control de pronóstico consta de dos fases para su supervisión total, que son:

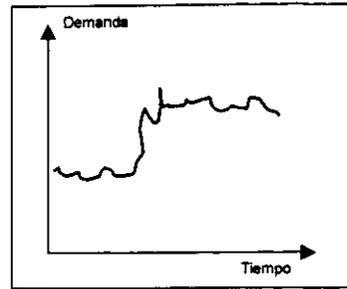
- *Fase cualitativa:* consiste en controlar las variables que no se encuentran dentro del sistema matemático del pronóstico. Por ejemplo, dar entrenamiento a las personas que se encargarán de utilizar el paquete de programación, etc.
- *Fase cuantitativa:* son todas las herramientas matemáticas que se poseen para actualizar los factores de suavizamiento del pronóstico, y disminuir el rango de error que existe entre el valor real y el valor estimado.

No todas las variaciones que presenta la demanda significan un cambio en el comportamiento. Algunas de estas variaciones no se vuelven a presentar en un periodo de tiempo largo, por lo que no es necesario tomarlas en cuenta para la actualización del modelo de pronóstico. A este tipo de cambio se le denomina *variable aleatoria*.

Por otro lado, existen cambios en un período de tiempo que se van a seguir presentando en los períodos posteriores, trayendo como consecuencia una modificación en el patrón de la demanda de ventas, a esta variación se le llama *variable estocástica*. Este tipo de cambio, es el que se debe de analizar para determinar qué modificaciones se le debe de hacer al modelo de pronóstico. Las figuras que se presentan a continuación, describen de forma gráfica, el comportamiento de una variable aleatoria y de una estocástica, dentro de la demanda en un período de tiempo.



Variable aleatoria



Variable estocástica

1.2 FASE CUANTITATIVA

Por muy preciso que sea el modelo matemático para pronosticar la variable de las ventas del producto, existe por lo general un pequeño error. El error en el pronóstico para el periodo t , se define como:

Error del pronóstico en el tiempo t = valor real de la demanda en el tiempo t – valor de la demanda estimada en el tiempo t

$$\varepsilon(t) = X(t) - S(t)$$

Al igual que el control de calidad, el control de los pronósticos utiliza la estadística para medir la probabilidad de que el pronóstico estimado sea lo más cercano a la demanda real en un lapso de tiempo. La estimación de la probabilidad en cualquier método de pronósticos, se basa en el concepto estadístico de límites de confianza, los cuales va a presentar ciertas variaciones en sus estimadores, según el modelo de pronóstico que se esté utilizando para representar el patrón de la demanda.

En el transcurso de este capítulo, se explicará tanto el método general para el control de pronósticos como las diferentes variaciones que este presenta para cualquier tipo de demanda.

3.2.1 Base fundamental: Límites de confianza.

El pronóstico es una estimación de la variable de la demanda. Por lo que es necesario examinar el valor del pronóstico, y ver que la probabilidad de que ocurra sea razonable. Debido a que predecir el futuro es imposible ya que existe aleatoriedad en él, pues nunca se sabe los cambios que pueden existir, es conveniente utilizar intervalos de confianza para determinar de los parámetros de la distribución de la variable aleatoria.

Si la variable X se encuentra en el intervalo $[a, b]$, la probabilidad de que ésta se encuentre en este lapso es p ,

$$P\{a \leq x \leq b\} = p$$

En este caso es necesario encontrar un intervalo aceptable; para determinar dicho intervalo, es necesario determinar la media μ del patrón de la demanda y la desviación estándar σ .

Una estimación de la media, es el promedio de los datos cronológicos que se desean tomar en un lapso de tiempo definido, la cual se denota por \bar{x} , y se calcula como:

$$\bar{x} = \sum_{t=1}^{t=N} d_t / N \quad N=1, 2, \dots$$

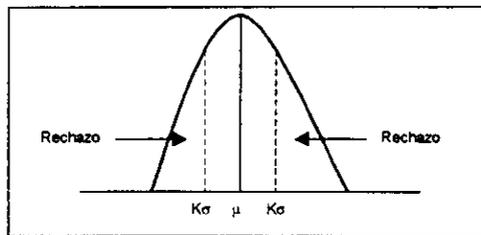
Donde d_t es la demanda real en el tiempo t , y el N es el número de datos utilizados.

La desviación estándar, es la dispersión que presentan los datos respecto a la media y se define como:

$$s = \sqrt{((\sum_{t=1}^{t=N} (d_t - \bar{x})^2) / N)} \quad N=1, 2, \dots$$

En una distribución normal, tanto el límite superior como el límite inferior de un rango se determina como:

Límite Inferior	$\mu - K\sigma$	$1 \leq K \leq 3$
Límite Superior	$\mu + K\sigma$	$1 \leq K \leq 3$



Curva Normal

Donde $1 \leq K \leq 3$ es el número de desviaciones estándar que se desean tomar para determinar los límites del intervalo de confianza.

El número de desviaciones que se deben de utilizar, depende de la probabilidad que se desea que el pronóstico se encuentre en dicho rango. La siguiente tabla 3.2.1 especifica que porcentaje de probabilidad cubre cada $K\sigma$.

Tabla 3.2.1. Porcentaje de probabilidad en la distribución normal.

No. de Desviaciones estandar	Porcentaje de probabilidad
1 σ	68.27%
2 σ	95.45%
3 σ	99.73%

Como se puede observar en la tabla, entre más σ se utilicen para la estimación de los límites, existe mayor posibilidad de que el pronóstico se encuentre en dicho rango. Cabe mencionar, que este intervalo considera las posibles variaciones del patrón de la demanda.

Por lo que, para una distribución normal con media μ y desviación estándar σ , la probabilidad de que la variable X se encuentre en el intervalo x_p es decir,

$$P \{ \mu - K\sigma \leq x \leq \mu + K\sigma \} = p$$

Si el pronóstico excede estos límites, se tiene una certeza de $(1 - p)$ de que no se debe al azar, sino a una causa asignable, es decir, a un error NO aleatorio. Cuando se da este caso y se observa que la variable va teniendo un patrón de comportamiento, es recomendable realizar una acción correctiva, como un cambio en los parámetros del modelo o el uso de un modelo de pronósticos diferentes.

3.2.2 Control para una demanda constante.

En el capítulo 2 se analizaron, como métodos de pronósticos, para una demanda constante el modelo de promedios móviles y el modelo de suavizamiento exponencial simple.

En el caso de promedios móviles, el modelo se va actualizando solo, ya que toman los últimos valores que se tienen registrados de la demanda real. Por lo que el único control que se puede aplicar en este tipo de modelos, es analizar que tan rápido se adaptan los pronósticos a los cambios del patrón de la demanda. Y dependiendo de este análisis, se decide si se toma una mayor o menor cantidad de datos para sacar el promedio, según sea el caso.

En el caso de suavizamiento exponencial simple, el control del pronóstico se enfoca a determinar si el factor de suavizamiento es el adecuado para un pronóstico confiable. Es por ello que el modelo matemático de control adaptivo W.M. Chow es el adecuado para este tipo de pronósticos.

3.2.2.1 Modelo adaptivo W.M. Chow para un solo factor de suavizamiento α .

Este modelo se utiliza para controlar el pronóstico generado por el modelo de suavizamiento exponencial simple. El cual tiene como fórmula para calcular el pronóstico de la demanda en el tiempo T:

$$S_T = \alpha X_T + [1 - \alpha] S_{T-1}$$

A continuación se describe el procedimiento para aplicar el modelo de Chow¹.

1. Una vez seleccionado el factor de suavizamiento nominal o central (α_0), que genera la menor desviación estándar del error, se calculan los factores superior (α_s) e inferior (α_i) de dicho valor. Para ello se utilizan las siguientes relaciones:

$$\alpha_i = \alpha_0 - w \quad \text{y} \quad \alpha_s = \alpha_0 + w$$

donde w es una constante arbitraria escogida. En su procedimiento, Chow utiliza valores para w, aproximados a 0.05.

Los valores inferior y superior, representan los límites entre los que puede variar el factor de suavizamiento exponencial nominal α_0 .

2. Utilizando el último año de ventas históricas se aplican los tres factores de suavizamiento calculados en el paso 1.
3. Se calcula el pronóstico para el periodo t con los tres factores α_0 , α_i y α_s , por lo que se obtienen 3 resultados.

El pronóstico generado por α_0 , es el que se utiliza para planear y programar actividades administrativas. Los pronósticos generados por α_i y α_s se utilizan para controlar el anterior.

4. Habiendo definido la periodicidad n, en que se efectuará la revisión del pronóstico, se procede a calcular la desviación media absoluta (DAM) para cada uno de los factores de suavizamiento, de la siguiente manera:

- Para el factor α_0 , la desviación absoluta media es:

$$DAM(\alpha_0) = \left(\sum_{j=1}^n |X_j - S_j| \right) / n$$

¹ CORONEL TRUJILLO José. Modelos de suavización exponencial simple, Holt y Winter's, Tesis de Maestría, FI, 1992.

- Para el factor α_i , la desviación media absoluta es:

$$DAM(\alpha_i) = \left(\sum_{j=1}^n |X_j - S_j| \right) / n$$

- Para el factor α_s , la desviación media absoluta es:

$$DAM(\alpha_s) = \left(\sum_{j=1}^n |X_j - S_j| \right) / n$$

5. Las reglas de decisión para ajustar el valor del factor de suavizamiento nominal α_0 en base a la desviación media absoluta (DAM) son:

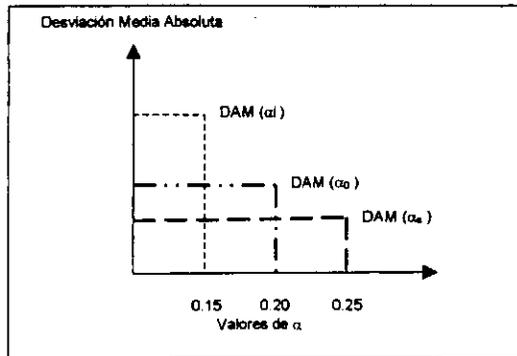
- Si $DAM(\alpha_0)$ es menor que $DAM(\alpha_i)$ y $DAM(\alpha_s)$, no se realiza ningún ajuste. Lo que significa que la serie de tiempo generada por el modelo de pronóstico utilizado, se encuentra dentro de los límites de control. Y que es muy parecida a la serie de tiempo generada por las condiciones reales del mercado.
- Si $DAM(\alpha_0)$ es mayor que $DAM(\alpha_i)$, α_0 se hace igual a α_i , y los nuevos valores para los factores de suavizamiento inferior y superior se calculan de la forma ya indicada.
- Si $DAM(\alpha_0)$ es mayor que $DAM(\alpha_s)$, α_0 se hace igual a α_s . Y los valores de los factores inferior y superior se obtienen de la forma ya indicada.
- Si $DAM(\alpha_0)$ es mayor que $DAM(\alpha_i)$ y $DAM(\alpha_s)$, α_0 se ajusta al que tenga la menor desviación absoluta.

Después de efectuar cada revisión, la desviación media absoluta se igualará a cero y el proceso se inicia nuevamente. A continuación se presenta un ejemplo de la forma en que se deben de calcular los límites superior e inferior del factor de suavizamiento, así como una representación gráfica del mismo.

Suponiendo que $\alpha_0 = 0.20$ y $w = 0.05$, entonces, los valores de los factores límite son:

$$\alpha_i = 0.20 - 0.05 = 0.15 \quad \text{y} \quad \alpha_s = 0.20 + 0.05 = 0.25$$

Si al calcular las desviaciones medias de cada uno de los factores se observa que $DAM(\alpha_0)$ es mayor que $DAM(\alpha_s)$, como se ve en la gráfica 3.2.2.1.1,

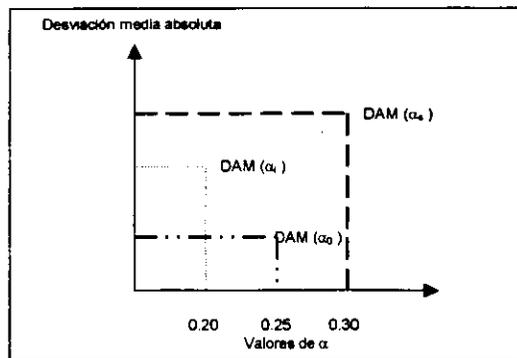


Gráfica 3.2.2.1.1. Desviaciones medias absolutas con un valor α para el periodo t

es necesario ajustar α_0 con el valor de α_s , es decir el nuevo factor de suavizamiento nominal será $\alpha'_0 = 0.25$ y los nuevos factores de suavizamiento superior e inferior son:

$$\alpha_i = 0.25 - 0.05 = 0.20 \quad \text{y} \quad \alpha_s = 0.25 + 0.05 = 0.30$$

Por el ajuste anterior, es de suponerse que para el periodo $t+1$, las desviaciones medias absolutas se comportarán de la siguiente manera (gráfica 3.2.2.1.2).



Gráfica 3.2.2.1.2. Desviaciones medias absolutas con un valor α para el periodo $t + 1$

Como se puede observar en el ejemplo, el método de Chow controla el factor de suavizamiento exponencial, con la finalidad de determinar si el valor que se está utilizando, responde a los pequeños cambios que puede tener el patrón de la demanda en un período. Pues es este factor, la parte más importante de este método de pronóstico, ya que determina el tamaño de la posible variación de la demanda real para el siguiente período.

3.2.3 Control para una demanda con tendencia.

Como se ha comentado en el capítulo dos, para una demanda con tendencia, uno de los métodos de pronósticos posee dos factores de suavizamiento exponencial que son: el factor lineal y el factor de tendencia. Es por ello, que se debe de aplicar un método de control para ambos factores, ya que si uno de ellos posee un valor erróneo, el pronóstico de la demanda esperada puede tener valores muy diferentes a los de la demanda real.

Debido a los dos factores de suavizamiento, el método de Chow no puede analizar una demanda con tendencia, ya que su alcance es solamente para un factor. Existe, entonces, el modelo de control Robert y Reed, el cual tiene como objetivo llevar el control de una demanda con tendencia (ya sea positiva o negativa), cuando se utiliza el método de suavizamiento exponencial doble, y que se presenta a continuación.

3.2.3.1 Modelo de Robert y Reed para dos factores de suavizamiento.

Este modelo tiene como objetivo encontrar los límites de control de los factores de suavizamiento, así como su revisión y control del modelo del pronóstico. A continuación se presentan la metodología del modelo Robert y Reed para su aplicación.

1. Una vez conocida la combinación nominal o de central de los factores de suavizamiento, α_0 y β_0 , se determina la combinación inferior y superior aplicando las siguientes relaciones:

$$\begin{array}{lcl} \alpha_i = \alpha_0 - w & \text{y} & \alpha_s = \alpha_0 + w \\ \beta_i = \beta_0 - w & \text{y} & \beta_s = \beta_0 + w \end{array}$$

en donde w , es una constante cuyo valor puede ser el que desee el pronosticador, siendo el valor más utilizado el de 0.05.

Las combinaciones de α_i , β_i , α_s y β_s , determinaran los límites inferior y superior entre los que variará la combinación nominal o central α_0 y β_0 .

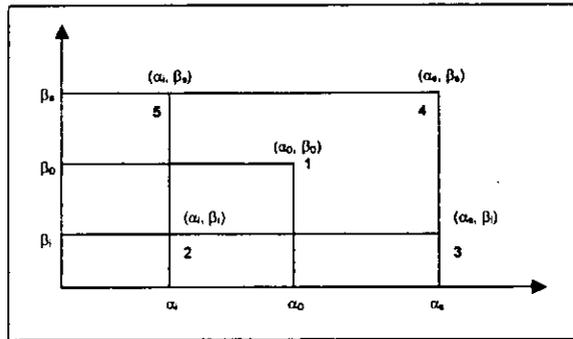
2. Realizando una combinación de parejas entre α_i , β_i , α_s y β_s , se obtiene las 2^n combinaciones de control. En este caso $n=2$, que son los ponderadores que se desean controlar.

Las cuatro combinaciones resultantes mas la nominal, serán las 5 combinaciones que nos servirán para diseñar los límites de control (tabla 3.2.3.1.1).

Tabla 3.2.3.1.1. Tabla de las combinaciones de control.

1	α_0	β_0
2	α_1	β_1
3	α_s	β_1
4	α_1	β_s
5	α_s	β_s

Si a estas combinaciones se les representa en sistema de ejes coordenados, la gráfica quedará de la siguiente forma (gráfica 3.2.3.1.2):



Gráfica 3.2.3.1.2. Combinación nominal y las 4 combinaciones de control

Como se puede observar en la figura, el factor de ponderación lineal α , varía entre el segmento inferior (2, 5) y el superior (3, 4), Mientras que el factor de ponderación de tendencia β varía del fragmento inferior (2, 3) y el superior (5, 4).

3. Suavizamiento de las 5 combinaciones ($2^2 + 1$), utilizando las ventas históricas del penúltimo año.
4. Tabulación de los años anteriores y realización del pronóstico (para fines de control) para el último año de ventas históricas. Determinación de los errores al cuadrado generados por cada una de las 5 combinaciones.

$$e^2(i, j) = [X(j) - S(j)]^2$$

Donde la nomenclatura se encuentra definida como:

X= demanda real

S = pronóstico

i = combinación de control

j = periodo para el que se calcula el error.

A continuación se determina el rango (R) para cada una de las combinaciones:

$$R_i = \text{error al cuadrado máximo} - \text{error al cuadrado mínimo}$$

$$= \max_j \{e^2(i, j)\} - \min_j \{e^2(i, j)\}$$

Una vez calculados todos los rangos correspondientes a las cinco combinaciones, se determina el rango promedio.

$$\bar{R} = \sum_{k=1}^5 R_k / 5$$

7. Determinación de la desviación estándar d_2 .

En la siguiente tabla 3.2.3.1.3 de rangos promedios, se busca el valor de la constante d_2 , constante que relaciona el rango promedio con la desviación estándar s , la cual sirve para obtener el valor de s , a través de las siguientes ecuaciones:

$$d_2 = \bar{R} / s \quad \text{de donde,} \quad s = \bar{R} / d_2$$

Tabla 3.2.3.1.3. Rangos promedios.

j	d_2	j	d_2	j	d_2	j	d_2	j	d_2
2	1.128	6	2.534	11	3.173	16	3.532	21	3.778
3	1.693	7	2.704	12	3.258	17	3.588	22	3.819
4	2.059	8	2.847	13	3.336	18	3.640	23	3.858
5	2.326	9	2.970	14	3.407	19	3.689	24	3.895
		10	3.078	15	3.472	20	3.735	25	3.931

8. Diseño de los límites de control.

El cálculo de los límites inferior y superior para controlar el pronóstico, se determina a través de las relaciones basadas en la estadística de la curva normal, las cuales son:

$$LSC = + Z_c \sqrt{(1/2n) s^2} \quad LIC = - Z_c \sqrt{(1/2n) s^2}$$

Donde n significa el grupo de datos (número de combinaciones) con los que se determinó la desviación estándar s .

El valor de Z_c depende del nivel de confianza que se desea tener, como se puede ver en la tabla 3.2.3.1.4:

Tabla 3.2.1.4. Nivel de confianza.

Nivel de Confianza	% 99.7	% 99	% 98	% 96	% 95.4	% 95	% 90	% 80	% 68.2	% 50
Z_c	3.00	2.50	2.30	2.10	2.00	1.90	1.60	1.20	1.00	0.67

Cuando Z_c tiene un valor de 3, significa el 99.7% de los pronósticos se encuentran dentro del rango límite, es decir, que solamente un 0.3% se rechaza.

En cuanto a la parte de la ecuación para el cálculo de los límites inferior y superior $\sqrt{(1/2n)} s$, significa la desviación estándar de la distribución muestral.

Después de haber diseñado los límites de control, se suavizan las 5 combinaciones, la nominal mas las 4 de control, utilizando el último año de ventas históricas.

El pronóstico generado para los $t+j$ periodos, a partir de los componentes obtenidos al suavizar la combinación nominal α_0, β_0 será utilizado para planear y programar las actividades administrativas de la empresa en el futuro. Mientras que los pronósticos generados a partir de los componentes obtenidos al suavizar las 4 combinaciones restantes serán utilizados para controlar el pronóstico creado por las combinaciones α_0, β_0 .

Una vez calculados los límites de control de los factores de suavizamiento exponencial, tanto para la parte lineal como para la tendencia, es necesario llevar un control y revisión del pronóstico. A continuación se explica los pasos que se deben de llevar a cabo para obtener un proceso de control de pronóstico confiable.

1. Se calcula el promedio de los errores cuadrados para cada combinación k , donde k significa una de las 5 combinaciones que poseen los factores de control respecto a sus límites inferior y superior. En la gráfica anterior, estas combinaciones se encuentran representadas por los números 1, 2, 3, 4 y 5.

$$\bar{E}_k^2 = 1/n \sum_{j=1}^n e^2_{(k,j)}$$

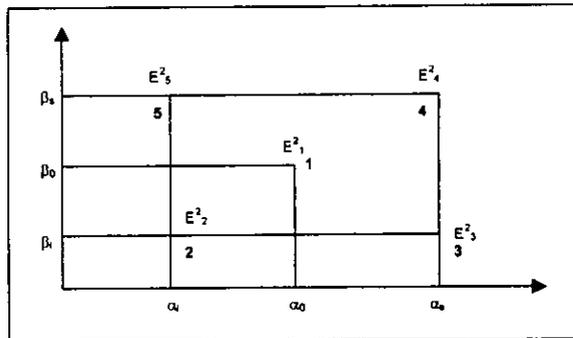
En donde, n es el número de periodos para los cuales se hace la revisión.

2. Con los promedios anteriores E^2_k , determinar los efectos o los errores esperados para cada factor de suavizamiento exponencial.

$$E(\alpha) = \frac{1}{2} (E^2_3 + E^2_4 - E^2_2 - E^2_5)$$

$$E(\beta) = \frac{1}{2} (E^2_5 + E^2_4 - E^2_2 - E^2_3)$$

Las ecuaciones anteriores se pueden ver en la siguiente gráfica 3.2.3.1.5:

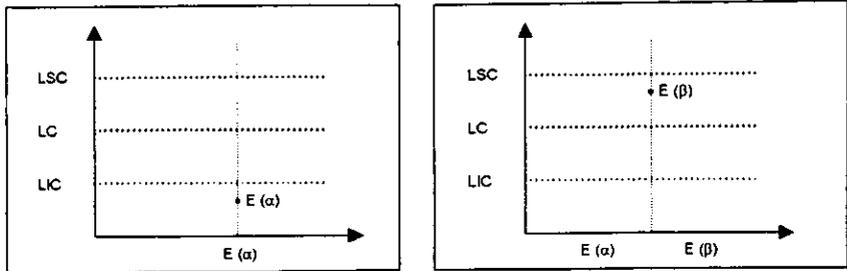


Gráfica 3.2.3.1.5. Errores Promedio E^2 , en el plano de control

3. Una vez calculados los errores esperados $E(\alpha)$ y $E(\beta)$, se comparan con los límites diseñados en el plano de control, mencionado en gráfico anterior, para saber si están dentro o fuera de control.
4. Ajustar los ponderadores en caso de que alguno de los errores esperados estén fuera de control. Por ejemplo, suponiendo que el valor $\alpha_0 = 0.1$ y $\beta_0 = 0.2$, y que $E(\alpha)$ es menor que el límite inferior de control en el período $t+1$ es decir,

$$E(\alpha) < -3 \sqrt{(1/2n)} s$$

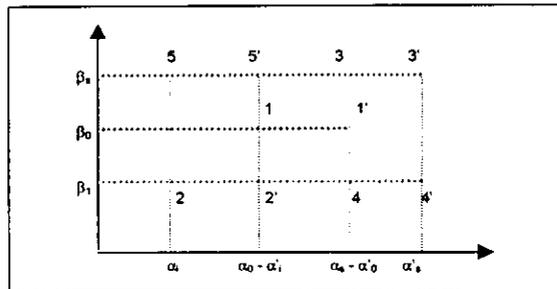
Lo cual se muestra en las siguientes gráficas 3.2.3.1.6 :



Gráfica 3.2.3.1.6. Errores Esperados $E(\alpha)$ y $E(\beta)$ respecto a los límites de control.

El hecho de que $E(\alpha)$ sea menor a LIC, indica que $\bar{E}_2^2 + \bar{E}_5^2$ es considerablemente mayor que $\bar{E}_3^2 + \bar{E}_4^2$.

Por lo que se debe trasladar el diseño a la derecha, adoptando α_s el valor superior α_s , como el nuevo valor central y dejando a β exactamente bajo control. En la siguiente gráfica 3.2.3.1.7 se muestra el diseño para el periodo $t+2$ representado por ($'$).



Gráfica 3.2.3.1.7. Diseño de los nuevos ponderadores para el periodo $t+2$

Antes de efectuar la revisión, las ponderaciones eran:

$$\begin{array}{ll} \alpha_i = 0.05 & \beta_i = 0.15 \\ \alpha_0 = 0.10 & \beta_0 = 0.20 \\ \alpha_s = 0.15 & \beta_s = 0.25 \end{array}$$

Después de la revisión, y realizando el ajuste necesario para α_0 , da como resultado que $\alpha_0 = \alpha_s = 0.15$, por lo que, los valores de los factores de suavizamiento cambian ha:

$$\begin{array}{ll} \alpha'_1 = 0.10 & \beta_1 = 0.15 \\ \alpha'_0 = 0.15 & \beta_0 = 0.20 \\ \alpha'_s = 0.20 & \beta_s = 0.25 \end{array}$$

Como se puede observar, el método de control Robert y Reed es muy similar, al método Chow, con la única diferencia que el primero examina 2 factores de suavizamiento al mismo tiempo dentro de un gráfico de control, mientras que el segundo solamente tiene un alcance para analizar una sola ponderación.

3.2.4 Control para una demanda periódica.

Como se ha explicado en el capítulo anterior, este tipo de demanda se presenta cuando el patrón de demanda del producto tiene ciclos durante un lapso de tiempo determinado, es decir, que tiene ciertas temporadas donde la demanda se incrementa, mientras que en otras etapas, se disminuye.

Este tipo de pronóstico necesita de tres factores de suavizamiento para determinar la demanda en el periodo $t+1$. Cada uno de los factores α , β y γ tiene la función de suavizar una parte de la curva, por ejemplo el factor α es el encargado de suavizar la curva en la parte lineal, el factor β suaviza la tendencia que puede presentar la demanda (esta tendencia puede ser cero) y el factor γ es el encargado de suavizar la periodicidad que presentan los picos cada determinado tiempo.

Para poder controlar este tipo de pronóstico, es necesario manejar un modelo que pueda involucrar los tres factores. El modelo Robert y Reed puede manejar este tipo de demandas, ya que tiene una variación en su proceso, es decir, que puede manejar 3 factores al mismo tiempo.

3.2.4.1 Modelo de Robert y Reed para tres factores de suavizamiento.

Para una mejor aplicación el procedimiento de este modelo se divide en dos partes: diseño de los límites de control y revisión y posible ajuste del pronóstico. A continuación se presenta la metodología de este modelo.

- Una vez seleccionada la combinación o tríada nominal o central α_0 , β_0 y γ_0 , se determinan los límites superiores e inferiores de control, aplicando las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_0 - w & \alpha_s &= \alpha_0 + w \\ \beta_1 &= \beta_0 - w & \beta_s &= \beta_0 + w \\ \gamma_1 &= \gamma_0 - w & \gamma_s &= \gamma_0 + w \end{aligned}$$

donde w es una constante cuyo valor es 0.05.

Las combinaciones α_1 , β_1 y γ_1 y α_s , β_s y γ_s determina los límites inferior y superior entre los que variará la combinación nominal o central α_0 , β_0 y γ_0 .

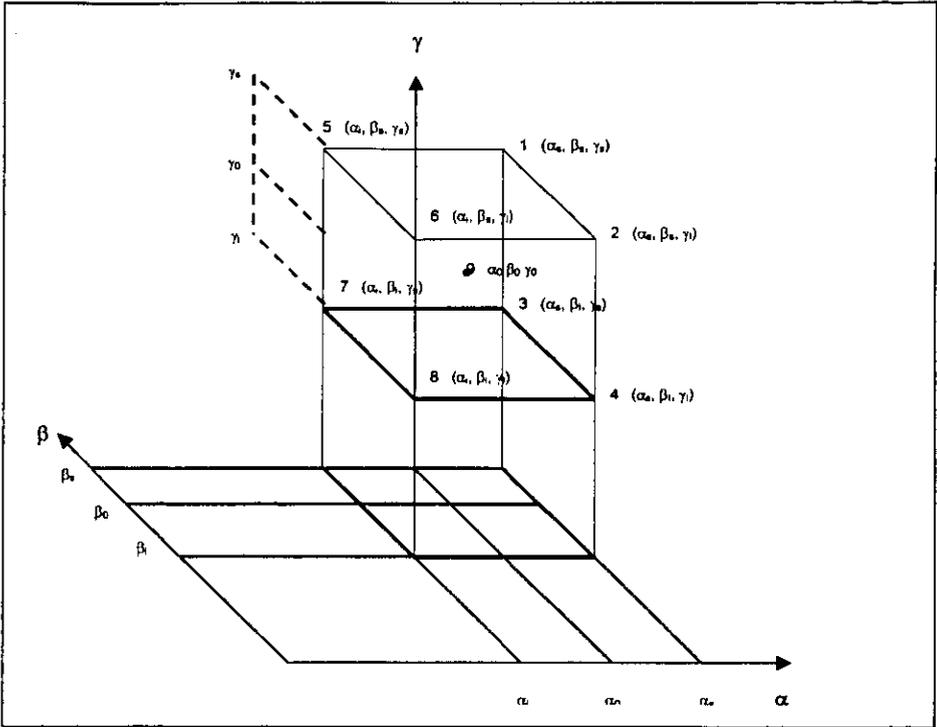
- Combinando las tríadas α_1 , β_1 y γ_1 y α_s , β_s y γ_s , se obtienen las 2^n combinaciones de control, que en este caso es $n=3$, ya que son los tres ponderadores que se van a controlar.

Las 8 combinaciones resultantes, mas la nominal, da las 9 combinaciones que servirán para diseñar los límites de control.

Trazando la gráfica de estas nueve combinaciones en un sistema tridimensional cuyos ejes son los tres factores de suavizamiento (gráfica 3.2.4.1.2), se observa que las nueve combinaciones son el centro y los vértices de un cubo o paralelepípedo rectángulo. En la siguiente tabla 3.2.4.1.1 se puede observar el sistema cartesiano.

Tabla 3.2.4.1.1. Combinaciones de control

K Combinaciones	Coordenadas
1	$\alpha_s, \beta_s, \gamma_s$
2	$\alpha_s, \beta_s, \gamma_1$
3	$\alpha_s, \beta_1, \gamma_s$
4	$\alpha_s, \beta_1, \gamma_1$
5	$\alpha_1, \beta_s, \gamma_s$
6	$\alpha_1, \beta_s, \gamma_1$
7	$\alpha_1, \beta_1, \gamma_s$
8	$\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$
9	$\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$



Gráfica 3.2.4.1.2. Representación de las 9 combinaciones en el sistema tridimensional de control

Como se puede observar en la figura anterior, el factor de ponderación α varía entre los planos (1, 2, 3, 4) y (5, 6, 7, 8), el factor β varía entre (1, 2, 5, 6) y (3, 4, 7, 8), y el factor γ entre (1, 3, 5, 7) y (2, 4, 6, 8).

3. Se suavizan las 9 combinaciones ($2^3 + 1$), utilizando la venta histórica del penúltimo año.
4. Se tabulan los resultados anteriores y se genera el pronóstico para el último año de venta (para diseño de control). Se determinan los errores al cuadrado generados por cada una de las 9 combinaciones k .

$$e^2(i, j) = [X(j) - S(j)]^2$$

donde,

X = demanda real

S = pronóstico

i = combinación de control

j = periodo para el que se calcula el error

5. Se determina el rango (R) para cada una de las 9 combinaciones.

$$R_i = \max_j \{e^2(i, j)\} - \min_j \{e^2(i, j)\}$$

6. Cuando se han determinado los 9 rangos, se determina el rango promedio,

$$\bar{R} = \sum_{k=1}^9 R(k) / 9$$

7. Determinación de la desviación estándar s.

En la tabla de rangos promedio que se mostró en el modelo Robert y Reed para 2 factores de ponderación, se busca el valor n=9 para determinar el valor de la constante d_2 , que en este caso es de 2.97. Esta constante es la que relaciona, el rango promedio con la desviación estándar s.

$$s = \bar{R} / d_2$$

8. Se diseñan los límites superior e inferior de control. Lo cual se logra con las siguientes ecuaciones:

$$LSC = + 3 \sqrt{(1/2n) s}$$

$$LIC = - 3 \sqrt{(1/2n) s}$$

Donde el 3, implica el nivel de confianza de 99.73%, n es el número de datos (numero de combinaciones). con los que se terminó la desviación estándar. $\sqrt{(1/2n) s}$, es la desviación estándar de la distribución muestral de desviación estándar, y se utiliza para establecer los límites de control.

Una vez diseñados los límites de control, se suavizan las 9 combinaciones (la nominal α_0 , β_0 y γ_0 , y las 8 de control) utilizando el último año de ventas históricas.

Los pronósticos generados con base en los componentes obtenidos al suavizar las ocho combinaciones restantes de los factores de suavizamiento, serán utilizados para controlar el pronóstico generado por la combinación nominal. La metodología para la

revisión y control del pronóstico para periodos futuros, se realiza a través de la siguiente metodología:

1. Se calcula el promedio de los errores al cuadrado para cada combinación k.

$$\bar{E}^2_k = 1/n \sum_{j=1}^n e^2(k, j)$$

En donde n, es en número de periodos incluidos en la revisión.

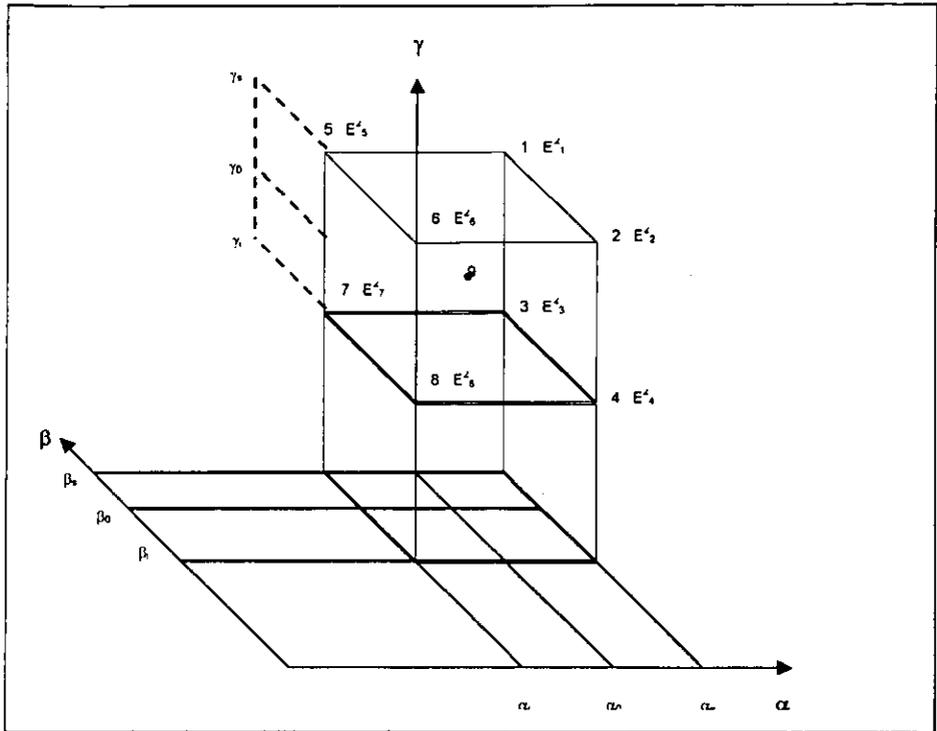
2. Con los promedios \bar{E}^2_k , se determinan los efectos o errores esperados para cada ponderación.

$$E(\alpha) = 1/4 (\bar{E}^2_1 + \bar{E}^2_2 + \bar{E}^2_3 + \bar{E}^2_4 - \bar{E}^2_5 - \bar{E}^2_6 - \bar{E}^2_7 - \bar{E}^2_8)$$

$$E(\beta) = 1/4 (\bar{E}^2_1 + \bar{E}^2_2 + \bar{E}^2_5 + \bar{E}^2_6 - \bar{E}^2_3 - \bar{E}^2_4 - \bar{E}^2_7 - \bar{E}^2_8)$$

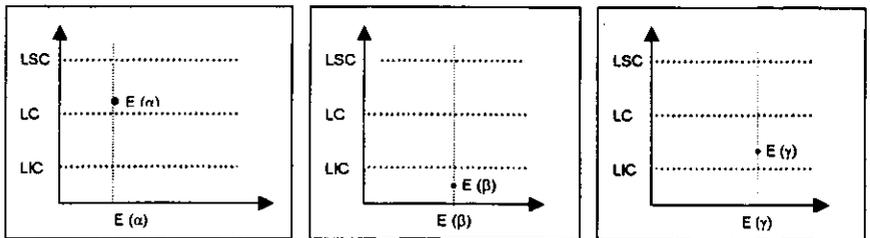
$$E(\gamma) = 1/4 (\bar{E}^2_1 + \bar{E}^2_3 + \bar{E}^2_5 + \bar{E}^2_7 - \bar{E}^2_2 - \bar{E}^2_4 - \bar{E}^2_6 - \bar{E}^2_8)$$

La siguiente gráfica 3.2.4.1.3. muestra los errores promedio de las nueve combinaciones dentro de un plano tridimensional.



Gráfica 3.2.4.1.4. Errores promedio E'_i en el plano de control.

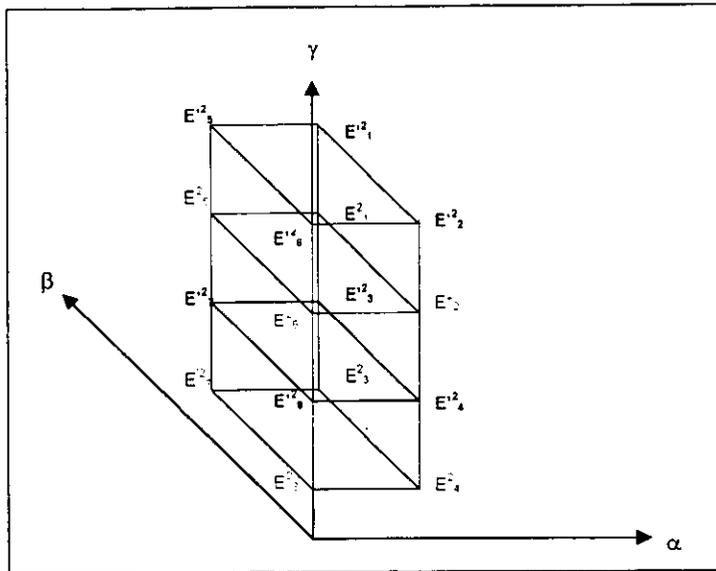
3. Después de calcular $E(\alpha)$, $E(\beta)$ y $E(\gamma)$, se comparan con los límites, calculados con anterioridad, para determinar si los errores se encuentran bajo control.
4. En el caso de que alguno de los errores esperados se encuentra fuera de control, se realiza un ajuste de ponderaciones. A manera de ejemplo: sea $\alpha_0 = 0.1$, $\beta_0 = 0.2$ y $\gamma_0 = 0.2$, y que el error $E(\beta)$ es menor que el límite inferior de control en el periodo $t+1$. Como se muestra en la gráfica 3.2.4.1.5.



Gráfica 3.2.4.1.5. Comparación de los errores esperados $E(\alpha)$, $E(\beta)$ y $E(\gamma)$ con los límites de control

El hecho de que $E(\beta)$, sea menor que el límite inferior, indica que $E^2_3 - E^2_4 - E^2_7 - E^2_8$ es considerablemente mayor que $E^2_1 + E^2_2 + E^2_5 + E^2_6$, por lo que se debe trasladar el diseño original hacia la parte superior, adoptando β_0 el valor superior de β_s , como el nuevo valor central, dejando el valor de α_0 y γ_0 exactamente iguales, ya que se encuentran bajo control.

La siguiente gráfica 3.2.4.1.6 muestra el nuevo diseño para el periodo t+2, representando con el símbolo (').



Gráfica 3.2.4.1.6. Nuevo diseño para el periodo t+2

Antes de la revisión los ponderadores tenían los siguientes valores:

$\alpha_1 = 0.05$	$\beta_1 = 0.15$	$\gamma_1 = 0.15$
$\alpha_0 = 0.10$	$\beta_0 = 0.20$	$\gamma_0 = 0.20$
$\alpha_S = 0.15$	$\beta_S = 0.25$	$\gamma_S = 0.25$

Después de la revisión los ponderadores cambiaron ha:

$\alpha_1 = 0.05$	$\beta'_1 = 0.20$	$\gamma_1 = 0.15$
$\alpha_0 = 0.10$	$\beta'_0 = 0.25$	$\gamma_0 = 0.20$
$\alpha_S = 0.15$	$\beta'_S = 0.30$	$\gamma_S = 0.25$

1.3 FASE CUALITATIVA

En la actualidad se cuenta con paquetes de programación para cualquier tipo de modelo de pronóstico, por lo que el cálculo de los valores para los siguientes periodos es más fácil. Aún los mejores sistemas de pronóstico pueden fallar, y producir grandes niveles de error; a menos que estos se encuentren bien administrados. Las personas encargadas de manejar el software, deben de estar preparadas para identificar los posibles problemas, seleccionar la mejor solución y verificar que la solución escogida se encuentra propiamente implementada y trabajando eficientemente.

Es por ello, que es conveniente dar entrenamiento a las personas involucradas en el sistema de pronósticos, pues los errores se van a detectar más rápido, así como sus consecuencias. El entrenamiento debe consistir desde cómo se usa el paquete de computación, así como sus alcances.

El administrador del sistema, debe de poseer la suficiente sensibilidad y experiencia, para determinar a través de las gráficas, cómo se va a comportar la demanda, y así tomar la decisión de modificar el modelo de pronóstico.

Este tipo paquetes de cómputo es utilizado en empresas que desean disminuir su inventario al máximo, poseer un tiempo de entrega menor o la combinación de ambas. Debido a que las nuevas tendencias de la ingeniería industrial es satisfacer al cliente en el menor tiempo posible maximizando beneficios, es necesario poseer herramientas que ayuden a lograr estas metas. Por ejemplo, en el caso de Justo a tiempo se desea minimizar los inventarios a tal grado de que tiendan a cero, para lograr dicho objetivo es necesario un sistema de pronóstico capaz de estimar el futuro con el menor porcentaje de error posible y que pueda modificarse rápidamente a los cambios del mercado.

Otro ejemplo son los sistemas de manufactura integrada que tienen por objeto disminuir el tiempo de entrega sin bajar la calidad. Para lograr esto, es necesario poseer un sistema de inventario que posea el material necesario en el tiempo preciso para realizar la producción que se requiere en un periodo. Lo más fácil es poseer inventarios grandes que satisfagan las necesidades de la producción, pero este tipo de decisiones son muy costosas para la empresa, por lo es conveniente poseer un sistema de pronóstico capaz de pronosticar los materiales necesarios para dicho periodo.

Capítulo 4. Relación de los sistemas de pronóstico e inventarios en los sistemas de producción integrados.

CAPÍTULO 4. RELACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRONÓSTICO E INVENTARIOS EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN INTEGRADOS.

Objetivo: Comprender los fundamentos los sistemas de producción integrados así como su relación con los sistemas de pronóstico e inventarios.

4.1 Estructura base para los sistemas de producción integrados.

Los permanentes cambios en la tecnología y la nueva visión de satisfacer las expectativas del cliente que poseen las empresas, da como resultado la reducción del ciclo de vida de los productos así como el de los procesos productivos.

A partir de la década de los 70's el estudio del sistema de producción dentro del sector industrial ha tomado mayor importancia, ya que las empresas desean tener ventajas competitivas dentro de su rango, pues al determinar cuanto se debe de producir y en cuanto tiempo, es más sencillo satisfacer las demandas del cliente en el menor tiempo posible, sin tener que alterar un plan de producción.

Al ver que el sistema de producción abarca conceptos tales como: estimación de la demanda, planeación, inventarios, logística, manufactura, entrega del producto terminado, etc., las empresas han diseñado paquetes de computación que permiten unir estos temas arrojando como resultado un plan de trabajo para el futuro. Un ejemplo de dichos paquetes es el MRP (Planeación de los requerimientos de los materiales), el cual tiene como objetivo, determinar las ordenes que se deben de realizar para alcanzar una demanda estimada y así poder empujar la producción.

El implantar un sistema que estudie solamente el área de producción, no quiere decir que se obtenga el éxito esperado, puesto que el proceso de producción se ve afectado por otros departamentos dentro de la empresa, por ejemplo, si el departamento de control de calidad rechaza un porcentaje del producto terminado, la planeación de la producción se va a ver afectada debido a que se debe de realizar retrabajo, o en el peor de los casos volver a producir los artículos.

Es por ello, que en los últimos años se han creado sistemas de producción que integren los diferentes departamentos de la empresa, así como los clientes y los proveedores, con la finalidad de crear un sistema que se rija con las mismas condiciones y no tener áreas aisladas. Estos sistemas tratan dar una nueva visión del concepto empresa, ya que involucran tanto las necesidades que puede presentar la demanda, así como las condiciones que se tiene con los proveedores. Para comprender este nuevo concepto la siguiente figura muestra hasta donde es el alcance de dichos sistemas:

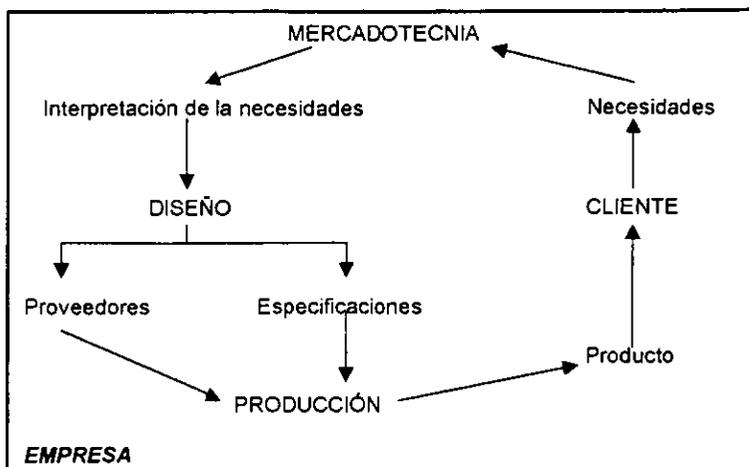


Figura 4.1.1 Entorno de las empresas.

Los sistemas integrados han tenido gran aceptación, ya que las empresas que los han implementado exitosamente han tenido mejoras no solamente financieras, sino también poseen una mejor calidad de vida para sus empleados, así como una mejor convivencia con sus proveedores y clientes; y la ventaja más importante de todas, es la facilidad de cambiar su estructura organizacional ante el comportamiento del mercado.

Se han desarrollado diferentes tipos de sistemas integrados en los últimos años, todos ellos tienen la finalidad de mejorar la productividad de la empresa, lo que los diferencia son los conceptos con los que se rigen, por ejemplo, el sistema Justo a Tiempo (JIT) tiene como fundamento eliminar los desperdicios en las diferentes áreas de la empresa y así poder planear su producción; mientras que los Sistemas Asistidos por Computadora (CIM) tienen la finalidad de planear todas las actividades de forma rápida y exacta a través de los sistemas computacionales.

4.1.1 Diferencias entre los Modelos de sistemas de Producción Integrada.

A continuación se muestra una tabla con diferentes sistemas de producción integrada, esta tabla no incluye todos los sistemas desarrollados, solamente se mencionan los que han tenido mayor aceptación en las empresas. Los sistemas que se describen se encuentran ordenados de izquierda a derecha de acuerdo a su antigüedad.

Todos los sistemas de producción integrada tiene como una de sus metas mantener la calidad de sus productos con relación a las expectativas de los clientes, para así poder proporcionar el servicio esperado. Para poder llegar a este nivel de servicio los diferentes sistemas hacen uso de varias herramientas de la ingeniería, tecnología y la administración, dando como consecuencia una mezcla de recursos que satisfacen la ideología de cada sistema.

Como se vio en el cuadro sinóptico 5.1.1.1, la mayoría de los sistemas enfocan sus esfuerzos en el proceso de manufactura, esto se debe a que es en este tipo de industrias es donde se presentan la mayor cantidad de problemas, aunque no se descarta la posibilidad de que se puedan aplicar en empresas de servicios.

4.1.2 El papel de la planeación en los sistemas de manufactura integrados.

La planeación es una herramienta fundamental para poder determinar el rumbo de una empresa, el hecho de que no se tenga bien delimitado que se espera de una situación, puede traer como consecuencia resultados erróneos de las acciones que se deben de tomar para ejecutar una operación.

Esta herramienta fue considerada sin excepción por todos los creadores de los sistemas integrados, utilizándola mayormente en el plan maestro de producción (MPS), el cual es un plan que se realiza para determinar las actividades que se deben de realizar para llegar a la meta predeterminada. El MPS recibe diferentes nombres de acuerdo al sistema de producción de que se trate, pero en la mayoría de los casos se le conoce con este nombre.

La planeación, es tan importante que no se puede determinar cuanto se debe de producir sino no se tiene una estructura inicial de lo que se quiere, es por ello, que se han creado diferentes tipos de software, que al introducir los datos adecuados, da como resultado el plan maestro de producción.

Para que este tipo de técnicas y filosofías den las soluciones adecuadas, es necesario tener información fidedigna acerca de los tiempos de entrega, costos, demanda, capacidad de producción, tiempo de producción, inventarios, etc. es por ello que el análisis de la información es primordial. Pues la experiencia que han tenido diferentes empresas (ver bibliografía de Internet), menciona que el 47 % de ellas han fracasado con la implantación de este tipo de técnicas y filosofías (tales como MRP, JIT, OPT, etc.), ya que no dieron como resultado la planeación óptima, mientras el 53% restante tuvo mejoras en la administración de la empresa. El punto en común que tiene las empresas exitosas en la implantación, es que no escatimaron en tiempo y recurso para la instalación del software y el análisis de este y sus componentes.

Cuadro 5.1.1.1. Objetivos de los sistemas de producción integrados con mayor uso en la industria

MODELOS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN INTEGRADOS							
OBJETIVOS	MRP	MRP II	JIT	KANBAN	OPT	TOC	SISTEMAS DE MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA
Persiguen	Excelencia en el sistema de producción	Excelencia en la manufactura	Eliminación de los desperdicios, participación de los empleados y proveedores, calidad.	Comunicación entre clientes (proceso posterior) y productor (proceso anterior).	Eliminación de cuellos de botella	Planeación del sistema de acuerdo a las restricciones.	Aumento de la productividad. Calidad.
Técnicas utilizadas	Planeación, administración de inventarios, sistemas de computo	Planeación y ejecución de las operaciones, sist. de computo y plan maestro de producción.	Control total de calidad, planeación, estadística y mantenimiento continuo.	Flujos de información planeación y sistemas de computo.	Investigación de operaciones, sistemas de computo y planeación.	Análisis factorial, planeación y control de la producción.	Automatización, Software (CAD/CAM, CNC, etc), alta calidad en el mantenimiento y estadística
Abarca	Sistema de producción.	Manufactura y operaciones de apoyo.	Producción y utilización máxima de las capacidades de los obreros. Administración en general.	Manufactura, inventarios y envíos de producto terminado.	Principalmente manufactura y procedimientos administrativos repetitivos.	Sistemas de operaciones, así como la administración del capital.	Proceso de producción a corto plazo, así como la innovación constante en el diseño.
Cambio en	Proceso de producción	Procesos de manufactura.	Mentalidad de hacer las cosas, calidad e inventarios.	Flujo de materiales e información.	Tiempo de entrega o realización de las tareas.	Manufactura y calidad	Calidad, tiempo de entrega y diseño.
Cambio es	Gradual con límites.	Gradual con límites.	Gradual sin límites.	Rápido.	Gradual con límites.	Gradual sin límite.	Rápido.

MODELOS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN INTEGRADOS

OBJETIVOS	MRP	MRP II	JIT	KANBAN	OPT	TOC	SISTEMAS DE MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA
Manejo de personal	Capacitación del software.	Enseñar al usuario del software.	Trabajo en equipo.	No.	No	Participación del trabajador.	Capacitación del usuario.
Información necesaria para su implantación	Pronósticos e inventarios	Pronósticos, inventarios, flujo de información.	Pronósticos, inventarios, flujo de información, manejo de personal.	Inventario, flujo de producción.	Pronósticos, inventarios, flujo de producción, flujo de información.	Pronósticos, inventarios, capacidad instalada, flujo de información	Inventarios, pronósticos, capacidad instalada, personal capacitado.
Relación con Inventarios	Sincronizar el inventario con la producción.	Reducción del inventario de seguridad.	Reducción al máximo de los inventarios.	Control de inventarios.	Maximizar el uso de los materiales y control de inventarios.	Medición del inventario en términos de costos.	Reducción del inventario intermedio.
Relación con el Pronóstico	Planeación de los materiales.	Planeación de los materiales y de la demanda.	Reducción de bombezados de producción.	Logística y planeación de la distribución de materiales.	Planeación de acuerdo a un tiempo de entrega mínimo.	Planeación de acuerdo a las restricciones.	Planeación a corto plazo.

4.2 La importancia del pronóstico e inventario en la comprensión de un sistema de producción integrado.

Como se mencionó en el subtema anterior, la planeación es una herramienta fundamental para un sistema de producción integrado. Pero la planeación, no es una herramienta independiente, sino que necesita de varias ramas de la ciencia para poder tener un mayor y mejor alcance, es por ello que un sistema integrado no solamente reúne a todos los departamentos de la empresa, sino que además, trata de enlazarlos de tal manera de que trabajen de una forma sincrónica.

Para poder realizar una buena planeación de la producción dentro de un sistema de producción integrada, es necesario saber antes que nada, cual es la meta a alcanzar en el próximo periodo de ventas, ya que a partir de este dato se "empujará" la producción. El objetivo de un sistema de pronóstico no es dar una valoración dentro de un rango amplio, sino el dar una aproximación de lo que se ha ido presentando en periodos anteriores, o en el caso de una empresa nueva, es dar valores lo más reales posibles de acuerdo al estudio de mercado que he llevó acabo.

Teniendo el resultado del pronóstico se puede determinar cuanto material es necesario adquirir, que capacidad instalada se requiere para producir, el personal, la administración del inventario, etc. Todos los puntos mencionados son importantes para llevar a cabo la producción, pero en el que se ha tenido una mayor investigación, debido a los costos que genera, es la administración del inventario.

De acuerdo a la bibliografía consultada se menciona que anteriormente el inventario era un tema que los empresarios no le daban importancia, al ver que éste es aproximadamente un 25% del capital de la empresa, se ha realizado varias investigaciones con la finalidad de disminuirlo o darle mayor rotación a los materiales, tal es el caso de Justo a Tiempo el cual trata de lograr un inventario igual a cero. Para el caso de la empresa Papelera S.A. (capítulo cinco) este tipo de inventario se puede aplicar siempre y cuando la relación del proveedor sea totalmente confiable, es decir, que la materia prima sea recibida en la línea de producción. Por otro lado, para la mayoría de las empresas que se encuentran situadas en la ciudad de México, les sería muy difícil aunque no imposible implementar este tipo de inventario, ya que el problema vehicular que existe dentro de la ciudad no permite establecer un tiempo de entrega exacto por parte de los proveedores. Algunas macro industrias han implementado dicho sistemas en la Ciudad de México, aunque poseen un proveedor emergente cuando su proveedor principal posee algún contratiempo.

Un buen sistema de inventario es aquel que puede dar al cliente (proceso posterior), el recurso que necesita en el tiempo que lo necesita, además de que una

buena administración del inventario no permite tener artículos de más, que puedan sufrir obsolescencia, desgaste o muerte y que contribuyen con un alto costo por mantenerlos almacenados.

La mayoría de la bibliografía analiza tanto los métodos de pronósticos como los de inventario de forma independiente, sin estudiar la relación que existe entre ellos y el efecto puede causar a las áreas de los sistemas integrados. Para poder comprender de mejor manera la importancia que tienen estos dos temas es necesario estudiar hasta que áreas de la empresa pueden afectar las decisiones tomadas por estos departamentos, así como la doble dependencia que existe entre los diferentes módulos, que a su vez afectaran la planeación de la empresa. A continuación se muestra el diagrama de flujo 4.2.1 de la toma de decisiones dentro de una empresa en donde se ha implementado un sistema de producción integrado.

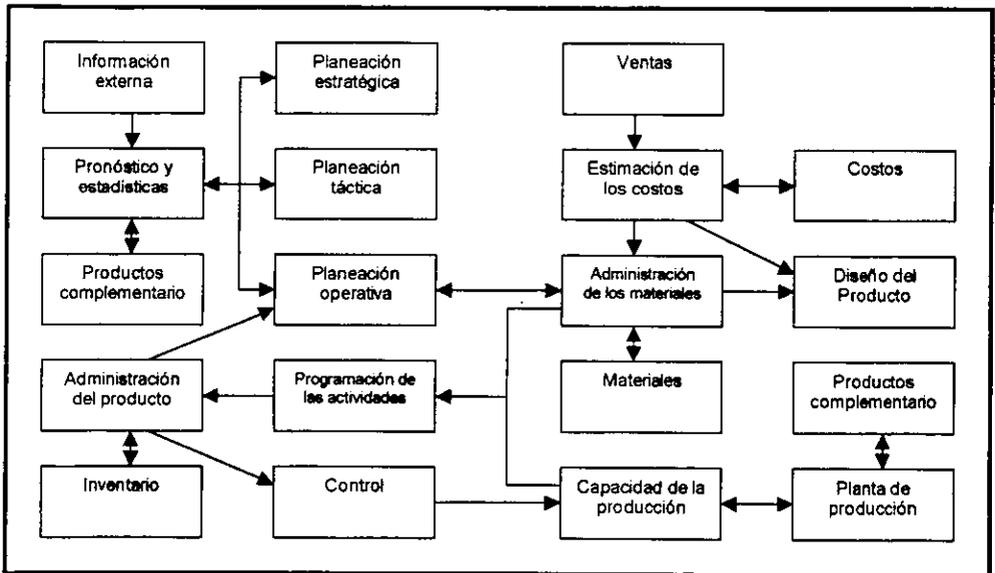


Diagrama 4.2.1. Diagrama de flujo de la toma de decisiones dentro de un sistema de producción integrado

Como se puede ver en el diagrama de flujo, el primer paso para la planeación a largo y corto plazo, es poseer un sistema de pronósticos, que a su vez va a estar respaldado por toda la información recabada del exterior y los productos complementarios. El resultado que arroja este pronóstico permite realizar una planeación operativa en el área de producción, para poder determinar la lista de materiales que serán

requeridos para el tiempo estimado. Este pronóstico debe ser corregido de acuerdo a las ventas que se van teniendo por periodo, esto con la finalidad de que el pronóstico se aproxime lo máximo posible a la curva de la demanda.

De este bloque se puede concluir que existe una doble relación entre el departamento de administración de los materiales y el departamento de pronósticos y estadística, ya que el primero recibe la información de lo que se estima que va suceder en un tiempo futuro y por el otro lado, retroalimenta al pronóstico con la información que recibe del departamento de ventas.

El hecho de que existe un error cuantificable en la estimación de la demanda, trae como consecuencia un cambio en la planeación de la empresa, en la estimación de los costos y en la programación de las actividades de producción.

El papel que desempeña el inventario es igual de importante que el de pronóstico, pues es el que se encarga de determinar dentro del sistema de producción la cantidad de materiales, ya sea materia prima o producto terminado, que se requiere en un periodo dado. El inventario posee una relación estrecha entre el departamento de administración del producto y el departamento de costos. En el caso de administración del producto (el cual se encarga de programar las actividades que se deben de realizar para llegar a la demanda esperada) es necesario contar con la ayuda del departamento de inventario para llegar al nivel de producción estimado para ese periodo, ya que el inventario tendrá que cubrir, en la medida de lo posible, las necesidades que tenga la producción. El hecho de que el inventario no cumpla con su función trae como consecuencia un desequilibrio dentro del proceso, y por lo tanto pérdida de servicio hacia el cliente.

Por otro lado, el inventario debe mantener un equilibrio en sus costos, ya que si por alguna razón se tiene más material almacenado que lo requerido, se produce un costo financiero, pues el dinero invertido en los materiales no utilizados, podría ser utilizado en otras áreas o estar generando intereses.

Un control eficiente en el sistema de pronóstico e inventario da como consecuencia, una buena administración en la empresa, es por ello que cuando se implanta un sistema de producción integrado es necesario hacer un análisis profundo de estos dos temas, ya que son la cimentación para planear la producción y los costos, el tener información errónea sobre la demanda, costos, proveedores y el tiempo de entrega, pueda dar varias consecuencias negativas como son: sobreproducción, altos costos, caducidad de los materiales, retraso en la entrega de productos terminados o materia prima, mala planeación a largo o corto plazo, diseños obsoletos, etc.

4.3 El nuevo giro de los sistemas de producción integrados.

Los constante cambios tecnológicos dentro de la industria y la necesidad de diseñar productos innovadores, ha traído como consecuencia que las empresas se estén actualizando constantemente en sus productos y procesos de producción. Bajos estas condiciones los procesos juegan un papel fundamental en el momento de tomar decisiones rápidas.

Es por ello que la ingeniería a desarrollados nuevos sistemas de comunicación para agilizar el flujo de información mundialmente, este objetivo se ha logrado a través del desarrollo de las telecomunicaciones. En la actualidad, el medio de comunicación que ha tenido mayor éxito debido a su rapidez y confiabilidad es el **Internet**, él cual, puede mandar información a cualquier parte del mundo en poco tiempo, además de que el personal que ocupe la red lo puede hacer en cualquier parte, siempre y cuando existe la instalación adecuada.

Al ver que un sistema de producción puede ser más rápido y constante cuando se recibe la información adecuada en el tiempo mínimo, las empresas desarrollaron sistemas de computación que pudieran acoplarse y aprovechar esta tecnología. Un ejemplo de aplicación del Internet dentro de un sistema de producción integrado, es en la producción que plantea Justo a tiempo.

4.3.1 Telecomunicaciones en Justo a tiempo.

El proceso de producción que plantea Justo a tiempo trabaja eficientemente bajo diferentes condiciones económicas. La eficiencia es alcanzada a través de: 1) el compromiso de cada persona de los diferentes niveles de la organización, 2) la completa cooperación y soporte de los proveedores y 3) los cambios en el proceso de manufactura. Estas tres reglas incluyen la compra de materiales, el suavizamiento de la producción. El diseño de un proceso flexible, la estandarización del trabajo y la entrega del materiales o productos terminados (denominada Kanban). El Kanban es un sistema de información que se encarga del flujo de los productos dentro de la producción y los niveles del inventario.

Literalmente, Kanban significa tarjeta en japonés. El Kanban se encuentra definido como un sistema que "jala" al inventario, por medio de la colocación de tarjetas en los materiales, en las cuales se describe el flujo de producción que se le debe de aplicar a ese producto. Kanban se encarga de programar la llegada de los materiales al centro de trabajo, trayendo como consecuencia la eliminación de inventario excesivo creado por estimaciones erróneas.

El usar las tarjetas de Kanban en una empresa de manufactura significa una mejora en la organización y en el flujo de los materiales, aunque el uso de las tarjetas en forma manual tiene algunas limitaciones. Algunas empresas de manufactura que poseen un sistema de computo en la mayoría de sus departamentos, han sustituido las tarjetas a un Kanban electrónico, debido que las tarjetas poseen algunos inconvenientes. Los problemas y situaciones en el que el Kanban electrónico se utiliza sobre el Kanban manual se describen a continuación.

El mayor problema del Kanban manual es que en algunas ocasiones se colocaban las tarjetas en lugares erróneos, por lo que se pierde tiempo al volverlas a colocar adecuadamente. Otro inconveniente, es que el número de tarjeta podría aumentar de tal manera, que sería muy difícil poder administrar el proceso. Es por ello que se necesita de un sistema de computo que permita corregir los errores rápidamente, además, el control que se puede tener con las computadoras es mejor, ya que estas tiene la capacidad de almacenar grandes cantidades de información. Al usar el sistema Kanban siempre va a existir un tiempo de espera, mientras mayor sea el tiempo será necesario poseer una cantidad mayor de inventario para mantener el sistema de producción trabajando. Este tiempo de espera puede ser eliminado si se utiliza el Kanban electrónico para mandar los requerimientos al proceso anterior o proveedores, en lugar de transportar la información manualmente. Cuando existen grandes distancias entre los centros de trabajo, el Kanban electrónico provee rápidamente al proceso anterior lo que se requiere para producir en determinado tiempo, antes de que el inventario se vacíe.

El uso de un sistema de computación y el Internet en un sistema de producción integrado como el Kanban, trae como consecuencia la reducción de tiempo y de errores cuando se transmite la información, por lo que los empleados pueden actualizar inmediatamente su plan de trabajo. Otro beneficio es el monitoreo que se puede dar tanto en el transporte de materiales como en la producción.

Si el paquete de computación que se está utilizando se extiende no solamente por toda la empresa sino también llega a los proveedores por medio del Internet, se tendrían beneficios en la relación empresa-proveedor, por ejemplo, se mejoraría la calidad de información, ya que los proveedores tendrían un registro actualizado de los materiales adquiridos por parte de la empresa, el hecho de que tanto la empresa como el proveedor posean la misma información permitirá que entre ambos la analicen y puedan tener entregas a tiempo. Este sistema a no solamente trae beneficios a la empresa, sino también al proveedor, ya que el departamento de compras tendría un registro actualizado

de los lotes de materia prima que se han solicitado, así como de su recepción, por lo que se disminuiría el papeleo para hacer el pago a tiempo al proveedor.

Como se ha ido describiendo en este tema, el uso de nuevas tecnologías de la información permite mejor los sistemas de producción y disminuir la incertidumbre de posible errores, ya que la información fluye en forma rápida y exacta. A continuación se muestra una tabla donde se menciona los beneficios que puede traer el uso del Internet dentro de las diferentes áreas que abarcan de los sistemas de producción integrados.

Tabla 4.3.1.1. Beneficios de la aplicación de las telecomunicaciones en los sistemas de producción integrados.

Area	Beneficio
Flexibilidad	Se incrementa la flexibilidad en los recursos, los cuales incluyen: celdas de trabajo, equipo, herramientas, recursos humanos y administración.
Eficiencia	Incrementa la eficiencia por medio de la reducción del tiempo, nivel de inventario, manejo de materiales, costos de las instalaciones y el transporte que deben de realizar los trabajadores entre dos tareas.
Productividad	Incrementa la productividad ya que no existe tiempos aleatorios de flujo de información.
Tiempo	Reduce tiempo debido a que maneja pequeños lotes de inventario en proceso y menor tiempo de entrega.
Orden de prioridades	Se mejora el sistema de orden de prioridades, ya que se identifica los tiempos de entrega límite para cada orden.
Inventario	Reduce el inventario de seguridad, usualmente creado por la falta de información en cuestión de cantidad y tiempo.
Solicitud de materiales	Se reduce el proceso de solicitud de materiales, eliminando las actividades que se repiten o no generan valor agregado al producto.
Inversión	Se reduce la inversión en herramientas, contenedores, inventario, recursos humanos, capacitación y espacio necesitado para satisfacer la demanda.
Costos	Reducción de costos de manejo de materiales, inventario, transporte y papeleo.
Recursos humanos	Se reduce recursos humanos y personal por medio de la reducción del manejo de materiales y tareas administrativas.
Trabajo de escritorio	Se elimina el trabajo de escritorio para ordenar material. También se reduce los registros y documentos escritos de las ordenes y transacciones.

Como se puede observar en la tabla anterior, la inversión de un sistema de computo exitosamente implantado dentro de un sistema de producción, puede traer consigo reducción en gastos y tareas que no generan ningún valor agregado al producto.

Capítulo 5. Análisis de un caso práctico.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE UN CASO PRÁCTICO.

Objetivo: Verificar que los métodos de pronóstico pueden predecir la demanda real de una compañía papelerera con un porcentaje mínimo de error, así como los métodos de pronóstico pueden determinar la cantidad de inventario a ordenar al menor costo.

5.1 Planteamiento del problema.

La compañía Papelera S.A. es una pequeña empresa particular situada en el estado de Jalisco, que se dedica a fabricar cajas de cartón corrugado.

La empresa proporciona cajas de cartón corrugado a muchas destilerías regionales y a varias fábricas de cerveza. Al mismo tiempo imprime sobre pedido cajas de tamaño estándar para muchas pequeñas empresas fabricantes de la región.

Las acciones de la compañía están repartidas entre tres hermanos, de los cuales el accionista principal es el fundador, el Sr. Fernández, quien fundó la empresa hace 20 años, cuando renunció como vendedor de una empresa importante fabricante de cajas de cartón corrugado, donde aprendió la técnica.

Los accionistas atribuyen su éxito al hecho de que la compañía puede servir mejor que cualquiera de sus competidores más importantes en el área de cinco estados, ya que los fabricantes competidores no pueden proporcionar el nivel de servicio que ellos dan, ya que la compañía Papelera S.A. maneja diferentes tamaños de cajas, así como de impresión.

La compañía Papelera S. A. reconoce el riesgo que representa el depender de un solo cliente, ya que si el cliente decide cambiar de proveedor, lo más seguro es que la empresa sufriría de una disminución muy grande en sus ingresos, que la podría llevar a la quiebra. Por lo que los accionistas han adoptado la política de que ninguno de sus clientes pueda representar más del 20% de las ventas.

Dos de las destilerías representan cada una un 20% de las ventas totales de la compañía, de manera que sus compras están limitadas. Para lograr que estos dos clientes aceptaran esta política, el Sr. Fernández convenció a los agentes de compra de estas dos empresas que agregasen otros proveedores, puesto que, el suministro alternativo los protegería contra cualquier problema que se pueda presentar en la compañía Papelera S.A. con respecto a embarques, escasez de cartón o cuestiones laborales.

En la actualidad la compañía papelerera tiene más de 600 clientes cuyos pedidos van desde 100 cajas hasta compras generales de 50,000 cajas al año. Las cajas se producen en 16 tamaños estándar, con impresiones especiales de acuerdo con las especificaciones de los clientes. El equipo de impresión de la Compañía Papelerera limita ese trabajo a dos colores. La estandarización y la impresión limitada de la Compañía Papelerera permite competir en precio con los grandes productores; pero la empresa proporciona también el servicio para pedidos pequeños y de urgencia que los grandes fabricantes de cajas no pueden atender.

Sin embargo, este servicio personal exige un rígido control del inventario y una programación precisa de la producción. Hasta ahora, el Sr. Fernández ha pronosticado siempre la demanda y elaborado sus programas de producción recurriendo a su experiencia, pero, debido al creciente número de cuentas y a los cambios de personal en los departamentos de compras de sus clientes, la precisión de sus pronósticos ha disminuido con rapidez. El número de pedidos pendientes va en aumento, las entregas tardías se vuelven comunes y el inventario de materia prima no cumple con su función. Hace algunos meses se rentó un segundo almacén, dado que el principal se encuentra lleno. Se tiene la intención de trasladar al espacio rentado algunas de las cajas que se mueven con más lentitud.

La demanda de cajas ha aumentado siempre antes de la época de Navidad, cuando los clientes empiezan a formar sus exigencias para la demanda proporcional. Esta variación de temporada ha hecho aumentar siempre la dificultad de hacer un pronóstico confiable.

Los accionistas consideran que es muy importante establecer un método mejorado de pronóstico, capaz de tener en cuenta el aumento del número de clientes y la variación de temporada; piensa que si este método se puede aplicar al pronóstico de la demanda total, también puede servir para pronosticar la demanda de los clientes más importantes. Luego se podrán integrar los requerimientos de los clientes más pequeños a fin de igualar el volumen de la producción y almacenamiento.

La compañía Papelera S.A. a compilado los datos siguientes de la demanda:

VENTAS (NÚMERO DE CAJAS)

MES	1994	1995	1996	1997	1998
Enero	12,000	8,000	12,000	15,000	15,000
Febrero	8,000	14,000	8,000	12,000	22,000
Marzo	10,000	18,000	18,000	14,000	18,000
Abril	18,000	15,000	13,000	18,000	18,000
Mayo	14,000	16,000	14,000	15,000	16,000
Junio	10,000	18,000	18,000	18,000	20,000
Julio	16,000	14,000	17,000	20,000	28,000
Agosto	18,000	28,000	20,000	22,000	28,000
Septiembre	20,000	22,000	25,000	26,000	20,000
Octubre	27,000	27,000	28,000	28,000	30,000
Noviembre	24,000	26,000	18,000	20,000	22,000
Diciembre	18,000	10,000	18,000	22,000	28,000
TOTAL	195,000	216,000	209,000	230,000	265,000

5.2 Análisis de la demanda

Para realizar un buen análisis de pronóstico es necesario determinar que tipo de demanda se presenta, es decir, determinar si el patrón es uniforme, con tendencia, con periodicidad o la mezcla de las tres.

En este caso, al graficar la demanda de los datos obtenidos de 1994 a 1998, se observó a simple vista que se presenta un patrón de periodicidad, como lo muestra la siguiente figura 5.2.1:

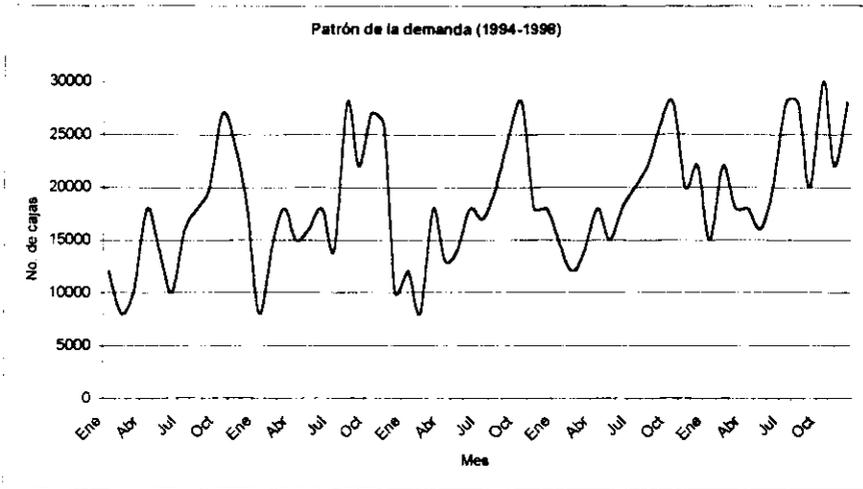


Figura 5.2.1. Patrón de la demanda (1994-1998)

Un mejor análisis de la demanda es descomponer la curva en los tres factores que se han mencionado, como lo muestran las siguientes figuras:

a. Factor lineal (α).

En los 4 años registrados el límite inferior de ventas en un mes es de 8,000 cajas. Mientras que el límite superior es de 30,000 cajas, por lo que el rango de variación es de 24,000 unidades, teniendo un promedio de 18,583 unidades por mes (ver figura 4.2.2).

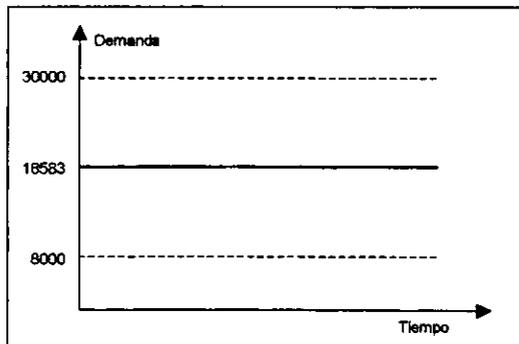


Figura 5.2.2. Promedio de la demanda

b. Factor de tendencia (β).

Como se puede ver en la gráfica 4.2.3 de la demanda, el incremento de las ventas se da a partir de enero de 1996 y a partir de este año, el incremento se hace constante.

Cabe mencionar que una posibilidad de que en 1995 no se presentara este incremento, podría ser la recesión sufrida a finales de 1994 la cual alteró el ciclo económico de todo el país. Pero esta suposición, no se puede comprobar, ya que no se tienen datos anteriores a 1994 que puedan determinar si esta recesión fue única en el patrón de la demanda, o si cumple un ciclo cada 6 años.

Debido a que se tiene una tendencia, positiva en este caso, se determinó la ecuación de la recta que pasa en medio de todos los puntos, la cual es:

$$\text{Demanda mensual} = 11759.0248 + (167.1602)(\text{número de periodo})$$

$$\text{Coeficiente de correlación de} = 0.4793$$

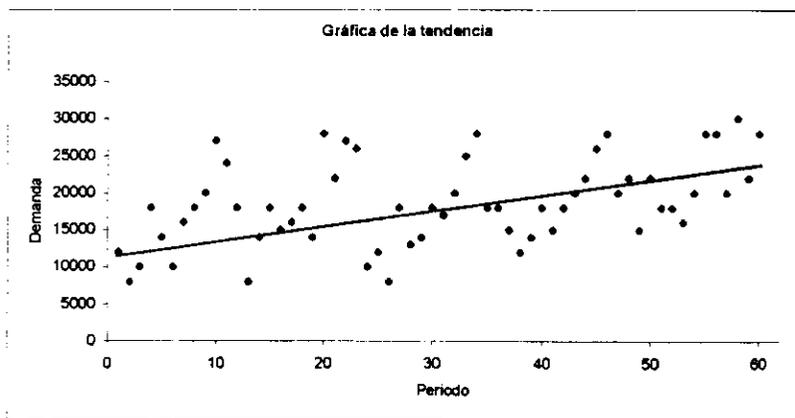


Figura 5.2.3. Gráfica de la tendencia.

c. Factor de periodicidad (γ).

Tanto el factor lineal como el factor de tendencia cubren gran parte del comportamiento de la demanda, aunque existe una parte de este comportamiento que no puede ser estimado sino es por medio del factor de periodicidad. Como se puede ver en la gráfica 4.2.4 del comportamiento de la demanda, durante los meses de junio y julio se da un aumento en las ventas,

debido a que es época de calor y la población compra más cervezas, por lo que la empresa Papelera S.A. debe producir más cajas para sus clientes. Por otro lado se da un mayor incremento de las ventas en los meses de octubre y noviembre, ya que las compañías productoras de tequila solicitan mayor número de cajas para envasar sus botellas y prepararse para la época de navidad.

De este análisis se puede concluir que para este caso, la demanda de la compañía Papelera S.A. se presenta un **proceso estacional con tendencia positiva** por lo que el mejor método para pronosticar dicha demanda es el método de Winter's, ya que contiene los tres factores de suavizamiento de la curva (lineal, el de la tendencia y el de periodicidad), por lo que los valores obtenidos del pronóstico deben ser muy similares al de los de la demanda real.

5.3 Proyección del futuro probable de la demanda.

Esta parte del análisis tiene por objeto calcular el pronóstico de un año ya conocido, como es el caso de 1998, y verificar si el modelo de pronóstico es el adecuado. Si los valores pronosticados presentan un porcentaje mínimo de error en comparación con los valores reales, se procede a pronosticar los valores del periodo siguiente, que en este caso es 1999, sino se revisan los factores de suavizamiento, con la finalidad de encontrar la parte de error del modelo.

Como se menciona anteriormente las ventas en el año de 1995 fueron posiblemente afectadas por la devaluación que se sufrió a finales de 1994, por lo que los datos obtenidos en este año no deben de ser considerados, ya que afectan el proceso general de la demanda.

El método Winter's, tiene como fundamento matemático representar el comportamiento a través del siguiente modelo:

$$x_t = (b_1 + b_2t) C_t + \varepsilon_t$$

donde,

x_t = demanda

b_1 = es la señal inicial, normalmente llamada componente permanente

b_2 = en el componente de la tendencia lineal

C_t = factor multiplicativo de periodicidad

ε_t = error de variabilidad

5.3.1 Procedimiento.

El método Winter's propone calcular el promedio de los dos últimos periodos al que se va a pronosticar, que en este caso corresponde a 1996 y 1997. A partir de estos datos se infiere la porción lineal de la demanda y la pendiente de la componente de tendencia, de donde se obtiene el factor de periodicidad, para así poder calcular el pronóstico.

Para efectos del planteamiento, se considera que:

X_t = demanda para el mes t

L = número de meses al año = 12

T = número de periodos de datos disponibles = mL , donde m es el número de años completos de datos disponibles (1994, 1996, 1997); $T = (3 \text{ años})(12 \text{ meses}) = 36 \text{ meses}$

$a_1(t)$ = estimación de la componente lineal calculado en el periodo t

$b_2(t)$ = estimación de la componente de tendencia en el periodo t

$c_1(t)$ = estimación de la componente de periodicidad en el periodo t

1. Estimación de los factores estacionales iniciales.

Estos factores tienen por objeto fijar un punto de partida en la curva de la demanda, para empezar a realizar los cálculos necesarios para determinar el pronóstico.

Para calcular el valor inicial del factor de tendencia, se sacan los promedios de las ventas por cada año de datos disponibles, los cuales se presentan a continuación (tabla 4.3.1.1):

Tabla 5.3.1.1. Promedio de la demanda.

x promedio (1994)	x promedio (1996)	x promedio (1997)
16,250	17,420	19,170

$$b_2(0) = (X \text{ prom}_{1997} - X \text{ prom}_{1996}) / L = (19,170 - 17,420) / 12 = 145.833 \text{ cajas / mes}$$

Dada una estimación de la tendencia, se puede calcular una estimación de la componente constante o permanente con el promedio global.

$$X \text{ prom} = 1/T \sum_{t=1}^T x_t = 495,000 / 24 = 20,625 \text{ cajas}$$

El promedio de todos los datos registrados se encuentra en $(T - 1)/2$, que es el punto medio de las observaciones o de los $(T - 1)/2$ periodos de T . Por lo que el punto medio es:

$$t = (T - 1)/2 = 11.5 \text{ meses}$$

Como existen 36 periodos de datos, el promedio global se encuentra centrado en el mes 17.5, de manera que la estimación inicial del término constante $a_1(t)$, en el periodo 36 será:

$$a_1(t) = X \text{ promedio del primer año} - (L/2) (b_2(0)) = 17420 - (12/2)(145.833) = 16545.002 \text{ cajas}$$

De la fórmula $X_t = (b_1 + b_2 t) c_t$, se despeja el componente c_t , que es el factor de estacionalidad para el periodo t , para calcular este valor, es necesario utilizar los valores de las estimaciones iniciales del factor permanente $a_1(t)$ y el de la pendiente $b_2(0)$. Quedando el despeje de la siguiente manera:

$$c_t = X_t / (\text{prom } X_t - ((L+1)/2 - j) (b_2(0)))$$

La siguiente tabla 4.3.1.2 muestra el valor de c_t para cada mes del año. En la última columna se da el valor normalizado de c_t , ya que la suma de los factores de periodicidad no suman el total de $L=36$ sino de 34. Para normalizar el valor de c_t se aplican las siguientes ecuaciones:

$$R = L / \sum_{t=T-L+1}^T c_t$$

Esta razón se multiplica por los factores de periodicidad de cada mes para obtener los nuevos valores:

$$c'_t = R * c_t \quad t = T - L + 1, T - L + 2, \dots, T$$

Tabla 5.3.1.2. Factores de periodicidad.

Mes	Demanda	ct
Ene-96	12000	0.7221
Feb-96	8000	0.4772
Mar-96	10000	0.5914
Abr-96	18000	1.0554
May-96	14000	0.8139
Jun-96	10000	0.5765
Jul-96	16000	0.9147
Ago-96	18000	1.0205
Sep-96	20000	1.1246
Oct-96	27000	1.5058
Nov-96	24000	1.3277
Dic-96	18000	0.9878
Ene-97	15000	0.8166
Feb-97	12000	0.6482
Mar-97	14000	0.7503
Abr-97	18000	0.9572
May-97	15000	0.7915
Jun-97	18000	0.9426
Jul-97	20000	1.0393
Ago-97	22000	1.1347
Sep-97	26000	1.3310
Oct-97	28000	1.4227
Nov-97	20000	1.0088
Dic-97	22000	1.1015
TOTAL	425000	23.0619

se obtiene el promedio de c_t en cada mes, se normaliza el resultado obtenido por mes,

Tabla 5.3.1.3. Factores de periodicidad normalizados

Mes	ct 1996	ct 1997	Promedio	Normalizado
Ene	0.7221	0.8166	0.7694	0.8006
Feb	0.4772	0.6482	0.5627	0.5856
Mar	0.5914	0.7503	0.6709	0.6981
Abr	1.0554	0.9572	1.0063	1.0472
May	0.8139	0.7915	0.8027	0.8353
Jun	0.5765	0.9426	0.7596	0.7904
Jul	0.9147	1.0393	0.9770	1.0167
Ago	1.0205	1.1347	1.0776	1.1214
Sep	1.1246	1.331	1.2278	1.2777
Oct	1.5058	1.4227	1.4643	1.5238
Nov	1.3277	1.0088	1.1683	1.2158
Dic	0.9878	1.1015	1.0447	1.0871
TOTAL			11.5310	12.0000

2. Una vez estimados los parámetros iniciales, se establecen los factores de suavizamiento. Como se mencionó en el capítulo dos, estos factores los da la persona que posea experiencia en pronósticos.

Es conveniente que los factores de suavizamiento posean un valor ente 0.05 y 0.30. Si alguno de los valores que se les dio a los factores de suavizamiento perjudican al pronóstico, estos deben de cambiar de valor. Para determinar cuando es necesario cambiar el factor de suavizamiento se aplica el método de control de Robert y Reed.

Para este caso las cantidades serán las siguientes:

$$\alpha = 0.15$$

$$\beta = 0.10$$

$$\gamma = 0.20$$

3. Se calcula el pronóstico a través de las siguientes ecuaciones:

Estimación del término constante:

$$a'_{\tau}(T) = \alpha [x_{\tau} / c'_{\tau}(T - L)] + (1 - \alpha) [a'_{\tau}(T - 1) + b'_{\tau 2}(T - 1)]$$

Estimación de la componente de tendencia:

$$b'_{\tau 2}(T) = \beta [a'_{\tau}(T) - a'_{\tau}(T - 1)] + (1 - \beta) b'_{\tau 2}(T - 1)$$

Estimación de la componente

$$c'_{\tau}(T) = \gamma (x_{\tau} / a'_{\tau}(T)) + (1 - \gamma) c'_{\tau}(T - L)$$

Estimación del pronóstico:

$$x'_{T+\tau}(T) = [a'_{\tau}(T) + b'_{\tau 2}(T) \tau] c'_{\tau+\tau}(T + \tau - L)$$

La siguiente tabla 4.3.1.4 muestra el pronóstico para cada uno de los meses desde 1996. El hecho de que se tomara en cuenta los años 1996 y 1997 es para obtener los valores de las componentes de suavizamiento y así poder determinar el pronóstico para 1998.

Tabla 5.3.1.4. Pronóstico (1996-1998)

Mes	Demanda	a	Bt	ct	Pronostico	Error
Ene-96	12000	16435.406	120.290	0.787	13363.379	-1363.379
Feb-96	8000	16121.569	76.877	0.568	13021.711	-5021.711
Mar-96	10000	15917.259	48.759	0.684	9196.105	803.895
Abr-96	18000	16149.348	67.092	1.061	10923.281	7076.719
May-96	14000	16297.895	75.237	0.840	17200.819	-3200.819
Jun-96	10000	15814.832	19.407	0.759	13754.739	-3754.739
Jul-96	16000	15819.595	17.943	1.016	12015.307	3984.693
Ago-96	18000	15869.549	21.144	1.124	16085.724	1914.276
Sep-96	20000	15854.988	17.573	1.274	17861.026	2138.974
Oct-96	27000	16149.496	45.267	1.553	20229.216	6770.784
Nov-96	24000	16726.645	98.455	1.260	25157.270	-1157.270
Dic-96	18000	16784.918	94.437	1.084	21192.563	-3192.563
Ene-97	15000	17208.083	127.310	0.804	18300.419	-3300.419
Feb-97	12000	17905.687	184.339	0.588	13930.173	-1930.173
Mar-97	14000	18445.988	219.935	0.699	10640.695	3359.305
Abr-97	18000	18411.518	194.495	1.044	13049.740	4950.260
May-97	15000	18493.427	183.236	0.834	19426.386	-4426.386
Jun-97	18000	19433.329	258.903	0.792	15581.636	2418.364
Jul-97	20000	19692.110	258.891	1.016	15602.219	4397.781
Ago-97	22000	19894.312	253.222	1.120	20263.506	1736.494
Sep-97	26000	20185.482	257.017	1.277	22572.553	3427.447
Oct-97	28000	20079.836	220.750	1.522	26109.008	1890.992
Nov-97	20000	19637.244	154.416	1.211	30889.834	-10889.834
Dic-97	22000	19866.659	161.916	1.089	23974.801	-1974.801
Ene-98	15000	19824.300	141.488	0.794	21807.677	-6807.677
Feb-98	22000	22581.182	403.028	0.665	15856.512	6143.488
Mar-98	18000	23398.570	444.464	0.713	15294.125	2705.875
Abr-98	18000	22852.558	345.416	0.993	17003.717	996.283
May-98	16000	22594.998	285.119	0.809	23031.067	-7031.067
Jun-98	20000	23234.528	320.560	0.806	18511.186	1488.814
Jul-98	28000	24157.052	380.756	1.044	18985.404	9014.596
Ago-98	28000	24605.922	387.568	1.124	25625.993	2374.007
Sep-98	20000	23593.368	247.555	1.191	28089.631	-8089.631
Oct-98	30000	23222.153	185.678	1.476	28401.531	1598.469
Nov-98	22000	22620.871	106.982	1.164	34542.287	-12542.287
Dic-98	28000	23176.033	151.800	1.113	26446.077	1553.923

Error promedio -109.370

Donde,

a_i = constante lineal.

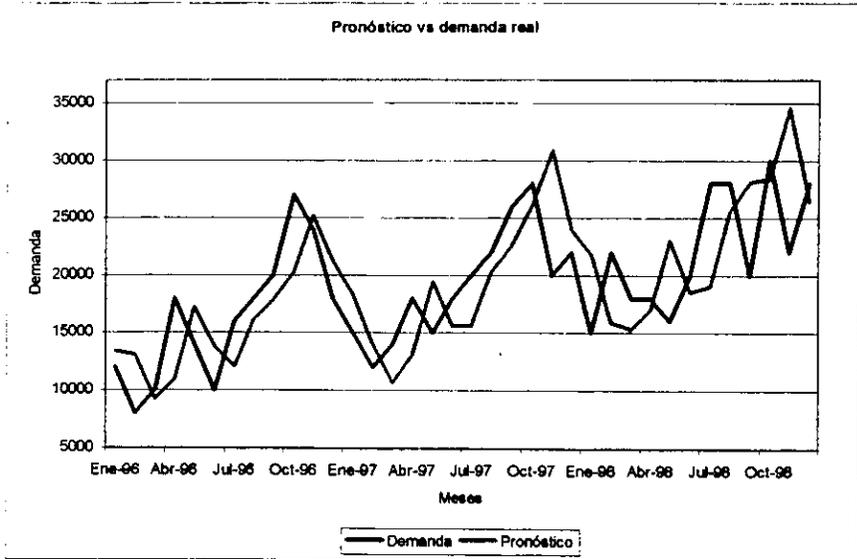
b_t = constante de la tendencia.

c_t = constante de periodicidad.

4. Se comparan los resultados del pronóstico para el año de 1998 con los datos reales

Tabla 5.3.1.5. Pronóstico vs. Demanda real (1998)

Mes	Demanda	Pronóstico	Error
Ene-98	15000	21807.677	-6807.677
Feb-98	22000	15856.512	6143.488
Mar-98	18000	15294.125	2705.875
Abr-98	18000	17003.717	996.283
May-98	16000	23031.067	-7031.067
Jun-98	20000	18511.186	1488.814
Jul-98	28000	18985.404	9014.596
Ago-98	28000	25625.993	2374.007
Sep-98	20000	28089.631	-8089.631
Oct-98	30000	28401.531	1598.469
Nov-98	22000	34542.287	-12542.29
Dic-98	28000	26446.077	1553.923
Promedio del error			-716.2673



Gráfica 5.3.1.6. Pronóstico vs. demanda real.

Como se puede observar tanto en la tabla como en la gráfica 4.3.1.6, existe un porcentaje de error, ya que el pronóstico obtenido, da valores superiores que los de la demanda real, por lo que es necesario hacer un análisis a los factores de suavizamiento.

Aunque el pronóstico tiende hacia el mismo patrón de la demanda a partir del mes de junio, es conveniente buscar valores que se acerquen al valor real. Ya que el sistema de producción, de inventario y de planeación se ve altamente afectado con este tipo de resultados, por ejemplo, en este caso la compañía Papelera S.A. hubiera comprador más material, por lo que su flujo de efectivo se vería afectado.

5.3.2 Control del pronóstico.

Debido a que es difícil saber cual de los tres factores de suavizamiento exponencial son los que se encuentra fuera del rango, es necesario aplicar el método de control de Robert y Reed, el cual detecta y corrige cada factor. A continuación se muestran los pasos que se deben de realizar para corregir el pronóstico.

Una vez seleccionada la combinación nominal de $\alpha_0 = 0.15$, $\beta_0 = 0.10$ y $\gamma_0 = 0.20$, se determina los límites superiores e inferiores para cada factor. Dichos límites tendrán un efecto de variación de ± 0.05 ,

$$\begin{array}{ll} \alpha_1 = 0.10 & \alpha_3 = 0.20 \\ \beta_1 = 0.05 & \beta_3 = 0.15 \\ \gamma_1 = 0.15 & \gamma_3 = 0.25 \end{array}$$

1. Teniendo estos 6 valores más, se combinan entre ellos para realizar 9 triadas de valores más (contando la triada de los factores iniciales). Dichas triadas se enumeran, con la finalidad de poder detectarlas con mayor facilidad.

Tabla 5.3.2.1. Combinaciones de factores de suavizamiento

K Combinaciones	Coordenadas
1	$\alpha_0 = 0.20, \beta_0 = 0.15, \gamma_0 = 0.25$
2	$\alpha_3 = 0.20, \beta_3 = 0.15, \gamma_1 = 0.15$
3	$\alpha_3 = 0.20, \beta_1 = 0.05, \gamma_3 = 0.25$
4	$\alpha_3 = 0.20, \beta_1 = 0.05, \gamma_1 = 0.15$
5	$\alpha_1 = 0.10, \beta_3 = 0.15, \gamma_3 = 0.25$
6	$\alpha_1 = 0.10, \beta_3 = 0.15, \gamma_1 = 0.15$
7	$\alpha_1 = 0.10, \beta_1 = 0.05, \gamma_3 = 0.25$
8	$\alpha_1 = 0.10, \beta_1 = 0.05, \gamma_1 = 0.15$
9	$\alpha_0 = 0.15, \beta_0 = 0.10, \gamma_0 = 0.20$

Como se vio en la gráfica anterior, el pronóstico se va desfasando en el transcurso del tiempo, es por ello, que el pronóstico se realizará a partir de 1997 para disminuir este problema.

Se obtiene el pronóstico y el error para cada mes del año en estudio, que en este caso es 1998, con cada una de estas combinaciones obtenidas en el paso número dos. A continuación se muestra paso a paso el cálculo del pronóstico para 1998, con las diferentes combinaciones.¹

- Pronóstico para la combinación $k=1$. $\alpha_s = 0.20$, $\beta_s = 0.15$, $\gamma_s = 0.25$

Tabla 5.3.2.2. Combinación $k=1$.

Mes	Demanda	at	bt	ct	Pronóstico	Error
Ene-98	15000	19727.221	116.677	0.812	21970.492	-6970.492
Feb-98	22000	23052.252	597.93	0.698	16122.556	5877.444
Mar-98	18000	23932.785	640.32	0.727	16516.861	1483.139
Abr-98	18000	23138.226	425.088	0.97	17856.416	143.584
May-98	16000	22696.842	295.118	0.8	22865.91	-6865.91
Jun-98	20000	23240.054	332.332	0.834	18398.858	1601.142
Jul-98	28000	24369.158	451.848	1.049	19662.927	8337.073
Ago-98	28000	24874.432	459.861	1.118	26045.327	1954.673
Sep-98	20000	23398.392	169.476	1.172	28335.457	-8335.457
Oct-98	30000	22885.192	67.075	1.444	27618.315	2381.685
Nov-98	22000	22137.607	-55.124	1.122	33145.361	-11145.36
Dic-98	28000	22799.432	52.418	1.125	24786.14	3213.86
Error Promedio						-693.7183

¹ Existe un modelo de programación que realiza dichos cálculos, el cual fue elaborado por José Coronel Trujillo en su tesis para título de maestría titulada: Modelos de suavización exponencial simple, Holt y Winter's.

- Pronóstico para la combinación k=2. $\alpha_s = 0.20$, $\beta_s = 0.15$, $\gamma_1 = 0.15$

Tabla 5.3.2.3. Combinación k=2.

Mes	Demanda	at	bt	ct	Pronostico	Error
Ene-98	15000	19778.82	124.41657	0.3182975	8803.287	6196.713
35827	22000	33472.221	2159.7643	0.1612686	6335.1512	15664.849
35855	18000	40864.675	2944.6678	0.1388926	5746.3201	12253.68
35886	18000	43800.426	2943.3302	0.1644657	6084.7957	11915.204
35916	16000	47029.912	2986.2536	0.1340628	7687.7444	8312.2556
35947	20000	51878.304	3265.5744	0.1421065	6705.3056	13294.694
35977	28000	57897.525	3678.6213	0.1741206	7836.3037	20163.696
36008	28000	61835.201	3717.4795	0.1792608	10721.677	17278.323
36039	20000	60270.073	2925.0884	0.1775237	11751.027	8248.9725
36069	30000	60754.307	2558.9603	0.2211539	11218.637	18781.363
36100	22000	60298.942	2106.8115	0.1687367	14001.977	7998.0229
36130	28000	62736.218	2156.3811	0.1762228	10530.142	17469.858

Error Promedio 13131.469

- Pronóstico para la combinación k=3. $\alpha_s = 0.20$, $\beta_1 = 0.05$, $\gamma_s = 0.25$

Tabla 5.3.2.4. Combinación k=3.

Mes	Demanda	at	bt	ct	Pronostico	Error
Ene-98	15000	19502.361	168.24358	0.814661	21744.128	-6744.128
Feb-98	22000	22916.829	330.55476	0.6995863	16024.874	5975.126
Mar-98	18000	23609.338	348.65249	0.7293708	16263.55	1736.4497
Abr-98	18000	22641.862	282.84606	0.9756204	17474.259	525.74148
May-98	16000	22178.946	245.55797	0.8054847	22365.812	-6365.812
Jun-98	20000	22774.7	263.06779	0.8400051	18062.596	1937.4042
Jul-98	28000	23923.969	307.37783	1.0570981	19351.842	8648.1577
Ago-98	28000	24382.973	314.95913	1.1274393	25614.911	2385.0894
Sep-98	20000	22875.356	223.83031	1.1810366	27845.42	-7845.42
Oct-98	30000	22492.019	193.47198	1.4548993	27280.985	2719.0154
Nov-98	22000	21908.488	154.62183	1.1286816	33005.105	-11005.1
Dic-98	28000	22764.986	189.71565	1.1286847	24902.226	3097.7741

Error Promedio -411.3089

- Pronóstico para la combinación k=4. $\alpha_t = 0.20$, $\beta_t = 0.05$, $\gamma_t = 0.15$

Tabla 5.3.2.5. Combinación k=4.

Mes	Demanda	at	bt	ct	Pronóstico	Error
Ene-98	15000	19553.96	170.82353	0.8105005	21682.267	-6682.267
Feb-98	22000	23089.95	339.08185	0.6545386	15986.946	6013.0536
Mar-98	18000	23811.729	358.21671	0.7171118	15335.206	2664.7939
Abr-98	18000	22796.196	289.52922	1.0027727	17332.702	667.29753
May-98	16000	22304.379	250.4619	0.8167114	23149.735	-7149.735
Jun-98	20000	22966.66	271.05284	0.8212898	18420.795	1579.2051
Jul-98	28000	24089.539	313.64418	1.0399033	19084.896	8915.1038
Ago-98	28000	24518.734	319.42171	1.1240241	25376.952	2623.0478
Sep-98	20000	22992.929	227.16039	1.2193792	27918.685	-7918.685
Oct-98	30000	22558.337	194.07273	1.480161	28314.095	1685.9045
Nov-98	22000	21904.334	151.66895	1.160809	33677.23	-11677.23
Dic-98	28000	22773.892	187.56344	1.1124615	25602.807	2397.1935
Error Promedio						-573.5265

- Pronóstico para la combinación k=5. $\alpha_t = 0.10$, $\beta_t = 0.15$, $\gamma_t = 0.25$

Tabla 5.3.2.6. Combinación k =5.

Mes	Demanda	at	bt	ct	Pronóstico	Error
Ene-98	15000	20020.82	208.58174	0.8079085	22061.652	-7061.652
Feb-98	22000	21781.423	441.3849	0.7140522	16343.506	5656.494
Mar-98	18000	22487.65	481.11132	0.7429055	15868.245	2131.7547
Abr-98	18000	22402.207	396.12807	0.981075	17063.62	936.37969
May-98	16000	22431.8	341.14787	0.8055073	22366.877	-6366.877
Jun-98	20000	22890.083	358.71812	0.8448891	18343.776	1656.224
Jul-98	28000	23651.083	419.06045	1.0660007	19642.66	8357.3403
Ago-98	28000	24148.543	430.82033	1.1348024	25658.79	2341.2099
Sep-98	20000	23672.809	294.8372	1.1780926	27892.72	-7892.72
Oct-98	30000	23575.736	236.05064	1.4403998	28236.106	1763.8942
Nov-98	22000	23318.574	162.06877	1.1098198	34298.492	-12298.49
Dic-98	28000	23700.261	195.01155	1.1132134	26059.282	1940.7177
Error Promedio						-736.3106

- Pronóstico para la combinación $k=6$. $\alpha_1 = 0.10$, $\beta_1 = 0.15$, $\gamma_1 = 0.15$

Tabla 5.3.2.7. Combinación $k=6$.

Mes	Demanda	at	bt	ct	Pronóstico	Error
Ene-98	15000	20044.639	212.15464	0.806478	22034.636	-7034.636
Feb-98	22000	21876.701	455.14069	0.6637944	16336.659	5663.3405
Mar-98	18000	22621.465	498.58423	0.7258228	14823.752	3176.2476
Abr-98	18000	22533.747	410.63892	1.0064156	16781.059	1218.941
May-98	16000	22564.074	353.59207	0.8168707	23091.587	-7091.587
Jun-98	20000	23072.86	376.87121	0.8247622	18720.77	1279.2302
Jul-98	28000	23842.556	435.79485	1.0454676	19340.453	8659.5469
Ago-98	28000	24340.477	445.11377	1.1283903	25382.228	2617.7722
Sep-98	20000	23863.937	306.8658	1.217622	27967.82	-7967.82
Oct-98	30000	23743.98	242.8423	1.4707633	29430.901	569.09931
Nov-98	22000	23443.942	161.41021	1.1484121	35278.938	-13278.94
Dic-98	28000	23815.647	192.95457	1.1021254	27108.672	891.32807
Error Promedio						-941.4562

- Pronóstico para la combinación $k=7$. $\alpha_1 = 0.10$, $\beta_1 = 0.05$, $\gamma_1 = 0.25$

Tabla 5.3.2.8. Combinación $k=7$.

Mes	Demanda	at	bt	ct	Pronóstico	Error
Ene-98	15000	19588.894	181.65882	0.8120385	21657.64	-6657.64
Feb-98	22000	21369.379	261.60015	0.7188022	16054.45	5945.5498
Mar-98	18000	21954.784	277.79038	0.7478107	15548.397	2451.6034
Abr-98	18000	21738.433	253.08332	0.9877523	16625.756	1374.2435
May-98	16000	21703.37	238.67597	0.8122451	21722.172	-5722.172
Jun-98	20000	22137.867	248.46706	0.8534655	17822.319	2177.6811
Jul-98	28000	22867.868	272.54373	1.0781179	19105.965	8894.0355
Ago-98	28000	23303.295	280.68791	1.1482122	24948.091	3051.9094
Sep-98	20000	22770.359	240.00674	1.190599	27079.417	-7079.417
Oct-98	30000	22704.813	224.72906	1.457873	27396.12	2603.8803
Nov-98	22000	22515.507	204.02731	1.1224405	33428.359	-11428.36
Dic-98	28000	23001.116	218.10641	1.1267222	25501.326	2498.6739
Error Promedio						-157.5009

- Pronóstico para la combinación k=8. $\alpha_1 = 0.10$, $\beta_1 = 0.05$, $\gamma_1 = 0.15$

Tabla 5.3.2.9. Combinación k=8.

Mes	Demanda	at	bt	ct	Pronost.	Error
Ene-98	15000	19612.713	182.84978	0.8089501	21583.534	-6583.534
Feb-98	22000	21462.167	266.18001	0.6666272	16013.622	5986.3777
Mar-98	18000	22078.184	283.67184	0.7287926	14484.706	3515.2937
Abr-98	18000	21850.654	258.11173	1.0105311	16297.155	1702.8446
May-98	16000	21810.637	243.20531	0.8210569	22341.595	-6341.595
Jun-98	20000	22292.658	255.14607	0.8300977	18107.46	1892.5397
Jul-98	28000	23026.586	279.0852	1.0530564	18716.88	9283.1203
Ago-98	28000	23459.947	286.79896	1.1368358	24542.187	3457.8132
Sep-98	20000	22924.978	245.71056	1.2255831	26996.15	-6996.15
Oct-98	30000	22838.325	229.09239	1.4818627	28397.603	1602.3971
Nov-98	22000	22611.222	206.28262	1.1564576	34182.745	-12182.74
Dic-98	28000	23098.057	220.31025	1.1106854	26387.476	1612.5245

Error Promedio -254.2595

2. Se determina el rango de error (R) para cada una de las nueve combinaciones.

$$e^2(i, j) = [X(j) - S(j)]^2$$

$$R = e^2(i, j) \text{ máximo} - e^2(i, j) \text{ mínimo}$$

Donde:

X = demanda real

S = pronóstico

i = combinación de control

j = periodo para el que se calcula el error

Tabla 5.3.2.10. Rango de error.

Combinación	e ² (i, j) máximo	e ² (i, j) mínimo	R
1	Nov 98 = 124219071.820	Abr 98 = 20616.365	124198455.455
2	Jul 98 = 406574648.935	Ene 98 = 38399252.621	406568452.222
3	Nov 98 = 121112335.219	Abr 98 = 276404.101	120835931.117
4	Nov 98 = 136357704.010	Abr 98 = 445286.000	135912418.010
5	Nov 98 = 151252914.002	Abr 98 = 876806.925	150376107.077
6	Nov 98 = 176330191.283	Oct 98 = 323874.028	176006317.255
7	Nov 98 = 130607390.827	Abr 98 = 1888545.288	128718845.539
8	Nov 98 = 148419267.919	Oct 98 = 2567676.446	145851591.474
9	Nov 98 = 288219127.285	Jun 98 = 9829.343	288209297.942

3. Se determina el rango promedio de las 9 combinaciones.

$$R = \sum_{k=1}^9 R(k) / 9$$

$$R \text{ promedio} = 1676677416.091 / 9 = 186,297,490.677$$

4. Una vez obtenido el rango medio, se determina la desviación estándar s . En la tabla de rangos promedios del modelo de Robert y Reed (Capítulo 2), se tiene que para $n=9$ combinaciones el valor de la constante d_2 es 2.97, por lo que,

$$S = R \text{ promedio} / d_2 = 186297490.677 / 2.97 = 62,726,427.837$$

Ya que se tiene el valor de la desviación estándar, se determina los límites superiores e inferiores:

$$LSC = + 3 \sqrt{(1/2n)} s = + 3 \sqrt{(1/18)} (62726427.837) = 5600.286$$

$$LIC = - 3 \sqrt{(1/2n)} s = - 3 \sqrt{(1/18)} (62726427.837) = -5600.286$$

5. Se calcula el promedio de los errores al cuadrado para cada una de la k combinaciones.

Tabla 5.3.2.11. Error promedio al cuadrado.

Combinación	Promedio de error al cuadrado
1	34,840,380.64
2	193,068,212.99
3	34,073,802.53
4	36,331,671.76
5	35,526,357.38
6	38,986,341.66
7	33,935,441.52
8	36,575,020.05
9	52,390,085.32

6. Se determina los errores esperados para cada factor de suavizamiento.

$$E(\alpha) = \frac{1}{4} (\bar{E}^2_1 + \bar{E}^2_2 + \bar{E}^2_3 + \bar{E}^2_4 - \bar{E}^2_5 - \bar{E}^2_6 - \bar{E}^2_7 - \bar{E}^2_8)$$

$$= 38,322,726.83$$

$$E(\beta) = \frac{1}{4} (\bar{E}^2_1 + \bar{E}^2_2 + \bar{E}^2_5 + \bar{E}^2_6 - \bar{E}^2_3 - \bar{E}^2_4 - \bar{E}^2_7 - \bar{E}^2_8)$$

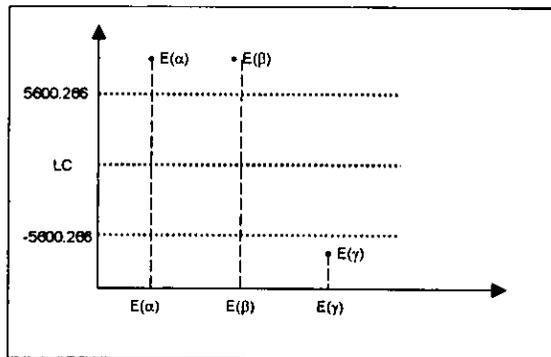
$$= 40,376,339.20$$

$$E(\gamma) = \frac{1}{4} (\bar{E}^2_1 + \bar{E}^2_3 + \bar{E}^2_5 + \bar{E}^2_7 - \bar{E}^2_2 - \bar{E}^2_4 - \bar{E}^2_6 - \bar{E}^2_8)$$

$$= -41,646,316.10$$

Como se puede observar en la gráfica 4.3.2.12 los factores de suavizamiento α y β son mayores que el límite superior de control mientras que el factor γ es menor que el límite inferior de control.

Para el caso de α y β se debe trasladar el diseño original de α_0 y β_0 al valor inferior de α y β . Para el factor de suavizamiento γ , el valor se debe mover hacia el valor superior de γ .



Gráfica 5.3.2.12. Límites superior e inferior del rango de error

Antes de la revisión los ponderadores tenían los siguientes valores:

$$\alpha_0 = 0.15 \quad \beta_0 = 0.10 \quad \gamma_0 = 0.20$$

Después de la revisión, los valores de los factores cambiaron a:

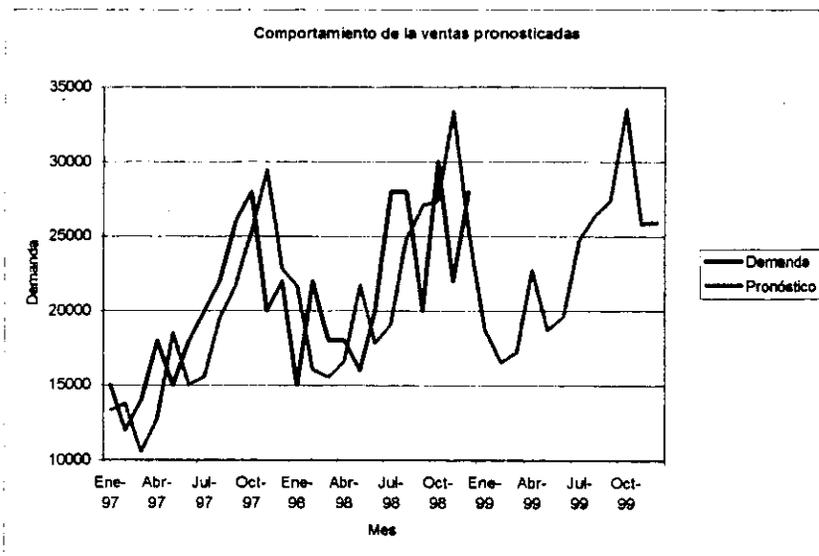
$$\alpha_0 = 0.10 \quad \beta_0 = 0.05 \quad \gamma_0 = 0.25$$

Por lo que, a partir de estos datos se puede pronosticar el año de 1999, con menor riesgo de error, ya que los valores de los factores de suavizamiento obtenidos después de aplicar el control, representan con mayor confiabilidad el comportamiento histórico de las ventas.

A continuación se presenta el pronóstico para 1999:

Tabla 5.3.2.13. Pronóstico de 1999

Mes	Pronóstico
Ene-99	18677.792
Feb-99	16533.254
Mar-99	17200.48
Abr-99	22719.406
May-99	18682.544
Jun-99	19630.66
Jul-99	24797.914
Ago-99	26410.162
Sep-99	27385.107
Oct-99	33532.705
Nov-99	25817.385
Dic-99	25915.869

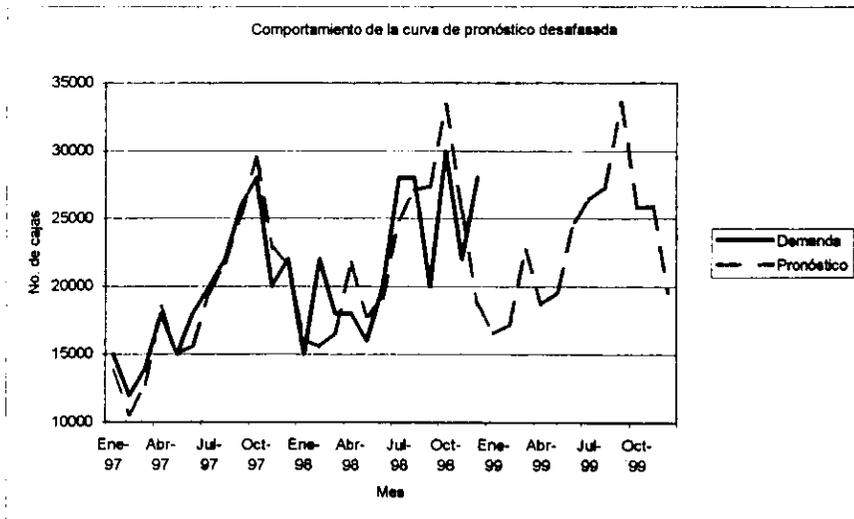


Gráfica 5.3.2.13. Comportamiento del pronóstico respecto a la demanda real.

Como se puede observar en la gráfica, los valores pronosticados se encuentran un poco desfasados de la curva del valor real, aproximadamente mes, es por ello que el pronosticador debe decidir cuando y cuanto debe de desplazar la curva de los pronósticos. En este caso, es conveniente desplazar la curva hacia la izquierda solamente un mes, quedando el pronóstico para 1999 con los siguientes valores:

Tabla 5.3.2.14. Pronóstico ajustado.

Mez.	Pronóstico
Ene-99	16533
Feb-99	17200
Mar-99	22719
Abr-99	18683
May-99	19631
Jun-99	24798
Jul-99	26410
Ago-99	27385
Sep-99	33533
Oct-99	25817
Nov-99	25916
Dic-99	19592



Gráfica 5.3.2.15. Comportamiento del pronóstico ajustado respecto a la demanda real

En este último gráfico la curva del pronóstico se acerca más a la curva de la demanda, aunque a medida que va transcurriendo el tiempo el desfasamiento se va ir

acentuando más, por lo que es conveniente hacer una revisión periódica al modelo de pronóstico, para volver a estimar los valores iniciales de la curva y así, presentar el menor porcentaje de error.

5.4 Análisis del tipo de inventario.

En este caso real, la demanda que presenta la compañía Papelera S.A. es representada a través de un patrón cíclico, donde la demanda pico se presenta entre los meses de Agosto y Octubre.

Es por ello, que se debe de utilizar un control de inventario efectivo que permita satisfacer la demanda de los meses pico, sin tener un superávit en los meses en que el producto sea menos solicitado.

Como se mencionó en el Capítulo 2, el tipo de inventario que se adapta a estas características es el **inventario de revisión periódica**, el cual tiene como objetivo determinar el tamaño del lote a ordenar de acuerdo a la demanda del periodo anterior.

Debido a que la materia prima principal que se utiliza en la elaboración de las cajas es el cartón corrugado, la empresa no se enfrenta al problema de caducidad, ya que el periodo de vida del cartón corrugado en condiciones satisfactorias es de dos a tres años. Entendiéndose como ambiente satisfactorio un bajo porcentaje de humedad dentro del almacén, en este caso la compañía Papelera S.A. presenta el porcentaje de humedad deseable sin necesidad de un equipo ambientador, ya que se encuentra ubicada en el estado de Jalisco, el cual, se caracteriza por poseer un clima seco. Este mismo planteamiento se aplica para el inventario de producto terminado.

Como se mencionó en el planteamiento del problema el 40% de los clientes de la empresa son dos compañías de tequila, mientras que el otro 60% incluye compañías productoras de tequila, cerveza y otros artículos, por lo que se podría concluir que aproximadamente el 60% o más de la producción total son cajas para tequila. Es por ello que el siguiente análisis solamente considerará la producción de cajas para tequila.

1. Estimación de los valores iniciales.

En este punto se determina la cantidad económica a ordenar inicial para determinar el lapso de revisión así como el punto de reorden, posteriormente, dependiendo de la demanda que se va teniendo durante el ciclo, la cantidad de materia prima a ordenar va ir variando con el tiempo.

Debido a que la demanda se va incrementado con el tiempo es necesario realizar una análisis al final de cada ciclo pronosticado, en este caso cada ciclo tiene una duración de un año. Para determinar el nivel de inventario del año pronosticado se tiene que la demanda total de 1999 es de $D = 278218$ cajas por lo que la demanda mensual promedio es de $d = 23185$ cajas.

Considerando que para producir una caja con la medidas estándares para almacenar botellas de tequila se necesitan 300 gr de cartón corrugado resistente, se tiene que:

Tabla 5.4.1. Kilogramos de cartón corrugado al año

Lapso de tiempo	No. de cajas	Kg de cartón
1 año (1999)	278218	83465
Promedio mensual	23185	6955

Tomando en cuenta que el cartón corrugado tiene un precio (c) de \$8.80 por kilogramo y que el costo total anual de mantener el inventario (i) es de 22%, mientras que el costo por ordenar (A) es de \$250 por orden (este costo incluye los costos de personal y material involucrados), se tiene que la cantidad óptima por ordenar es:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{i(c)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 250 \cdot 83465}{(8.8 \cdot 22)}} = 4642.84 \text{ Kg. / orden} \\ = 4600 \text{ Kg / orden}$$

Se decidió tomar el centenar próximo menor al valor de Q^* debido a que se producen cajas de menor tamaño, las cuales requieren de menor cantidad de cartón para su producción.

El valor óptimo para la revisión periódica es:

$$T^* = Q^* / D = 4600 / 83465 = 0.0551 \text{ años} \\ = 2.8658 \text{ semanas} \approx 3 \text{ semanas}$$

teniendo el tiempo de entrega promedio $\tau = 3$ semanas, la demanda promedio por semana es de $83465 / 52 = 1605.09 \text{ Kg por semana}$.

Obteniendo el punto de reorden por medio del método de inventario por revisión periódica analizado en el capítulo dos se tiene,

$$R = D\tau = 83465 \cdot 0.0576 = 4807.58 \approx 4800 \text{ Kg.}$$

De acuerdo a estos resultados obtenidos se tiene, que el periodo de revisión del inventario es cada tres semanas, si en alguna de estas revisiones el nivel es menor o igual al punto de reorden $R = 4800$ Kg es necesario solicitar una orden de Q .

Debido que la demanda mensual promedio de cartón es de 23185 cajas al mes con una variación de 5029 cajas es necesario tener un stock de 8464 Kg de cartón corrugado máximo con el punto de reorden mencionado.

2. Determinación de la cantidad óptima a ordenar en cada revisión, de acuerdo a la demanda pronosticada.

El tiempo de entrega promedio de la materia prima es de 3 semanas, en algunas ocasiones el proveedor tarda hasta una semana más para cumplir con el pedido, es por ello que para determinar la cantidad a ordenar en el momento de la revisión se tomará como que el tiempo de entrega es mayor que el periodo de revisión. Por lo que la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$Q_i = M - [Q(T_i) + O(T_i)]$$

$$\begin{array}{l} \text{Cantidad a} \\ \text{ordenar en el} \\ \text{momento de la} \\ \text{revisión} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Inventario} \\ \text{máximo} \\ \text{deseado} \end{array} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Inventario} \\ \text{disponible en} \\ \text{el momento} \\ \text{de la revisión} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Inventario} \\ \text{ordenado} \\ \text{pero aún} \\ \text{no} \\ \text{recibido} \end{array} \right\}$$

De acuerdo a los pronosticados en 1999, cada mes tiene una demanda distinta, suponiendo que la tasa de producción semanal es igual a la demanda mensual seleccionada entre las semanas correspondientes, se tiene que la tasa de producción de las cajas va a variar cada mes.

Se tomará como año laboral un periodo de 48 semanas, debido a que la empresa da dos semanas de vacaciones a los trabajadores, una semana de mantenimiento preventivo y una semana de días feridos. Por lo que cada mes va a ser comprendido por cuatro semanas. A continuación se presenta la demanda semanal promedio para cada mes:

Tabla 5.4.2. Demanda semanal promedio.

Mes	Demanda mensual (d)	Demanda semanal (ds) ds = d / 4
Enero	16533	4133
Febrero	17200	4300
Marzo	22719	5680
Abril	18683	4671
Mayo	19631	4908
Junio	24798	6199
Julio	26410	6603
Agosto	27385	6846
Septiembre	33533	8383
Octubre	25817	6454
Noviembre	25916	6479
Diciembre	19592	4898

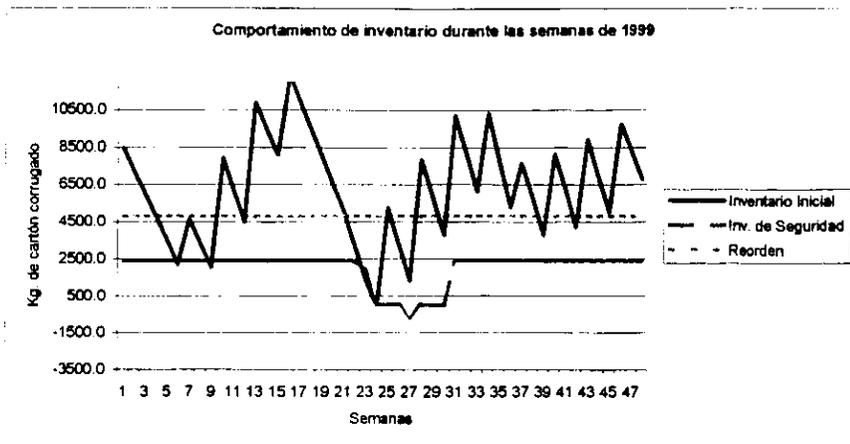
La empresa tiene como política poseer un inventario de seguridad de 1 semana y media que son 2400 Kg de cartón corrugado. Cuando la materia prima se agota en el inventario de producción se toma del inventario de seguridad, pero cuando la empresa recibe un cargamento nuevo de cartón trata de reabastecer el inventario de seguridad lo antes posible.

La siguiente tabla muestra el comportamiento del inventario en cada semana del año, cabe mencionar que la solicitud de una nueva orden al proveedor se realiza al final de la semana, mientras que la recepción de la materia prima se realiza al comienzo de la semana.

Comportamiento semanal del inventario con un inventario de seguridad constante

Semana	Demanda (kg)	Demanda (kg)	Demanda (kg)	Demanda (kg)	Inventario de Seguridad (kg)	Reserva	Q	Entrega de Q	Costos reabastecidos
1	4133	1239.9	8464.0	7224.1	2400.0				0.0
2	4133	1239.9	7224.1	5984.2	2400.0				0.0
3	4133	1239.9	5984.2	4744.3	2400.0	1	3719.7		0.0
4	4133	1239.9	4744.3	3504.4	2400.0				0.0
5	4300	1290.0	3504.4	2214.4	2400.0				0.0
6	4300	1290.0	2214.4	924.4	2400.0	2	7539.6	3719.7	0.0
7	4300	1290.0	4644.1	3354.1	2400.0				0.0
8	4300	1290.0	3354.1	2064.1	2400.0				0.0
9	5680	1704.0	2064.1	360.1	2400.0	3	8103.9	7539.6	0.0
10	5680	1704.0	7899.7	6195.7	2400.0				0.0
11	5680	1704.0	6195.7	4491.7	2400.0				0.0
12	5680	1704.0	4491.7	2787.7	2400.0	4	5676.3	8103.9	0.0
13	4671	1401.3	10891.6	9490.3	2400.0				0.0
14	4671	1401.3	9490.3	8089.0	2400.0				0.0
15	4671	1401.3	8089.0	6687.7	2400.0	5	0.0	5676.3	0.0
16	4671	1401.3	12364.0	10962.7	2400.0				0.0
17	4908	1472.4	10962.7	9490.3	2400.0				0.0
18	4908	1472.4	9490.3	8017.9	2400.0	6	0.0	0.0	0.0
19	4908	1472.4	8017.9	6545.5	2400.0				0.0
20	4908	1472.4	6545.5	5073.1	2400.0				0.0
21	6199	1859.7	5073.1	3213.4	2400.0	7	5250.6	0.0	0.0
22	6199	1859.7	3213.4	1353.7	2400.0				0.0
23	6199	1859.7	1353.7	0.0	1894.0				0.0
24	6199	1859.7	0.0	0.0	34.3	8	8464.0	5260.6	0.0
25	6603	1980.9	5260.6	3279.7	34.3				0.0
26	6603	1980.9	3279.7	1298.8	34.3				0.0
27	6603	1980.9	1298.8	0.0	-647.8	9	10864.0	8464	2159
28	6603	1980.9	7816.2	5835.3	0.0				0.0
29	6846	2053.8	5835.3	3781.5	0.0				0.0
30	6846	2053.8	3781.5	1727.7	0.0	10	6736.3	10864.0	0.0
31	6846	2053.8	10191.7	8137.9	2400.0				0.0

Semana	Demanda	Costo de Caducidad (Cajones)	Costo de Entrega (Cajones)	Costo de Seguridad (Cajones)	Costo de Reservas	Q	Entrega de Q	Cajones rebusadas
32	6846	2053.8	8137.9	6084.1	2400.0			0.0
33	8383	2514.9	6084.1	3569.2	2400.0	11	4894.8	6736.3
34	8383	2514.9	10305.5	7790.6	2400.0			0.0
35	8383	2514.9	7790.6	5275.7	2400.0			0.0
36	8383	2514.9	5275.7	2760.8	2400.0	12	5703.2	4894.8
37	6454	1936.2	7655.6	5719.4	2400.0			0.0
38	6454	1936.2	5719.4	3783.2	2400.0			0.0
39	6454	1936.2	3783.2	1847.0	2400.0	13	6617.0	5703.2
40	6454	1936.2	8103.2	6167.0	2400.0			0.0
41	6479	1943.7	6167.0	4223.3	2400.0			0.0
42	6479	1943.7	4223.3	2279.6	2400.0	18	6184.4	6617.0
43	6479	1943.7	8896.6	6952.9	2400.0			0.0
44	6479	1943.7	6952.9	5009.2	2400.0			0.0
45	4898	1469.4	5009.2	3539.8	2400.0	19	4924.2	6184.4
46	4898	1469.4	9724.2	8254.8	2400.0			0.0
47	4898	1469.4	8254.8	6785.4	2400.0			0.0
48	4898	1469.4	6785.4	5316.0	2400.0	20	0.0	4924.2



Gráfica 5.2.3. Comportamiento del inventario durante el transcurso del año.

Como se puede observar en la gráfica y en la tabla solamente existen 1 semanas durante todo el año donde no se puede cumplir la demanda esperada, por el que el porcentaje de incumplimiento al cliente es de 1.92%, el cual es muy inferior al que se esta manejando actualmente.

1. Análisis costo - beneficio de la nueva propuesta de inventario de materia prima.

La nueva propuesta de inventario trae consigo un nivel de servicio de 98.07%. Aunque este porcentaje es permisible, es importante verificar cual es la opción más conveniente tanto para el cliente como para el empresario, es decir, que el cliente obtenga su pedido en el menor tiempo posible y que el empresario no salga perdiendo dinero por ello. Es en este punto donde se decide de acuerdo a los costos que opción es la más conveniente

Una opción para tener un mayor porcentaje de servicio es aumentar el nivel de inventario de seguridad en las temporadas altas, que son en los meses de julio a noviembre (como se vio en el paso de análisis de la demanda). Debido a que se posee el pronóstico de todo el año, se puede determinar que el inventario de seguridad en esta temporada debe de aumentar de 2400 a 4000 Kg de cartón corrugado, para satisfacer la demanda.

Dichos kilogramos se deben de solicitar en la primera revisión del mes de junio, que en este caso es la revisión número 7, para recibir el envío de materia prima antes

de que se presente el incremento de la demanda, es decir en la semana 24. En la primera semana de diciembre se debe de regresar el inventario de seguridad a 2400 Kg, ya que la curva de la demanda empieza a disminuir.

Como se ve en la siguiente tabla el nivel de servicio es de 100%, por lo que todos los pedidos pronosticados para 1999 pueden ser realizados.

El aumento de inventario no solamente trae consigo una mayor seguridad para satisfacer los pedidos, sino, también se da un aumento en los costos de almacén. En este caso, el haber aumentado la compra de 1600 Kg extra para el inventario de seguridad trae consigo un aumento en los costos de \$14080 por la adquisición de la materia prima (A).

El costo total anual por mantener el inventario (i) es de 22%, por lo que el costo mensual (i₁) es de:

$$i_1 = 22/12 = 1.833\%$$

Por lo que el costo por mantener el inventario por los 4 meses que estuvo en el almacén es de:

$$h = 1600 * 8.8 * 5 * 0.0183 = \$1288.32$$

El costo de oportunidad (ϕ) es igual a la cantidad de dinero que se pago por la materia prima por el rendimiento anual (10.5%) que se tiene si este dinero se encontrara en el banco:

$$\phi = 1600 * 8.8 * 5 * (0.105/12) = \$616$$

El costo total de tener este inventario extra durante 4 meses es de:

$$CT = A + h + \phi = 14080 + 1288.32 + 616 = \$15984.32$$

Por lo que, pagando \$15984.32 pesos extras cada año, el nivel de servicio que tendrá la empresa es del 100%.

Por otro lado, si la empresa decide tener una semana o más de retraso con sus clientes, puede ocurrir que los compradores decidan irse con otro proveedor de cajas o penalizar el precio dado, dando como consecuencia la perdida por faltante.

En este caso la mayoría de los clientes permite hasta dos semanas de retraso en cada pedido, pero pasando este tiempo deciden adquirir las cajas con otro proveedor. Es por ello que el costo por faltante será igual al precio de venta de los no vendido. La empresa Papelera S. A. da descuento por cantidad a sus clientes teniendo los siguientes rangos:

Comportamiento del inventario con un inventario de seguridad variable

Orden	Demanda	Costo de Pedido	Costo de Mantenimiento	Costo de Exceso de Inventario	Costo de Seguridad	Reorder Point	Q	Entrega de Q	Cajas Usadas
1	4133	1239.9	8464.0	7224.1	2400.0				0.0
2	4133	1239.9	7224.1	5984.2	2400.0				0.0
3	4133	1239.9	5984.2	4744.3	2400.0	1	3719.7		0.0
4	4133	1239.9	4744.3	3504.4	2400.0				0.0
5	4300	1290.0	3504.4	2214.4	2400.0				0.0
6	4300	1290.0	2214.4	924.4	2400.0	2	7539.6	3719.7	0.0
7	4300	1290.0	4644.1	3354.1	2400.0				0.0
8	4300	1290.0	3354.1	2064.1	2400.0				0.0
9	5680	1704.0	2064.1	360.1	2400.0	3	8103.9	7539.6	0.0
10	5680	1704.0	7899.7	6195.7	2400.0				0.0
11	5680	1704.0	6195.7	4491.7	2400.0				0.0
12	5680	1704.0	4491.7	2787.7	2400.0	4	5676.3	8103.9	0.0
13	4671	1401.3	10891.6	9490.3	2400.0				0.0
14	4671	1401.3	9490.3	8089.0	2400.0				0.0
15	4671	1401.3	8089.0	6687.7	2400.0	5	0.0	5676.3	0.0
16	4671	1401.3	12364.0	10962.7	2400.0				0.0
17	4908	1472.4	10962.7	9490.3	2400.0				0.0
18	4908	1472.4	9490.3	8017.9	2400.0	6	0.0	0.0	0.0
19	4908	1472.4	8017.9	6545.5	2400.0				0.0
20	4908	1472.4	6545.5	5073.1	2400.0				0.0
21	6199	1859.7	5073.1	3213.4	2400.0	7	6850.6	0.0	0.0
22	6199	1859.7	3213.4	1353.7	2400.0				0.0
23	6199	1859.7	1353.7	0.0	1894.0				0.0
24	6199	1859.7	0.0	0.0	34.3	8	8464.0	6850.6	0.0
25	6603	1980.9	5250.6	3269.7	1634.3				0.0
26	6603	1980.9	3269.7	1288.8	1634.3				0.0
27	6603	1980.9	1288.8	0.0	942.2	9	10864.0	8464.0	0.0
28	6603	1980.9	7816.2	5835.3	942.2				0.0
29	6846	2053.8	5835.3	3781.5	942.2				0.0
30	6846	2053.8	3781.5	1727.7	942.2	10	6736.3	10864.0	0.0
31	6846	2053.8	9533.9	7480.1	4000.0				0.0

Demanda Dem. de Cajas	Dem. de Cajas (kg)	Dem. de Cajas (kg)	Dem. de Cajas (kg)	Dem. de Cajas (kg)	Dem. de Cajas (kg)	Dem. de Cajas (kg)	Dem. de Cajas (kg)	Dem. de Cajas (kg)	Dem. de Cajas (kg)	Dem. de Cajas (kg)	Dem. de Cajas (kg)	Dem. de Cajas (kg)
32	6846	2053.8	7480.1	5426.3	4000.0							
33	8383	2514.9	5426.3	2911.4	4000.0	11	5552.6	6736.3				0.0
34	8383	2514.9	9647.7	7132.8	4000.0							0.0
35	8383	2514.9	7132.8	4617.9	4000.0							0.0
36	8383	2514.9	4617.9	2103.0	4000.0	12	6361.0	5552.6				0.0
37	6454	1936.2	7655.6	5719.4	4000.0							0.0
38	6454	1936.2	5719.4	3783.2	4000.0							0.0
39	6454	1936.2	3783.2	1847.0	4000.0	13	6617.0	6361.0				0.0
40	6454	1936.2	10361.0	8424.8	4000.0							0.0
41	6479	1943.7	8424.8	6481.1	4000.0							0.0
42	6479	1943.7	6481.1	4537.4	4000.0	18	3926.6	6617.0				0.0
43	6479	1943.7	11154.4	9210.7	4000.0							0.0
44	6479	1943.7	9210.7	7267.0	4000.0							0.0
45	4898	1469.4	8867.0	7397.6	2400.0	19	0.0	6184.4				0.0
46	4898	1469.4	13582.0	12112.6	2400.0							0.0
47	4898	1469.4	12112.6	10643.2	2400.0							0.0
48	4898	1469.4	10643.2	9173.8	2400.0	20	0.0	0.0				0.0

Tabla 5.2.4. Rango de precios de las cajas.

Cantidad de cajas	Precio
1 - 100	\$15.08
101 - 1000	\$13.97
1001- 5000	\$12.85
5001 - 10000	\$11.73
10000 – en adelante	\$10.89

Por lo que el precio promedio ponderado es:

Tabla 5.2.5. Precio ponderado.

Cantidad de cajas	Precio	n	n * precio
1 - 100	\$ 15.08	100	\$ 1,508
101 - 1000	\$ 13.97	1000	\$ 13,970
1001- 5000	\$ 12.85	5000	\$ 64,250
5001 - 10000	\$ 11.73	10000	\$ 117,300
10000 – en adelante	\$ 10.89	25000	\$ 272,250
Total		41100	\$ 469,278
Precio promedio ponderado			\$ 11.42

Como se vio en la tabla 1 existe un retraso de 11674 cajas al año, considerando que los clientes deciden comprar con otro proveedor, el costo por faltante (π) es de:

$$\pi = 2159 * 11.42 = \$24655.78$$

El costo por tener un nivel de servicio de 98.07% es más alto que el costo de mantener un servicio del 100%, aunque la diferencia no es muy significativa.

Para la compañía Papelera S.A. sería conveniente mantener el inventario de seguridad de 4000 Kg de cartón durante la temporada alta, ya que los 1600 kilogramos extras no traen consigo un costo mayor, además el espacio que requiere este inventario es mínimo.

5.6 Aplicación de los sistemas de producción integrados

El análisis anterior presenta los diferentes pasos que realiza un sistema de producción integrado para obtener la solución óptima del problema.

Los beneficios que proporciona un sistema de producción integrado son, facilitar el cálculo de la solución óptica, ya que como se vio en todo este análisis, es necesario que el pronosticador posea antecedentes de cálculo y matemáticas. Otro beneficio de estos sistemas es el tiempo de respuesta que se puede proporcionar, ya que con solo introducir la información requerida al sistema, éste da la solución y en algunos casos este tipo de sistemas ofrece la opción de simulación de las ventas.

En este trabajo se utiliza el sistema de computación llamado **QS Estadístico**, el cual tiene como objetivo facilitar al operador el uso del este sistema. Un inconveniente que posee dicho paquete es que los parámetros del pronóstico son dados por el mismo operador, por lo que si dichos parámetros son erróneos, la solución obtenida van a contener un gran porcentaje de error.

Este tipo de paquetes de computación no da solamente el pronóstico del rubro deseado, sino también maneja tres valores diferentes que ayudan a evaluar los parámetros del pronóstico introducidos por el operador. Estos valores son:

MAD: desviación absoluta

MSD: desviación al cuadrado

R² : coeficiente de correlación

De acuerdo al resultado de estos tres valores, el operador va evaluando los parámetros del pronóstico, de tal manera que se tenga el mínimo error.

A continuación se muestran los valores obtenidos por el sistema QS Estadístico utilizando los siguientes valores: $\alpha_0 = 0.10$ $\beta_0 = 0.05$ $\gamma_0 = 0.25$, para el cálculo de pronóstico de ventas de 1999.

De las gráficas que se presentan en las siguientes páginas se puede concluir que la desviación absoluta es de 4189.728 cajas de cartón por mes, es un rango aceptable, ya que las cajas que vayan sobrando se pueden almacenar para los meses de producción alta, que es el último trimestre del año. Por otro lado en esta ejercicio solamente se está manejando los clientes que se tienen actualmente, más no la posible demanda que se puede presentar en el futuro, por lo que si llega un nuevo contrato la Compañía Papelera, puede proveer pedidos pequeños emergentes. En el caso de que se de un cliente con una demanda alta, se emplea nuevamente el QS estadístico, para determinar la cantidad de producción de cajas que se debe de producir, así como los recursos necesarios para alcanzar dicha producción.

Winter's model for tesis1

Period	Act. Demand	F(t)	T(t)	I(t)	Forecast	Error
1	12000	12000	0	.7384616		
2	8000	11600	-20	.4923077	12000	4000
3	10000	11422	-27.9000	.6153846	11580	1580
4	18000	12054.69	5.129473	1.107692	11394.10	-6605.90
5	14000	12253.84	14.83037	.8615385	12059.82	-1940.18
6	10000	12041.80	3.486999	.6153846	12268.67	2268.667
7	16000	12440.76	23.26055	.9846154	12045.29	-3954.71
8	18000	13017.62	50.94045	1.107692	12464.02	-5535.98
9	20000	13761.70	85.59763	1.230769	13068.56	-6931.44
10	27000	15162.57	151.3611	1.661538	13847.30	-13152.7
11	24000	16182.54	194.7914	1.476923	15313.93	-8686.07
12	18000	16539.59	202.9048	1.107692	16377.33	-1622.67
13	15000	17099.50	220.7548	.7791318	12363.69	-2636.31
14	12000	18025.73	256.0284	.5398033	8526.894	-3473.11
15	14000	18728.58	278.3697	.6534347	11250.31	-2749.69

MAD = 4189.728 MSD = 293E05 Bias = -1356.14 R-square = 0
 $\hat{\alpha}$ (alpha)= 0.100 $\hat{\beta}$ (beta)= 0.050 $\hat{\gamma}$ (gamma)= 0.250

Winter's model for tesis1

Period	Act. Demand	F(t)	T(t)	I(t)	Forecast	Error
16	18000	18731.25	264.5849	1.079295	21053.85	3053.852
17	15000	18837.33	256.6593	.8517652	16365.65	1365.646
18	18000	20109.59	307.4394	.6906138	11750.15	-6249.85
19	20000	20406.57	306.9167	.9910886	20102.92	102.9199
20	22000	20628.25	302.6548	1.105883	22944.18	944.1758
21	26000	20950.31	303.6252	1.242876	25761.12	-238.883
22	28000	20813.73	281.6147	1.594712	35314.24	7314.238
23	20000	20339.98	243.8462	1.363984	31156.20	11156.20
24	22000	20511.55	240.2326	1.107412	22800.54	800.5430
25					16168.38	
26					11331.56	
27					13873.89	
28					23175.13	
29					18494.13	
30					15161.01	

MAD = 4189.728 MSD = 293E05 Bias = -1356.14 R-square = 0
 $\hat{\alpha}$ (alpha)= 0.100 $\hat{\beta}$ (beta)= 0.050 $\hat{\gamma}$ (gamma)= 0.250

Winter's model for tesis1

Period	Act. Demand	F(t)	T(t)	I(t)	Forecast	Error
31					21995.41	
32					24808.73	
33					28180.52	
34					36541.04	
35					31581.84	
36					25907.17	

MAD = 4189.728 MSD = 293E05 Bias = -1356.14 R-square = 0
 $\hat{\alpha}$ (alpha) = 0.100 $\hat{\beta}$ (beta) = 0.050 $\hat{\gamma}$ (gamma) = 0.250

Conclusiones.

El cambio que ha sufrido el mercado en los últimos años ha traído como consecuencia, la reducción del ciclo de vida de los productos, la mejora del nivel de calidad y de servicio a los clientes y el desarrollo de nuevas tecnologías flexibles que permitan cambiar el proceso de producción y administración de una empresa en el menor tiempo posible. Es por ello que la nueva misión de las empresas involucra la satisfacción tanto del cliente como de la empresa, la confianza del proveedor y la mejora de la calidad de vida de los trabajadores.

Para lograr la conjunción de estas tres metas, la ingeniería industrial con ayuda de otras ciencias, se ha enfocado a desarrollar sistemas de producción que permitan a las empresas sobrevivir y superar estos cambios, sin tener que disminuir su participación en el mercado.

Estos nuevos sistemas, denominados sistemas de producción integrados, se encuentran conformados con la teoría de las herramientas de la ingeniería industrial que se utilizaban a mediados de los años 60's y la tecnología de los últimos años, como son el caso de los robots en la industria automotriz y el internet en la industria de servicios y manufactura.

Aproximadamente el 50% de las empresas que han implementado los sistemas de producción integrados han fracasado, esto se debe a que la mayoría de las ocasiones no se cuenta con la información fidedigna que requiere el sistema o la empresa no sabe como relacionar esta información entre los diferentes departamentos o no le da prioridad a algunos áreas que son fundamentales para el buen funcionamiento del sistema.

Esta tesis demuestra que tanto el pronóstico como el inventario son parte fundamental de una empresa para tener éxito si desea implantar un sistema de producción integrado, debido que el pronóstico se encarga de estudiar el comportamiento de la demanda, que es la razón de ser de la empresa, y ayuda a planear las actividades a realizar para satisfacer al cliente con el menor retraso posible.

Si el pronóstico es deficiente, es decir que de un margen de error alto y que no se le este actualizando constantemente, puede traer como consecuencia inventarios altos o bajos, mala programación de la producción, deficiencia en el tiempo de entrega, altos costos por mantener el material almacenado, etc. Es por ello que se requiere de personal que posea la experiencia y sensibilidad necesaria para poder determinar la cantidad de lo que se estima vender en un periodo futuro.

Actualmente se han desarrollado paquetes de computación, software, que permite calcular el patrón de la demanda en le futuro, estos paquetes solamente darán resultados óptimos si los datos que se van introduciendo al software son correctos.

A los inventarios se le debe de dar misma importancia que al pronóstico ya que representan aproximadamente el 25% del capital de la empresa. Un inventario mal administrado puede dar como consecuencia una elevación de los costos o la obsolescencia de los materiales. Muchas de la micro y pequeña industrias que existen dentro de México presentan muchos problemas con los inventarios, ya que en la mayoría de las ocasiones se compra materiales de más o se tienen productos descontinuados, que los empresarios almacenan porque creen que se pueden utilizar en un futuro, tal es el extremo, que hay compañías que tienen inventario de desperdicios.

El problema de los inventarios es tan grande, que ha habido empresas que han tenido que adquirir un mayor espacio para poderlos almacenar, cuando en realidad la demando de tales productos va en disminución. Este problema es causado por diferentes razones que son: un mal flujo de información entre los diferentes departamentos, un mal pronóstico de la demanda, descuentos por parte de los proveedores o la implantación de un sistema de inventario erróneo.

De lo anterior, se concluye que tanto el pronóstico como el inventario mal estudiado pueda traer como consecuencia altos costos para la empresa o hasta su fracaso.

Lo más importante de un sistema de producción integrado es la relación que se da entre los diferentes departamentos, ya que existe un dependencia mutua entre ellos, debido a que se tiene un intercambio de información. De acuerdo al diagrama de flujo de información que se describió en el capítulo 5, tanto el pronóstico como el inventario forman parte de la base se un sistema integrado, el no comprenderlos tanto de forma independiente como de forma dependiente, llevaría a la empresa a una mala planeación del sistema.

La relación que existe entre estas dos áreas es la demanda, el no hacer un buen análisis de comportamiento de ésta en el tiempo, daría como consecuencia una mala planeación del sistema de producción e inventario, ya que se tiene como resultado datos erróneos. Al saber el tipo de demanda, tanto el sistema de pronóstico como el de inventario se relacionan entre sí para poder determinar cuanto y cuando se debe de

comprar materiales, de acuerdo al comportamiento de la ventas estimadas y las condiciones de entrega que tiene el proveedor.

Para realizar un estudio de las componentes de la demanda de manera minuciosa se deben de considerar por lo menos dos ciclos de datos históricos, ya que se puede presentar patrones repetitivos en cada ciclo. Al conocer el comportamiento de la demanda, se puede aprovechar mejor las herramientas de ingeniería industrial para poder determinar las causas de dicha curva. Las pequeñas empresas no necesita paquetes de computación costosos para poder analizar la demanda, simplemente con una tabla de excell que permita graficar y correlacionar todos los datos disponibles para determinar el patrón, de hecho, el personal de la misma empresa puede realizar un programa de computación que realice esta labor.

De esta tesis se puede concluir que para la implantación de cualquier sistema de producción integrado se debe de analizar perfectamente bien la demanda para poderla relacionar con dos temas bases de cualquier sistema: pronóstico e inventarios. Además, se ha demostrado que para llegar a este análisis no se requiere de herramientas costosas para hacerlo, sino de conocer las bases fundamentales tanto de los pronósticos como de los inventarios, para así poder escoger el modelo que más se asemeje a la demanda y a las condiciones que se tienen y así lograr una implantación del sistema de producción con la menor incertidumbre posible.

APENDICE A

En este apéndice se realiza el desarrollo de las expresiones para obtener el pronóstico en el modelo de suavizamiento exponencial doble

El concepto de suavizamiento exponencial puede ser utilizado en algunos casos donde el proceso de demanda cambia en el tiempo. Uno de esos casos ocurre cuando el proceso tiene cambios lineales con el tiempo de acuerdo al siguiente modelo:

$$x_t = b_1 + b_2 t + \varepsilon_t$$

donde la demanda esperada en el tiempo t es una función lineal de t

$$E(x_t | t) = b_1 + b_2 t$$

y ε_t es un componente aleatorio, teniendo $E(\varepsilon_t) = 0$ y $V(\varepsilon_t) = \sigma^2_\varepsilon$. Por lo que la variancia de la demanda es σ^2_ε , la cual se asume va ser constante en el tiempo.

Si el modelo se suaviza miento exponencial simple es aplicado a observaciones de un proceso lineal, nosotros obtenemos al final del periodo T

$$S_T = \alpha x_T + [1 - \alpha] S_{T-1}$$

Teniendo por conveniencia $\beta = 1 - \alpha$

$$S_T = \alpha \sum_{k=0}^{T-1} \beta^k x_{T-k} + \beta^T S_0$$

Tomando los valores esperados,

$$E(S_T) = \alpha \sum_{k=0}^{T-1} \beta^k E(x_{T-k}) + \beta^T S_0$$

$$E(S_T) = \alpha \sum_{k=0}^{T-1} \beta^k [b_1 + b_2 (T - k)] + \beta^T S_0$$

Si $T \rightarrow \infty$, $\beta^T = 0$, obtenemos

$$E(S_T) = [b_1 + b_2 T] \alpha \sum_{k=0}^{T-1} \beta^k - b_2 \alpha \sum_{k=0}^{\infty} k \beta^k$$

$$E(S_T) = b_1 + b_2 T + (\beta/\alpha) b_2$$

Teniendo que $E(x_T) = b_1 + b_2 T$, tenemos

$$E(S_T) = E(x_T) - (\beta/\alpha) b_2 \quad \dots\dots(1)$$

Esto muestra que, para un modelo lineal, el valor esperado del suavizamiento exponencial de primer orden S_T va a tender a retrasarse en el proceso por una cantidad igual a $(\beta/\alpha) b_2$.

Ahora, suponiendo que se aplica un operador de suavizamiento exponencial al resultado de S_T . Da como resultado,

$$S^2_T = \alpha S_T + [1 - \alpha] S^2_{T-1}$$

Donde la notación S^2_T implica suavizamiento exponencial doble o suavizamiento exponencial de segundo orden, no el cuadrado del suavizamiento exponencial simple.

Teniendo que el valor esperado del suavizamiento doble es,

$$E(S^2_T) = E(S_T) - (\beta/\alpha) b_2$$

por lo tanto,

$$b_2 = \alpha\beta [E(S_T) - E(S^2_T)] \quad \dots\dots(2)$$

parece lógico estimar b_2 al final del periodo T,

$$\hat{b}_2(T) = \alpha\beta (S_T - S^2_T) \quad \dots\dots(3)$$

La demanda esperada al final del periodo T se obtiene de la ecuación (1) y (2), dando:

$$E(x_T) = E(S_T) + [(\beta/\alpha) (\alpha\beta) [E(S_T) - E(S^2_T)]]$$

$$E(x_T) = 2 E(S_T) - E(S^2_T)$$

Nuevamente, una estimación razonable de $E(x_T)$ hecha al final del periodo T se

$$x_T = 2 S_T - S^2_T$$

Para un pronóstico de τ periodos en el futuro usando suavizamiento exponencial doble, se usará la ecuación,

$$\begin{aligned} x^{\wedge}_{T+\tau}(T) &= x^{\wedge}_T + \tau \hat{b}_2(T) \\ &= 2 S_T - S^2_T + [\tau (\alpha\beta) (S_T - S^2_T)] \\ &= [2 + (\alpha\tau/\beta)] S_T - [1 + (\alpha\tau/\beta)] S^2_T \end{aligned}$$

No se ha estimado la intercepción directamente. Pero es necesaria, esta se puede realizar fácilmente. En el tiempo T, se estima que a la intercepción en el origen del tiempo como,

$$\begin{aligned} \hat{b}_1(T) &= x^{\wedge}_T - T \hat{b}_2(T) \\ &= 2S_T - S^2_T - T (\alpha\beta) (S_T - S^2_T) \quad \dots\dots(4) \end{aligned}$$

Es más conveniente pensar que el origen del tiempo se encuentra al final del periodo T, por lo que la intercepción sería $E(x_T)$, que va ser denotado como $a_1(T)$ para evitar la confusión de b_1 , la intercepción donde se intercepta el origen en curso es,

$$a_1(T) = x'_{T+\tau} \\ = 2S_T - S^2_T$$

Se hace notar que,

$$a_1(T) = b_1 + Tb_2$$

La ecuación de pronóstico basada e el origen original es,

$$x'_{T+\tau} = b^*_1(T) + (T + \tau) b^*_2(T)$$

y basado en el origen en curso,

$$x_{T+\tau} = a^*_1(T) + \tau b^*_2(T)$$

Finalmente, transferir el origen del tiempo no afecta la pendiente, sola la intercepción.

En un inicio los valores doblemente suavizados deben de ser dados por S_0 y S^2_0 . Porque es difícil asignar valores directos a estas cantidades. Usualmente estas condiciones originales son obtenidas de la estimación de dos coeficientes diferentes b_1 y b_2 , que se obtienen a través de un simple análisis de regresión lineal de los datos históricos. Si no existen datos históricos representativos, es necesario estimar b_1 y b_2 subjetivamente. Dando estimaciones iniciales a $b^*_1(0)$ y $b^*_2(0)$, las ecuaciones (3) y (4) deben ser resueltas con $T=0$, para obtener los valores iniciales de suavizamiento,

$$S_0 = b^*_1(0) - (\alpha/\beta)b^*_2(0)$$

$$S^2_0 = b^*_1(0) - 2(\alpha/\beta)b^*_2(0)$$

Bibliografía.

1. SIPPER Daniel, Planeación y control de la producción, Editorial Mc. Graw Hill, 1ª edición, México, 1999.
2. SPIEGEL Murray, Estadística, Editorial Mc. Graw Hill, 2ª edición, México, 1999.
3. AGUILAR JUAREZ Isabel Patricia, El problema del inventario: con multiproductos, Tesis de maestría, DEPMI, México, 1996.
4. YOUNG Jan, Modern Inventory Operations, Editorial: Van Nostrand Reinhold, 1ª edición, México, 1991.
5. CORONEL TRUJILLO José, Modelos de suavización exponencial simple, Holt y Winter's, Tesis de Maestría, DEPMI, México, 1992.
6. FOGARTY, Administración de la producción e inventarios, Editorial CECSA, México, 1994.
7. SALVENDY Gavriel, Biblioteca del Ingeniero Industrial, Editorial Grupo Noriega editores, México, 1993.
8. EVANS James, Applied production and operations management, Editorial West, México, 1993.
9. URUCHURTU Francisco, Apuntes de Sistemas de producción avanzada, Facultad de Ingeniería – UNAM, México, 1999.
10. OYARZABAL, Apuntes de Calidad, Facultad de Ingeniería – UNAM, México, 1999.
11. MONTGOMERY Douglas, Forecasting and time series analysis, Editorial Mac. Graw Hill, 2ª edición, México, 1990.
12. NIEBEL Benjamín, Ingeniería Industrial, métodos, tiempos y movimientos, Editorial Alfaomega, México, 1995.

INTERNET

12. MAKRIDAKES. Pronóstico para uso empresario. Evaluación de las técnicas disponibles.

PAQUETE DE COMPUTACIÓN

13. QS Estadístico, IBM.