



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS Y
MANEJO DE MATERIALES EN UNA FÁBRICA DE ADHESIVOS
PARA CERÁMICAS**

Berta Eugenia Morales López
Asesorada por Inga. María del Rosario Colmenares de Guzmán

Guatemala, julio de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS Y
MANEJO DE MATERIALES EN UNA FÁBRICA DE ADHESIVOS
PARA CERÁMICAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

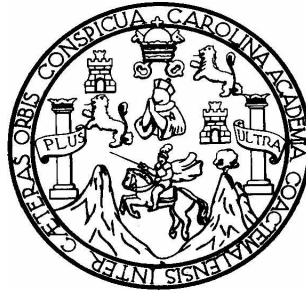
BERTA EUGENIA MORALES LÓPEZ

ASESORADA POR INGA. MARÍA DEL ROSARIO COLMENARES DE
GUZMÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA INDUSTRIAL

GUATEMALA, JULIO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Harry Milton Oxom Paredes
EXAMINADOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS Y MANEJO DE MATERIALES EN UNA FÁBRICA DE ADHESIVOS PARA CERÁMICAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial con fecha 9 junio de 2004.

Berta Eugenia Morales López

AGRADECIMIENTOS

A Dios	Guía en mi camino
A mis padres	Arnaldo Morales González y Berta Olivia López de Morales, por todo el esfuerzo que hicieron para que esto fuera posible.
A mis hermanos	José Arnaldo y Rita Virginia. Por estar siempre a mi lado
A Harold Letona	Por ser mi apoyo y ejemplo.
A mis amigos	Por su amistad, especialmente a Byron Vásquez y Juan Pablo Castillo, porque siempre me apoyaron.
A Cemix de Centroamérica	Especialmente a Carlos Álvarez, por su colaboración en la realización de este trabajo de graduación
A María Colmenares	Por su tiempo y dedicación para la asesoría de este trabajo de graduación

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII

1 ANTECEDENTES GENERALES

1.1	La empresa	1
1.1.1	Historia	1
1.1.2	Ubicación	1
1.1.3	Misión	2
1.1.4	Visión	2
1.1.5	Valores	3
1.2	Productos	3
1.2.1	Descripción general de los productos	3
1.2.2	Descripción del proceso	4
1.3	Control de inventarios	6
1.3.1	Definición	6
1.3.2	Propósitos del control de inventario	7
1.4	Clasificación de los inventarios	9
1.4.1	Materia prima	9
1.4.2	Producto en proceso	9
1.4.3	Producto terminado	9
1.5	Modelos de inventario	10

1.5.1	Niveles de inventario	10
1.5.2	Modelos para la demanda independiente	11
1.5.2.1	Modelos de cantidad fija de pedido	12
1.5.2.1.1	Modelo básico de cantidad fija de pedido	13
1.5.2.1.2	Modelo de cantidad fija de pedido durante el tiempo de producción	14
1.5.2.1.3	Modelo de cantidad fija de pedido con un nivel de servicio específico	15
1.5.2.2	Modelos de periodo de tiempo fijo	17
1.5.2.2.1	Modelo de periodo de tiempo fijo con un nivel de servicio	17
1.5.2.3	Modelos especiales	18
1.5.2.3.1	Modelo de variación en los precios	18
1.5.2.3.2	Modelos de un solo periodo	19
1.5.3	Modelos para la demanda dependiente	20
1.5.3.1	Planeación de recursos de manufactura	20
1.6	Sistemas de inventario	22
1.6.1	Sistema de reposición opcional	22
1.6.2	Sistema de dos bodegas	23
1.6.3	Sistema de una bodega	23
1.6.4	Sistema ABC	24
1.7	Procedimiento para el control de inventarios	26
1.8	Costos de los inventarios	28
1.8.1	Costo de pedido	29

1.8.2	Costo de tenencia del inventario	29
1.8.3	Costo de agotamiento de existencias	30
1.8.4	Costos asociados con la capacidad	31
1.9	Resumen de fórmulas	31
2	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA	
2.1	Proceso de control de inventarios	35
2.1.1	Descripción general	35
2.1.2	Distribución de bodegas	36
2.1.3	Equipo actual	38
2.2	Control de inventarios	38
2.2.1	Materia prima	38
2.2.2	Producto en proceso	39
2.2.3	Producto terminado	39
2.3	Análisis de proveedores	40
2.3.1	Materia prima local	40
2.3.2	Materia prima importada	41
2.4	Demanda de los productos	42
2.4.1	Demanda independiente	42
2.4.2	Demanda dependiente	44
2.5	Nivel de eficiencia de los inventarios	45
2.6	Manejo de materiales	46
3	DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIO	
3.1	Pronóstico de la demanda	49
3.1.1	Análisis de la demanda independiente	49
3.1.2	Análisis de la demanda dependiente	69
3.2	Modelo y tipo de inventario por utilizar	70
3.3	Definición de los niveles óptimos de inventario	71

3.3.1	Inventario de producto terminado	71
3.3.2	Inventario de materia prima	73
3.4	Análisis de inventario justo a tiempo	78
3.5	Redistribución del área de almacenamiento	79
3.6	Equipo necesario	80
4	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS	
4.1	Método de implementación del sistema	81
4.1.1	Definición	82
4.1.2	Características	83
4.1.3	Procedimiento	86
4.2	Beneficios esperados del nuevo sistema	88
4.3	Medición del desempeño	89
5	RETROALIMENTACIÓN PARA LA MEJORA CONTINUA	
5.1	Procedimiento para retroalimentar el sistema	91
5.1.1	Revisión del sistema	91
5.1.2	Reportes de control	92
5.2	Planeación de inventarios	92
	CONCLUSIONES	95
	RECOMENDACIONES	99
	BIBLIOGRAFÍA	101
	APÉNDICE	103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Plantas y bodegas de Cemix	2
2	Diagrama de operaciones del proceso de producción de adhesivos para cerámica	5
3	Gráfica diente de sierra	12
4	Cantidad fija de pedido durante el tiempo de producción	15
5	Cantidad fija de pedido	16
6	Período de tiempo fijo	17
7	Funcionamiento del sistema MRP	22
8	Curva de inventario ABC	24
9	Costo de inventario	29
10	Distribución de bodegas	37
11	Diagrama de recorrido de materiales	48
12	Gráfica de la demanda de productos	50
13	Diagrama de recorrido propuesto	80
14	Tarjeta de producto final	82
15	Tarjeta de materia prima	83
16	Pronóstico por demanda del último periodo	103
17	Pronóstico por promedio aritmético	105
18	Pronóstico por promedio móvil para ciclos de 3 meses	106
19	Pronóstico por promedio móvil para ciclos de 4 meses	106

20	Pronóstico por promedio móvil para ciclos de 6 meses	107
21	Pronóstico por promedio móvil ponderado para ciclos de 3 meses	109
22	Pronóstico por promedio móvil ponderado para ciclos de 4 meses	110
23	Pronóstico por promedio móvil ponderado para ciclos de 6 meses	111
24	Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A) con $\alpha = 0.1$	112
25	Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A) con $\alpha = 0.9$	113
26	Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A) con el mejor α	114
27	Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B) con $\alpha = 0.1$	116
28	Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B) con $\alpha = 0.9$	117
29	Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B) con el mejor α	118
30	Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C) con $\alpha = 0.1$	120
31	Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C) con $\alpha = 0.9$	121
32	Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C) con el mejor α	122
33	Modelo lineal	124
34	Modelo geométrico	126
35	Modelo semilogarítmico	128
36	Modelo de logaritmo inverso	130

37	Modelo hiperbólico	132
38	Modelo logarítmico	134

TABLAS

I	Demanda de productos	43
II	Consumo de materiales para adhesivos	44
III	Consumo de materiales para boquilla	44
IV	Consumo de materiales para acabados	45
V	Franja simulada, adhesivos	51
VI	Cálculos para franja simulada, adhesivos	52
VII	Cálculos para franja simulada, boquilla	53
VIII	Franja simulada boquilla	54
IX	Cálculos para franja simulada, acabados	55
X	Franja simulada, acabados	55
XI	Familia de curvas ascendente-descendente, adhesivos	57
XII	Familia de curvas ascendente-descendente, boquilla	57
XIII	Familia de curvas ascendente-descendente, acabados	58
XIV	Familia de curvas cíclicas, adhesivos	59
XV	Familia de curvas cíclicas, boquilla	61
XVI	Familia de curvas cíclicas, acabados	61
XVII	Familia de curvas combinadas, adhesivos	63
XVII	Familia de curvas combinadas, boquilla	65
XIX	Familia de curvas combinadas, acabados	66
XX	Comparación de la familia adhesivos	67
XXI	Comparación de la familia boquilla	67

XXII	Comparación de la familia acabados	68
XXIII	Pronóstico de riesgo en sacos por familia	68
XXIV	Pronóstico de riesgo en toneladas por familia	69
XXV	Planeación de requerimiento de materiales en toneladas por mes	69
XXVI	Demanda semanal promedio de productos	72
XXVII	Niveles de inventario en unidades	72
XXVIII	Matriz de requerimiento de materiales en toneladas	74
XXIX	Cálculos para la familia de curvas con crecimiento ascendente-descendente	135

LISTA DE SÍMBOLOS

Q	Tamaño del pedido
TC	Costo total
D	Demanda
C	Costo por unidad
Q_{opt}	Cantidad óptima de pedido (cantidad económica)
S	Costo de hacer un pedido
R	Punto de un nuevo pedido
L	Plazo de reposición
H	Costo anual de mantenimiento y almacenamiento por unidad de inventario
\bar{d}	Demanda promedio diaria (cte.)
L	Plazo en días (cte.)
d	Tasa de demanda (Cte.) de un artículo
p	Tasa de producción del proceso que utiliza el artículo
$Z\sigma_{T+L}$	Reserva de seguridad
P	Nivel de servicio
$E(z)$	Número previsto de unidades faltantes en cada plazo
Z	Número de desviaciones típicas para un nivel de servicio específico
σ_L	Desviación estándar de utilización durante el plazo
n	Número de días del periodo
σ_d	Desviación típica de la demanda diaria
T	Ciclo de revisión del pedido
q	Cantidad por ordenar
I	Nivel actual de inventarios, incluye artículos ordenados

MP	Utilidad resultante de la enésima unidad, si ésta se vende
ML	Pérdida resultante de la enésima unidad, si ésta no se vende
P	Probabilidad de que la unidad sea vendida
SPC	Sistema de planeación y control

GLOSARIO

Acabado	Perfeccionamiento o retoque de una obra gris.
Adhesivo	Material que tiene la capacidad de pegarse con otra cosa.
Aditivo	Que debe o puede agregarse.
Boquilla	Mezcla de cemento, aditivos y agregados que se utiliza para rellenar las juntas entre los pisos.
Emboquillar	Poner boquilla en las juntas.
Ensacar	Meter material en un saco.
Flejar	Colocar plástico u otro material alrededor de algo para protegerlo.
Kanban	Etiquetas de instrucción, utilizadas para el control de los inventarios.
Rack	Estantería.

RESUMEN

Debido al incremento de la competencia en la industria de los adhesivos, la empresa se ve en la necesidad de surtir con mayor rapidez a sus clientes y así evitar que compren productos similares. Se debe implementar un modelo de inventarios que ayude a surtir los pedidos en forma casi simultánea con su ingreso y, para lograrlo, se deberá mantener un control constante de los inventarios que permita una producción flexible que se adapte a las variaciones de la demanda.

Se analiza de forma independiente la demanda de producto terminado para calcular la cantidad óptima de pedido que en este caso es la cantidad óptima que se debe producir, y los niveles de reorden de adhesivos, boquilla y acabados. Con base en la demanda independiente, se calcula el requerimiento de materiales por medio de una matriz del mismo nombre.

Para llevar un correcto control de los niveles de inventario, se implementará un sistema de tarjetas *kanban*, que deberán adherirse a cada uno de los materiales para controlar su movimiento. Las tarjetas serán entregadas al encargado de inventarios para que registre las entradas y salidas de productos y sepa, en cualquier momento, la cantidad existente y pueda hacer, en el momento indicado, una orden de compra o de producción.

Un sistema que no tiene retroalimentación se vuelve obsoleto; por eso se definen los procedimientos de control que deberán promover la mejora continua del sistema de control de inventarios y manejo de materiales.

OBJETIVOS

- **General**

Diseñar un sistema de control de inventarios y manejo de materiales en una fábrica de adhesivos para cerámicas con el fin de satisfacer la demanda de los clientes en el momento que soliciten los productos mediante el uso de métodos cuantitativos aplicados a la producción.

- **Específicos**

- 1 Determinar el tipo de demanda del producto como referencia para la utilización del sistema de inventarios.
- 2 Evaluar los distintos modelos de inventario para seleccionar el que más se adecua a las necesidades de la empresa según las características de la misma.
- 3 Establecer los niveles óptimos de inventario para lograr reducción de los costos y una mejora en el funcionamiento de la planta de producción mediante el uso de métodos cuantitativos.
- 4 Implementar el sistema de inventarios mediante una serie de procedimientos que garanticen su correcto funcionamiento.
- 5 Determinar los beneficios que se obtendrán con la implementación del nuevo sistema.

- 6 Definir la forma en que se retroalimentará el sistema mediante el diseño de registros que lo monitoreen periódicamente para garantizar la mejora continua.

- 7 Concientizar al personal e involucrarlo en el funcionamiento del sistema a través de la asignación de tareas y la comunicación en doble vía, para detectar cualquier anomalía en el momento.

INTRODUCCIÓN

Las empresas manufactureras deben manejar de manera conjunta sus inventarios y su capacidad de producción.

Un sistema adecuado de inventarios provee a la empresa de las herramientas necesarias para determinar los niveles óptimos de materiales que debe mantener, además de proporcionar un dato certero sobre el momento adecuado para reabastecerse y las cantidades adecuadas que se deben ordenar. Esto se hace por medio de una serie de políticas y controles que varían según los factores que afectan a la industria.

En Guatemala hay empresas que no cuentan con un sistema adecuado de control de inventarios y manejo de materiales. Esto se refleja directamente en los gastos que se efectúan con tal de obtener los materiales necesarios para la producción, en el monto del almacenaje y en un alto número de productos que se pierden por deterioro.

Es importante analizar las características de todos los modelos para determinar cuál es el que más se ajusta a las necesidades de la empresa. Se propondrá un sistema para el adecuado control y manejo de materiales, así como procedimientos para el mantenimiento y la mejora continua de la propuesta.

El estudio es de mucha utilidad para que la empresa cuente con un inventario de materiales eficiente o confiable de manera que el proceso de producción no sea interrumpido y se pueda satisfacer la demanda de los productos sin afectar de ninguna forma al consumidor final.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 La empresa

1.1.1 Historia

Cemix es una empresa que fabrica y comercializa productos para la etapa post-estructural de la construcción urbana. Nace en México en 1978 como una respuesta a la necesidad de la industria de la construcción de contar con productos que optimicen sus procesos, ofreciéndoles una amplia gama de materiales que, además de funcionalidad y belleza, representen ahorros considerables en tiempo material y mano de obra.

La estrategia de crecimiento de la empresa ha sido llevar a los clientes el producto de forma rápida y eficiente. Los productos son fabricados con los más estrictos estándares de calidad; por eso cada uno de ellos posee garantía.

1.1.2 Ubicación

Actualmente cuenta con 7 líneas de productos y 34 sedes dispersas por todo México, Centroamérica, Argentina y el Caribe, como se muestra en la figura 1. En junio de 2004, Cemix de Centroamérica, con sede en Guatemala, se trasladó al kilómetro 29.3 ruta al Pacífico, Amatitlán, luego de estar ubicada en la finca el Naranja.

Figura 1. Plantas y bodegas de Cemix.



Cemix de Centroamérica es una filial del Grupo Cemix que inicia operaciones en Guatemala en 1994. Ofrece todos los productos de la casa matriz, fabricados y ensamblados en distintos países de Centroamérica.

1.1.3 Misión

Tiene como misión bajar el costo de la construcción con productos novedosos que ahorran tiempo y dinero en la etapa post-estructural de la construcción, ya que ofrece mezclas secas de aditivos, acabados y boquilla.

1.1.4 Visión

Creer arriba del 20% anual promedio en utilidades antes de impuestos, logrando así liderazgos regionales.

1.1.5 Valores

La empresa busca en su personal honestidad, honradez, espíritu de equipo, trabajo, exigencia, enfoque en resultados, sentido de urgencia y productividad con el fin de cumplir con su misión y visión.

1.2 Productos

Cemix maneja 3 líneas de producto: adhesivos, acabados y boquilla. Cada una de ellas cuenta con al menos 6 productos con diversas características y composición. Los productos que Cemix ofrece fueron diseñados para ahorrar tiempo y dinero en los acabados de la construcción, ya que ofrece productos predosificados y mezclados, lo que asegura uniformidad en los materiales.

1.2.1 Descripción general de los productos

La línea de adhesivos ofrece los productos para instalar todo tipo de piezas cerámicas y piedras naturales en pisos y muros. Básicamente un adhesivo es una mezcla seca de cemento portland, químicos y agregados que únicamente necesitan mezclarse con agua para aplicarlos. Puede aplicarse sobre concreto totalmente curado (al menos 28 días de edad), ladrillo, paneles de cemento prefabricados y capas niveladoras de arena/cemento.

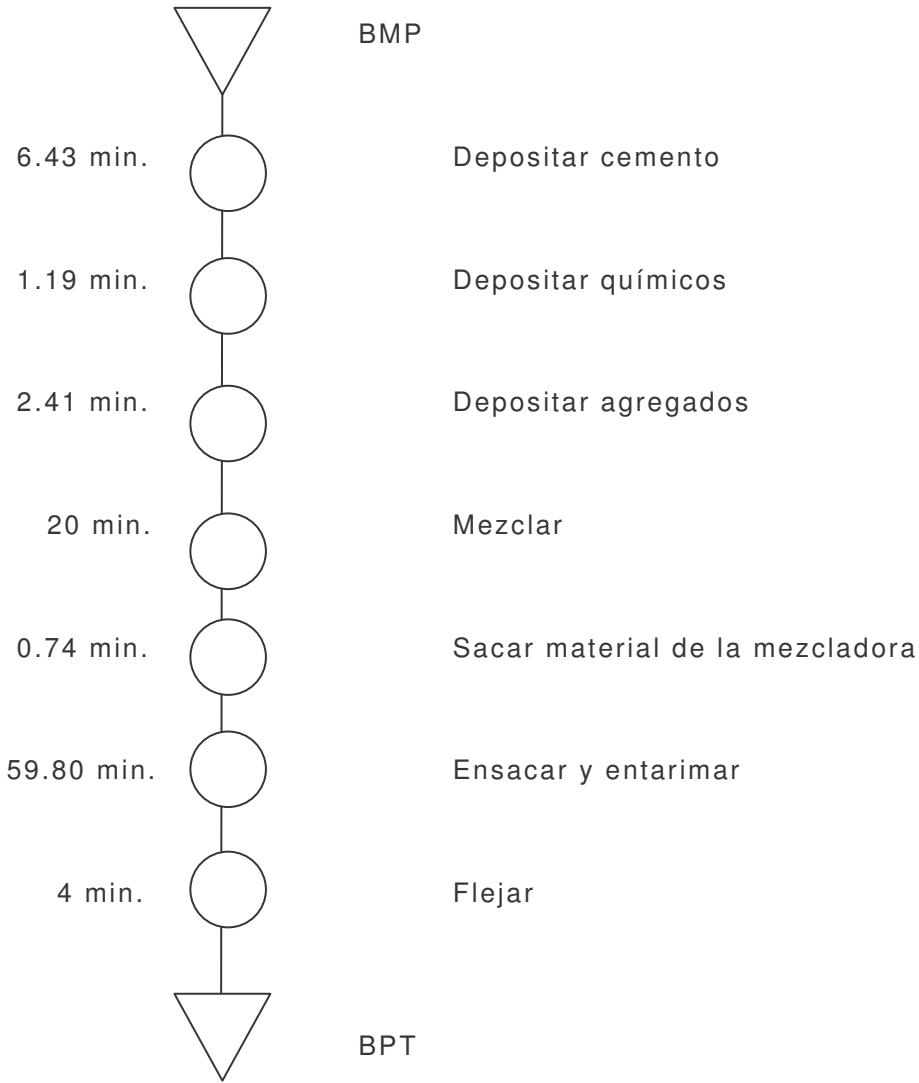
La línea de boquilla ofrece los productos para emboquillar todo tipo de piezas cerámicas y piedras naturales tanto en pisos como en muros. Es un compuesto en polvo para juntas o boquillas, formulado a base de cemento portland, agregados especiales, aditivos y pigmentos químicos. Sirve para emboquillar cualquier tipo de recubrimiento cerámico con separaciones de 3 a 15 milímetros de ancho entre pieza y pieza. Puede usarse en interiores o exteriores y en áreas de baños. Cuenta con más de 20 colores.

La línea de acabados para muros y techos se compone de productos que permiten obtener textura y color. Es un producto en polvo, formulado a base de cemento, agregados selectos, fibras y aditivos químicos que al mezclarse con el agua forman una pasta fácil de manejar y con la cual se pueden lograr acabados y texturas para exteriores e interiores. El color integrado desde su fabricación crea un nuevo acabado resistente a la humedad y puede ser aplicado sobre una gran variedad de superficies, como muros de tabique, ladrillo, block de concreto, tabicón, concreto celular, poliuretano, paneles de asbesto-cemento y poliestireno, siempre y cuando el muro esté sólido y libre de cualquier agente que pudiera interferir en una buena adherencia.

1.2.2 Descripción del proceso

El proceso general de fabricación de los adhesivos, acabados y boquilla consiste básicamente en mezclar cemento y agregados, junto con químicos y colorantes en una máquina revoladora, la cual homogeniza el producto durante un periodo de 20 minutos. La figura 2 muestra el diagrama de operaciones del proceso. En todo el proceso influye el factor humano, pues el trabajador deposita uno a uno los materiales en una tolva, de la cual son trasladados a la máquina mezcladora por medio de un tornillo sin fin.

Figura 2. Diagrama de operaciones del proceso de producción de adhesivos para cerámica



Los químicos se depositan directamente en la máquina y luego del proceso de mezclado se procede a empacar el producto colocando los empaques en dos cilindros que salen de la mezcladora y que expulsan el producto homogéneo por medio de tornillos sin fin de menor tamaño que los de alimentación. El producto es colocado en tarimas para luego ser trasladado a la bodega de producto terminado donde espera a ser despachado.

1.3 Control de inventarios

El control de inventarios es un aspecto crítico de la administración. Conservar un inventario implica un alto costo y las empresas no pueden tener cantidades grandes de dinero detenidas en existencias excesivas. Es necesario mantener un buen servicio al cliente y una producción eficiente teniendo los inventarios en un nivel mínimo. Mantener existencias es tener dinero ocioso, por eso las compañías deben hacer coincidir las oportunidades que ofrecen la oferta y la demanda, de modo que las existencias se encuentren en bodega justo cuando lo requiera el cliente.

1.3.1 Definición

Los inventarios se definen como la existencia de artículos o recursos que pueden utilizarse; resultan de un proceso productivo o de alguna actividad comercial. Los sistemas de inventario se basan en una serie de políticas y controles, proveen la estructura organizacional y las políticas operativas para mantener y controlar los bienes que se van a almacenar. El sistema es responsable de ordenar y recibir los bienes, coordinar la colocación de los pedidos y rastrear lo que se ha ordenado, la cantidad y el destinatario.

Para el caso de las empresas manufactureras, el inventario se refiere básicamente a artículos que contribuyen o que se vuelven parte de la fabricación de los productos. Para nuestro caso, se clasifican en inventarios de materia prima, producto terminado, suministros y productos en proceso.

Existen muchas opiniones acerca de los inventarios. Por una parte, el área de producción prefiere mantener niveles altos de inventario para garantizar la continuidad del proceso de producción, mientras que el área financiera prefiere mantener los niveles bajos, ya que esto libera capital para otros usos.

En la actualidad se cuenta con muchos sistemas para administrar los inventarios. Los japoneses han implementado con mucho éxito el sistema Justo a Tiempo, el cual busca un ambiente de producción casi sin inventario. Los suministros llegan al área de trabajo en el momento que se necesitan. Las empresas que logran implementar este sistema obtienen una reducción notable en sus costos.

1.3.2 Propósitos del control de inventario

Por lo general, los inventarios representan una buena parte de los activos totales de una empresa. El departamento de ventas ve los inventarios como fundamentales para prestar un buen servicio al cliente y cree que la producción ha fallado si un artículo no está disponible en el momento que debe ser entregado. Por otra parte, el área financiera ve los inventarios como un mal que ata el capital que podría utilizarse mejor en otra parte.

Desde el punto de vista de la planta, los inventarios deberían de ser un recurso ilimitado. Cada uno de ellos tiene razón en cierta medida, ya que los inventarios son necesarios para dar un buen servicio al cliente y mantener funcionando la producción eficientemente. Pero mientras cierta inversión en ellos es necesaria y útil, demasiado de ella es perjudicial.

Las empresas mantienen una provisión de inventario por las razones siguientes:

- a) Mantener una independencia de las operaciones, esto es, trabajar con estaciones independientes que permitan una producción flexible y estable por medio de amortiguadores (stock de seguridad).
- b) Ajustarse a la variación de la demanda; por lo general no se conoce con exactitud la demanda del producto y se hace necesario mantener una reserva de seguridad o de amortiguación para absorber las variaciones de la demanda.
- c) Permitir una flexibilidad en la programación de la producción; mantener un inventario ayuda al sistema de producción a programar por periodos más largos que le permitirán un flujo uniforme en la planeación y operaciones menos costosas a través de la producción de lotes más grandes.
- d) Protegerse contra la variación en el tiempo de entrega de la materia prima, ya que los proveedores pueden tener demoras y el material puede estar escaso, defectuoso o equivocado.

- e) Sacarle provecho al tamaño del pedido de compra económico. Por lo general, los costos de hacer un pedido disminuyen en cuanto aumenta el tamaño del pedido y al mismo tiempo los costos de envío disminuyen con el aumento de unidades.

1.4 Clasificación de los inventarios

1.4.1 Materia prima

Ésta comprende cualquier material empleado para formular componentes de un producto final. La compañía adquiere materiales sin procesar, los cuales necesitan pasar por un proceso de transformación para convertirse en producto final o parte del mismo.

1.4.2 Producto en proceso

El inventario de este tipo comprende todos los productos sobre los que la empresa ya ha realizado operaciones de transformación, pero aún no han pasado a formar parte del artículo terminado. La compañía encuentra en este tipo de inventario un resguardo contra la variabilidad de los procesos productivos.

1.4.3 Producto terminado

En este inventario se toman en cuenta todos los productos o bienes terminados que se encuentran almacenados en espera de ser vendidos o enviados a los clientes. Este tipo de inventario ofrece una protección a la empresa para contrarrestar la variación de la demanda.

1.5 Modelos de inventario

Los sistemas totales de inventarios se basan en el hecho de si la demanda se deriva de un producto final o si se relaciona con el artículo mismo; para establecer esta diferencia se debe distinguir entre la demanda dependiente y la independiente. La primera es la demanda de artículos que surge de la necesidad de otro artículo de un nivel superior del cual forma parte, mientras que la demanda independiente es aquella en la que los diferentes artículos no están relacionados entre sí. Dado que la demanda independiente es incierta, deben tenerse unidades adicionales en inventario.

1.5.1 Niveles de inventario

Los costos de inversión en inventario se deben equilibrar con el nivel de servicio que se desea prestar a los clientes o con los costos de escasez. Si los pedidos no se colocan lo bastante pronto, el material no llegará a tiempo y el que queda será consumido antes de recibir el nuevo lote. Por el contrario, si los pedidos se colocan demasiado rápido, los inventarios serán muy grandes. La selección de la técnica de reorden y los tamaños de los pedidos determinan el nivel de servicio que se proporcionará al cliente.

En la mayoría de las empresas, la demanda de productos no es constante y por ello deben mantener una reserva de seguridad que no es más que la cantidad de inventario que se lleva, además de la demanda prevista, con el fin de protegerse contra el agotamiento de las existencias. El cálculo de la reserva tiene dos enfoques, el de probabilidad que previene que la demanda exceda una cantidad específica y el del número previsto o nivel de servicio que se enfoca en el número previsto de unidades faltantes.

En el enfoque de probabilidad, como su nombre lo indica, se considera la probabilidad de que se presenten faltantes, no así el número de unidades faltantes. El valor se calcula con la desviación estándar de la demanda. Es común que las compañías lo utilicen para establecer la probabilidad de no quedarse sin existencias un 95% del tiempo.

El enfoque del nivel de servicio se refiere al número de unidades demandadas que pueden suministrarse de las existencias disponibles. El análisis se basa en un concepto estadístico z o $E(z)$ el cual es el número previsto de unidades faltantes durante cada plazo.

1.5.2 Modelos para la demanda independiente

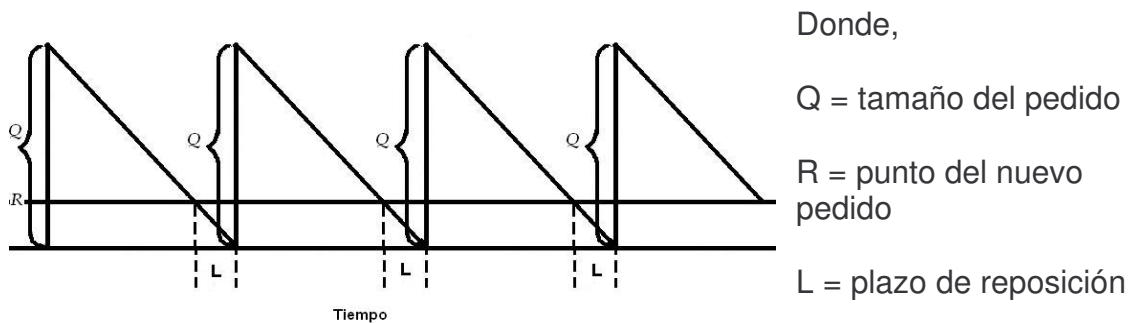
La demanda independiente se refiere a aquella en la que las demandas de los diferentes artículos no están relacionadas entre sí, más bien la necesidad de cualquier artículo es el resultado de un requerimiento de demanda externa. Para determinar las cantidades de artículos independientes que deben producirse, las compañías recurren al departamento de ventas o mercadeo, quienes por medio de técnicas de proyección y tendencias tanto económicas como sociológicas determinan la tendencia de la demanda para un periodo de tiempo dado.

1.5.2.1 Modelos de cantidad fija de pedido

Estos modelos son impulsados por un evento, se inicia un pedido cuando se presenta el evento de alcanzar un nivel específico (R), lo cual puede suceder en cualquier momento dependiendo únicamente de la demanda de los artículos considerados. Son sistemas perpetuos que requieren que cada vez que se haga un retiro o una adición al inventario se actualicen los registros para asegurar que se alcance el nivel deseado.

Se trata de determinar el punto específico R en el cual se colocará un pedido de tamaño Q, que se recibirá al final de un periodo de tiempo L o plazo de reposición. Esto ocurre cuando el inventario disponible en almacenamiento y sobre pedido alcanza el punto R. Esto se muestra mejor en la gráfica diente de sierra.

Figura 3. Gráfica diente de sierra



Fuente: Administración de producción y operaciones. Página 586.

1.5.2.1.1 Modelo básico de cantidad fija de pedido

La posición del inventario está dada por la cantidad disponible más las unidades pedidas menos aquéllas pendientes. Las características de estos modelos son las siguientes:

- a) La demanda del producto es constante.
- b) El tiempo que transcurre desde que se hace el pedido hasta que se recibe es constante.
- c) El precio por unidad de producto es constante.
- d) El costo de mantenimiento del inventario se basa en el inventario promedio.
- e) Los costos de preparación de los pedidos son constantes.
- f) Toda la demanda de producto será satisfecha, no hay faltantes.

Para cualquier modelo de inventario es necesario relacionar las variables de interés. El costo es un elemento de preocupación para las empresas, por lo que se aplica la siguiente ecuación:

Costo total = Costo de compra + Costo de pedido + Costo de mantenimiento

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

Donde,

TC = costo total

D = demanda

C = costo unitario

Q = tamaño del pedido

S = costo de hacer un pedido

H = costo anual de mantenimiento y almacenamiento por unidad de inventario

Se debe encontrar la cantidad óptima del pedido para la cual el costo total es mínimo. Viene dada por:

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

Donde,

Q_{opt} = cantidad óptima de pedido

Este modelo supone una demanda y un plazo constantes, por lo que no requiere reserva de seguridad y por tanto el punto del nuevo pedido es:

$$R = \bar{d}L$$

Donde,

R = punto del nuevo pedido

\bar{d} = demanda promedio diaria

1.5.2.1.2 Modelo de cantidad fija de pedido durante el tiempo de producción

En este caso una parte del sistema de producción actúa como proveedor de otra parte la producción de un artículo y la utilización del mismo ocurre de manera casi simultánea. Para este caso, la ecuación se ve afectada por la tasa de producción del proceso que utiliza ese artículo y por su demanda. Resulta como sigue:

$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{(p-d)QH}{2p}$$

Donde,

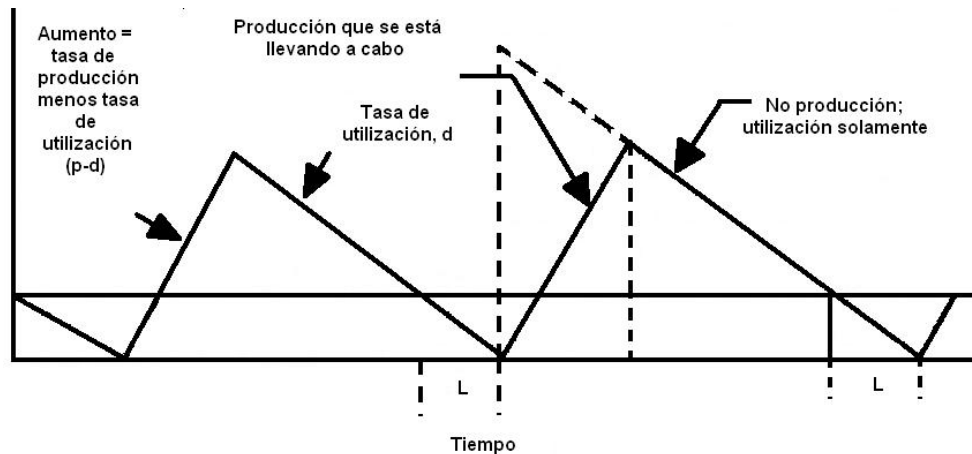
p = tasa de producción

d = tasa de demanda del artículo

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2DS}{H} \frac{p}{(p-d)}}$$

En el siguiente cuadro se puede ver que el número de unidades disponibles es siempre inferior a la cantidad del pedido Q .

Figura 4. Cantidad fija de pedido durante el tiempo de producción

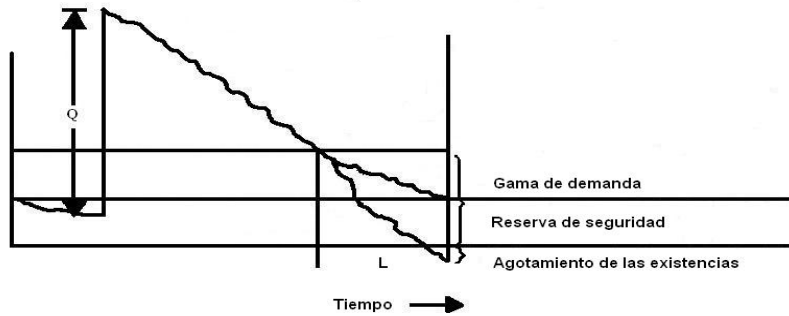


Fuente: Administración de producción y operaciones. Página 589.

1.5.2.1.3 Modelo de cantidad fija de pedido con un nivel de servicio específico

En los modelos de cantidad fija de pedido existe el peligro de agotamiento de existencias en el periodo comprendido entre la colocación del pedido y el recibo de éste. El pedido se coloca en el momento que el inventario toca el punto de nuevo pedido R . La reserva de seguridad depende del nivel de servicio deseado, considerando los costos por faltantes, de pedido, de mantenimiento, etc.

Figura 5. Cantidad fija de pedido



Fuente: Administración de producción y operaciones. Página 593.

El punto del nuevo pedido para el caso de una demanda no constante es:

$$R = \bar{d}L + Z\sigma_L$$

Donde

Z = número de desviaciones típicas para un nivel de servicio

$$\sigma_L = \sqrt{\sum_{i=1}^L \sigma_{d_i}^2}$$

σ_L = desviación estándar de utilización durante el plazo

d_i = demanda del artículo en el día i

n = número de días del periodo

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n}}$$

σ_d = desviación típica de la demanda diaria

Para un nivel de servicio A, los faltantes estarán dados por $(1 - A)D$ unidades anuales. Al ordenar Q unidades por pedido, se colocarán D/Q pedidos en el año. El número previsto de faltantes en cada ciclo de pedidos ($E_{(z)}$) está dado por:

$$E_{(z)} = \frac{(1 - A)Q}{\sigma_L}$$

1.5.2.2 Modelos de periodo de tiempo fijo

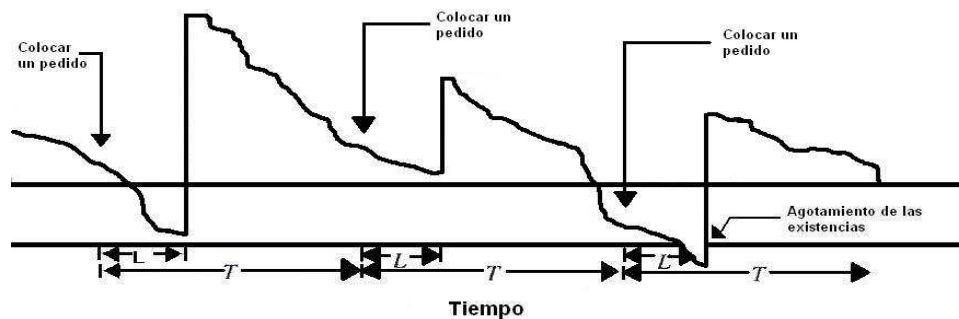
Para estos casos, el inventario se cuenta únicamente en determinados momentos, semanas, meses, etc. Estos modelos generan pedidos que varían en cantidades de un periodo a otro, dependiendo de la tasa de utilización. En este caso se requiere de una reserva de seguridad mayor que la de los modelos de cantidad fija. En estos casos es posible que alguna demanda grande lleve las existencias a cero inmediatamente después de la colocación del pedido, esto se puede pasar por alto hasta el siguiente periodo de revisión T .

1.5.2.2.1 Modelo de periodo de tiempo fijo con un nivel de servicio

Para este caso, los nuevos pedidos se colocan en el momento de la revisión (T), y la reserva de seguridad viene dada por:

$$\text{Reserva de seguridad} = Z\sigma_{T+L}$$

Figura 6. Periodo de tiempo fijo



Fuente: Administración de producción y operaciones. Página 599.

Cantidad de pedido = demanda promedio durante el periodo de vulnerabilidad + reserva de seguridad - inventario disponible en el momento (más un pedido si hubiera)

Esto se traduce en:

$$q = \bar{d}(T + L) + Z\sigma_{T+L} - I$$

$$E_{(Z)} = \frac{\bar{d}T(1 - A)}{\sigma_{T+L}}$$

$$\sigma_{T+L} \sqrt{\sum_{i=1}^{T+L} \sigma_{d_i}^2}$$

1.5.2.3 Modelos especiales

En los modelos de periodo de tiempo fijo y cantidad fija de pedido, el costo de las unidades permanece constante para cualquier tamaño del pedido y el proceso de los nuevos pedidos es continuo, es decir, los artículos se ordenan y almacenan con la expectativa de que la necesidad continúe.

1.5.2.3.1 Modelo de variación en los precios

En algunos casos, el precio de venta de un artículo varía con el tamaño del pedido; éste es un cambio discreto o por pasos. Para determinar la cantidad óptima de cualquier artículo que se va a ordenar, se debe encontrar la cantidad económica del pedido para cada precio y el punto de cambio de precio. El costo total factible de cada cantidad económica de pedido se tabula y la Q, que lleva al costo mínimo, es el tamaño óptimo del pedido.

Las cantidades de pedido se resuelven desde el precio unitario más bajo hasta el más alto, hasta obtener una Q válida. Luego, la cantidad del pedido en cada variación de precio que esté por encima de la Q encontrada se utiliza para encontrar la cantidad del pedido que tenga el menor costo (sea la Q calculada o la Q en una de las variaciones de precio). Esto es:

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

Donde,

i = es el porcentaje del costo unitario (C) que representa el costo de almacenamiento de un artículo.

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{iC}}$$

1.5.2.3.2 Modelos de un solo periodo

Se utiliza cuando el inventario implica la colocación de pedidos para cubrir solamente un periodo de demanda o los artículos perecederos a intervalos frecuentes. La decisión óptima de almacenamiento, utilizando el análisis marginal, ocurre en el punto en que las utilidades derivadas de llevar la unidad siguiente son inferiores a los costos de esa unidad. Cuando se venden los artículos almacenados, la decisión óptima es almacenar la cantidad en donde la utilidad por la venta o utilización de la última unidad es igual a la pérdida si la última unidad no se vende, esto es $MP \geq ML$. Introduciendo la probabilidad de ocurrencia a la anterior ecuación se obtiene:

$$P(MP) \geq (1 - P)ML$$

Donde P es la probabilidad de que la unidad sea vendida y 1-P la probabilidad de que no se venda. Entonces P queda como sigue:

$$P \geq \frac{ML}{MP + ML}$$

Lo que indica que se debe seguir incrementando el tamaño del inventario mientras que la probabilidad de vender la última unidad sea igual o superior al coeficiente arriba mostrado.

1.5.3 Modelos para la demanda dependiente

1.5.3.1 Planeación de recursos de manufactura

La demanda dependiente es causada por la demanda de un artículo de más alto nivel. El hecho de determinar el número de artículos de demanda dependiente necesarios es en esencia un proceso de multiplicación directa. La planeación de recursos de manufactura (MRP por sus siglas en inglés) es mayormente utilizada en compañías involucradas en operaciones de ensamblaje y en una menor proporción en aquellas dedicadas a la fabricación. Este sistema funciona para aquellas empresas que fabrican un alto número de unidades por año, y no así para las que fabrican productos costosos y complejos que requieren de mucha investigación y diseños avanzados.

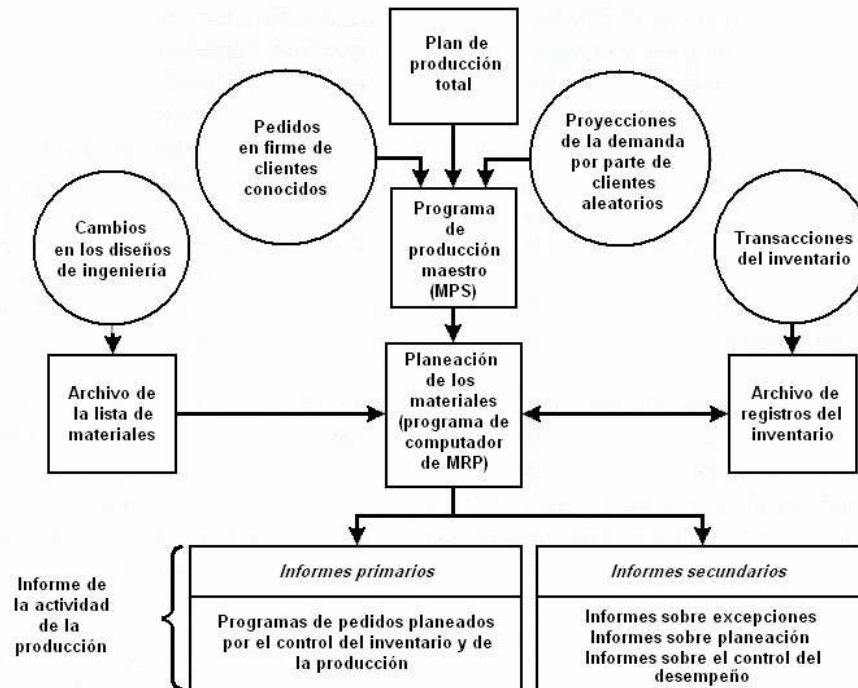
El plan de requerimientos de materiales crea programas que identifican las partes y los materiales específicos requeridos para producir artículos finales, las cantidades exactas necesarias y las fechas en que los pedidos deben entregarse dentro del ciclo de producción. Los MRP utilizan un programa de computadora para realizar estas operaciones, cuyo propósito básico es controlar los niveles de inventario, asignar prioridades operativas para los artículos y planear la capacidad para llevar a cabo el programa de producción.

En lo referente a inventarios, el MRP es una herramienta que ayuda a ordenar la parte correcta, en la cantidad debida y en el momento que se necesita; la prioridad es ordenarla con la fecha de vencimiento correcta y mantenerla válida. En lo referente a capacidad, apoya en la planeación de una carga completa, exacta y en el momento adecuado para ver la carga futura. El sistema ofrece los siguientes beneficios:

- a) Capacidad para fijar los precios de una forma competente
- b) Reducción de los precios de venta
- c) Reducción del inventario
- d) Mejor servicio al cliente
- e) Mejor respuesta a las demandas del mercado
- f) Capacidad para cambiar el programa maestro de producción
- g) Reducción de los costos de preparación y desmonte
- h) Reducción del tiempo de inactividad
- i) Posibilidad de ver el programa planeado antes de la expedición real de los pedidos.
- j) Agilización o retardo de las fechas de vencimiento de los pedidos
- k) Ayuda en la planeación de la capacidad

Pero el sistema puede fallar si la alta gerencia no asume un compromiso serio, ya que el MRP es una herramienta de software que debe ser utilizada correctamente, lo cual puede implicar un cambio en la forma de operación de la empresa y la actualización de sus archivos. La visión general de la información para un programa estándar MRP y los informes generados por el programa se presentan en la figura 7.

Figura 7. Funcionamiento del sistema de MRP



Fuente: Administración de producción y operaciones. Página 634.

1.6 Sistemas de inventario

1.6.1 Sistema de reposición opcional

Implica la revisión del inventario con una frecuencia fija y ordena un suministro de reposición, si el nivel ha caído por debajo de cierta cantidad. El nivel máximo de inventario (M) se calcula con base en la demanda, los costos de los pedidos y los costos de los faltantes. Como colocar un pedido requiere tiempo y dinero, se establece un tamaño de pedido mínimo Q . Luego, cuando se revise ese artículo, la posición del inventario (I) se resta del nivel de reposición (M). Si ese número llamado q es igual o superior a Q , se puede ordenar q .

$$q = M - I$$

Si $q \geq Q$ ordenar q unidades

1.6.2 Sistema de dos bodegas

Este sistema parte del supuesto de utilizar los artículos de una bodega, mientras la segunda provee una cantidad lo suficientemente grande para garantizar que las existencias pueden reponerse. Esta bodega debería contener una cantidad igual al punto del nuevo pedido. Tan pronto como los materiales son trasladados hacia la primera bodega, se debe colocar el pedido para reponer los artículos de la segunda. La clave del funcionamiento de este sistema es separar el inventario de manera tal que parte de éste se mantenga en reserva hasta que el resto se utilice.

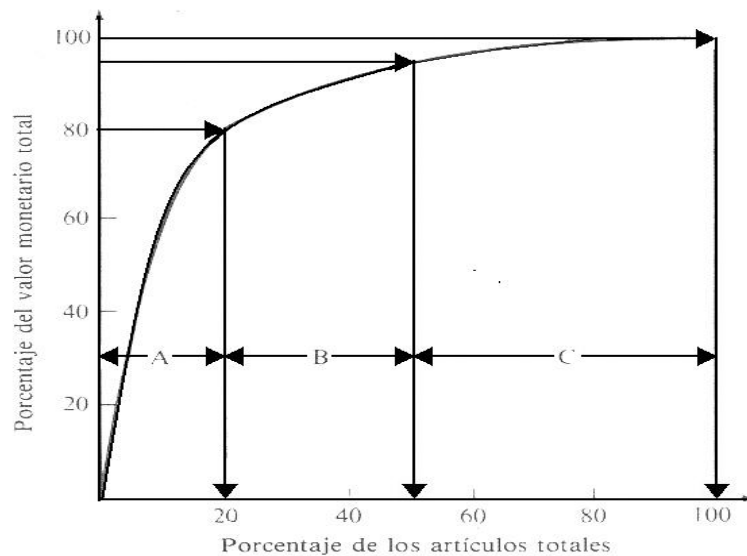
1.6.3 Sistema de una bodega

Implica la reposición periódica del inventario, independientemente de que se necesiten pocos artículos. A intervalos fijos se lleva el inventario a su nivel máximo predeterminado, es decir, este sistema se repone siempre y no solo cuando se encuentra en un nivel específico. En este tipo de sistema no se mantienen registros de cada una de las entradas y salidas del almacén. Sin embargo, por lo general, se conservan las órdenes de compra, de modo que se pueda determinar el consumo de materiales que hubo entre dos conteos físicos del inventario.

1.6.4 Sistema ABC

Este sistema reconoce que al 15% de los artículos les corresponde un 80% del valor del inventario en dinero, a estos se les denomina como artículos A; aproximadamente el 35% de los artículos constituyen la categoría B, a los que corresponde el 15% del valor total del inventario y el 50% restante son los artículos C, a los que corresponde el 5% del valor. Puesto que los artículos correspondientes a la categoría A son costosos y constituyen una porción significativa del ingreso anual, se debe establecer una política que reduzca al mínimo la inversión en los artículos que pertenecen a esta categoría.

Figura 8. Curva de inventario ABC



Fuente. Hamdy Taha. Investigación de operaciones. Página 562.

Se debe contar con excedentes de los artículos C, de modo que no sea necesario ejercer mayor control sobre ellos; se pueden pedir en lotes más grandes para minimizar la frecuencia. Los artículos B deben tratarse, según sea el caso, como A o como C, lo cual implica una clasificación AB ya que algunos de los artículos B deben pedirse ajustados a los pronósticos, y otros pueden ordenarse en lotes que impliquen menor manejo.

El costo unitario de los artículos no está relacionado con su clasificación, ya que un artículo de clase A puede tener un alto volumen de dinero a través de una combinación de bajo costo y alta utilización o alto costo y baja utilización. De igual forma, los artículos C pueden tener bajo volumen en dinero debido a una baja demanda o al bajo costo. Algunas de las diferencias entre los artículos son:

- A) Grado de control: los artículos A llevan un control muy estricto, registros completos y exactos, revisiones regulares por administradores, pedidos abiertos y frecuentes entregas. Los artículos B tienen controles normales con buenos registros y atención regular. Los artículos C utilizan los controles más sencillos y grandes cantidades de pedido y de inventario para evitar el agotamiento de las existencias.

- B) Registros de los inventarios: los artículos A requieren registros exactos, completos, detallados y actualizados en tiempo real. Los de tipo B se manejan con registros normales y actualización de los lotes, y para los C se utilizan los registros más sencillos.

- C) **Prioridad:** los artículos A tienen alta prioridad para reducir el tiempo de recepción y el inventario; los artículos B requieren un procesamiento normal con alta prioridad solo cuando son críticos y los de clase C son de baja prioridad.

- D) **Procedimientos de pedido:** para los artículos A deben determinarse con cuidado y exactitud las cantidades del pedido, los puntos de orden y los requerimientos de materiales, chequeo manual de los datos de la computadora y revisión frecuente para reducir el inventario. En el caso de los artículos B, se deben revisar los costos de inventario y los puntos de orden cuando se presenten cambios importantes; los requerimientos de materiales son rutinarios. Los artículos C deben mantenerse en buena cantidad llevando únicamente revisiones visuales para ordenar nuevamente.

1.7 Procedimiento para el control de inventarios

Los sistemas de control de inventarios pueden ser manuales, computarizados o una combinación de ambos. Estos deben estar en la capacidad de ejecutar las siguientes funciones:

- A) **Conteo de las transacciones:** se hace por medio del registro de las operaciones y debe dar apoyo a las necesidades contables de la organización y a la función de administración del inventario. Esto requiere el uso de registros perpetuos en los que se detallan las entradas y salidas del almacén, o en los casos más sencillos únicamente el conteo periódico del inventario.

- B) Reglas de decisión del inventario: un sistema de inventarios debe incorporar reglas de decisión que ayuden a determinar cuándo y cuánto ordenar.

- C) Notificación de excepciones: se hace necesario introducir algunas reglas de decisión, ya que cuando se realizan operaciones en el inventario, puede que alguna implique una decisión no económica, es decir, que no se ajusta a la realidad de la empresa, y las excepciones ayudan a corregir las reglas estipuladas.

- D) Pronósticos: todas las decisiones de inventarios se basan en proyecciones de demandas pasadas y en la intuición de los gerentes y jefes que manejan el inventario, por lo que debe incluirse una técnica cuantitativa dentro del sistema.

- E) Informes: el sistema de inventarios debe generar informes para la alta administración, en los que debe medirse el funcionamiento global del inventario, y debe ayudar en la formulación de las políticas generales del control de inventarios. Los informes deben incluir el nivel de servicio que se proporciona, los costos de operación del inventario y los niveles de inversión comparados con los de otros períodos.

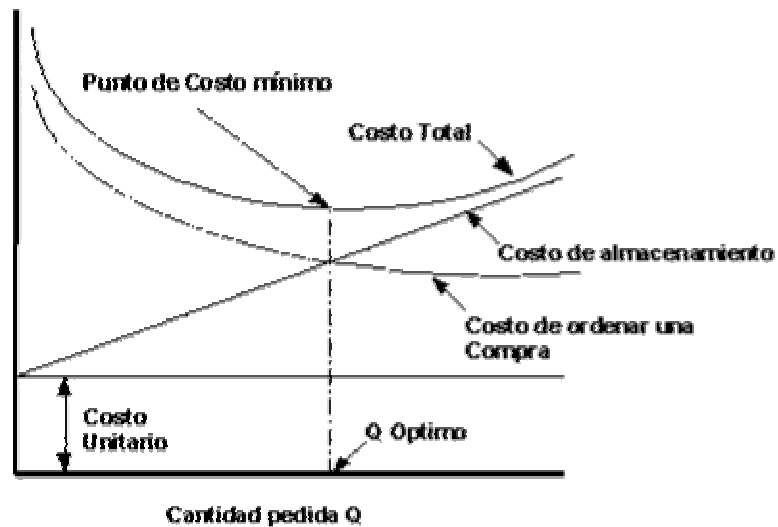
Los procedimientos de control de inventarios varían de una compañía a otra y entre los distintos tipos de inventario, pero en general, las actividades generales que se requieren son:

- a) Determinar las necesidades del inventario
- b) Preparar requisiciones de materiales
- c) Recibir, inspeccionar y almacenar los materiales
- d) Dar salida a los materiales cuando se requiera y detallarlo en el registro de materiales
- e) Actualizar el registro de materiales para que reflejen el estado actual
- f) Evaluar la condición del inventario para determinar nuevas necesidades

1.8 Costos de los inventarios

Un sobre-almacenamiento requeriría un capital invertido superior por unidad de tiempo, pero menos ocurrencias frecuentes de escasez y de colocación de pedidos. Un sub-almacenamiento, por otra parte, disminuiría el capital invertido por unidad de tiempo, pero aumentaría la frecuencia de los pedidos así como el tiempo de estar sin mercancía. Los dos extremos son costosos. Las decisiones en los sistemas de inventario se basan en la minimización del costo para encontrar un balance entre el costo de tener sobre-almacenamiento y sub-almacenamiento.

Figura 9. Costo de inventario



Fuente. <http://www.investigacion-operaciones.com/Inventario-1.htm>

1.8.1 Costos de pedido

Al comprar materiales se deben escribir requisiciones de materiales y pedidos de compra, procesar facturas para pagar al proveedor e inspeccionar los lotes recibidos, para luego entregarlos para almacenamiento o a la línea de producción. La suma de estos costos es el costo de pedido del lote.

1.8.2 Costo de tenencia de inventario

- a) Por obsolescencia. Esto ocurre cuando los materiales ya no son utilizables o vendibles, según sea el caso, debido a patrones de venta cambiantes y a los deseos del cliente, principalmente con los artículos de moda y los de alta tecnología. En el caso de la materia prima, puede tener fecha de expiración por lo que mantener grandes cantidades de este tipo de materiales puede ser perjudicial.

- b) Por deterioro. Al encontrarse los materiales almacenados, pueden humedecerse, secarse, ensuciarse debido al manejo o sufrir deterioro de muchas otras maneras, lo que puede hacer al material no utilizable o vendible.
- c) De almacenamiento. El almacenamiento de materiales hace necesario el uso de una bodega con personal de supervisión y operativo, equipo para el manejo de los materiales, el uso de registros, etc.
- d) De capital. Este es uno de los factores más influyentes en la decisión del tamaño de inventario ya que es dinero no disponible. La empresa se puede ver en la necesidad de hacer préstamos para cubrir algún gasto o inversión pues el capital propio lo invirtió en materiales. A este costo se le llama costo de oportunidad y está representado por el interés que se tiene que pagar en el caso de un préstamo o la cantidad que dejó de invertirse.

1.8.3 Costo de agotamiento de existencias

Se incurre en este costo, si el material no está disponible cuando se demanda, ya que se puede perder la venta o incurrir en otros costos, como procesar una orden regresada, papeleo de control de inventarios, tiempo extra, etc. Este costo incluye también primas elevadas de flete si se embarca una cantidad muy pequeña de material debido a su urgencia. A este costo debe cargarse el tiempo que el personal gastó en la orden que no es despachada.

1.8.4 Costos asociados con la capacidad

Estos incluyen el costo por tiempo extra, subcontrataciones, entrenamiento, despido, ocio, etc. Se incurre en estos cuando es necesario aumentar o disminuir la capacidad debido a las variaciones de la demanda.

1.9 Resumen de fórmulas

a) Modelo básico de cantidad fija de pedido

$$\text{Costo total} \quad TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

$$\text{Cantidad óptima de pedido} \quad Q_{opt} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

$$\text{Punto de nuevo pedido} \quad R = \bar{d}L$$

b) Modelo de cantidad fija de pedido durante el tiempo de producción

$$\text{Costo total} \quad TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{(p-d)QH}{2p}$$

$$\text{Cantidad óptima de pedido} \quad Q_{opt} = \sqrt{\frac{2DS}{H} \frac{p}{(p-d)}}$$

c) Modelo de cantidad fija de pedido con un nivel de servicio específico

Punto de nuevo pedido $R = \bar{d}L + Z\sigma_L$

Cantidad de producto utilizada durante el plazo $\sigma_L = \sqrt{\sum_{i=1}^L \sigma_{d_i}^2}$

Desviación estándar de la demanda durante n días $\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n}}$

Número previsto de unidades faltantes $E_{(z)} = \frac{(1-A)Q}{\sigma_L}$

d) Modelo de periodo de tiempo fijo con un nivel de servicio

Reserva de seguridad = $Z\sigma_{T+L}$

Cantidad óptima de pedido $q = \bar{d}(T + L) + Z\sigma_{T+L} - I$

Número previsto de unidades faltantes $E_{(z)} = \frac{\bar{d}T(1-A)}{\sigma_{T+L}}$

Desviación estándar de demandas independientes $\sigma_{T+L} = \sqrt{\sum_{i=1}^{T+L} \sigma_{d_i}^2}$

e) Modelo de variación en los precios

$$\text{Costo total } TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}iC$$

$$\text{Cantidad óptima de pedido } Q = \sqrt{\frac{2DS}{iC}}$$

f) Modelos de un solo periodo

$$\text{Probabilidad de vender la última unidad } P \geq \frac{ML}{MP + ML}$$

2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

2.1 Proceso de control de inventarios

Actualmente la empresa lleva el control de los inventarios con ayuda de un software de planeación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés, *enterprice resource planning*), que es un sistema de planeación y control (SPC) cuya función es permitir a la compañía que lo utiliza compartir datos comunes y prácticas a través de toda la empresa, además de producir y acceder a la información en tiempo real.

2.1.1 Descripción general

Las bodegas que utiliza la empresa son la de materia prima y la de producto terminado. En conjunto manejan alrededor de 400 artículos. Cada ítem se encuentra identificado en el SPC por medio de su nombre y un código que se le asigna a cada producto según el orden en el que se le dé de alta en el sistema. Cuando se quiere ingresar un material al sistema, lo primero que se escribe es el número de bodega al cual pertenece, luego se ingresa la fecha y por último el material que ingresa, el costo unitario y la cantidad.

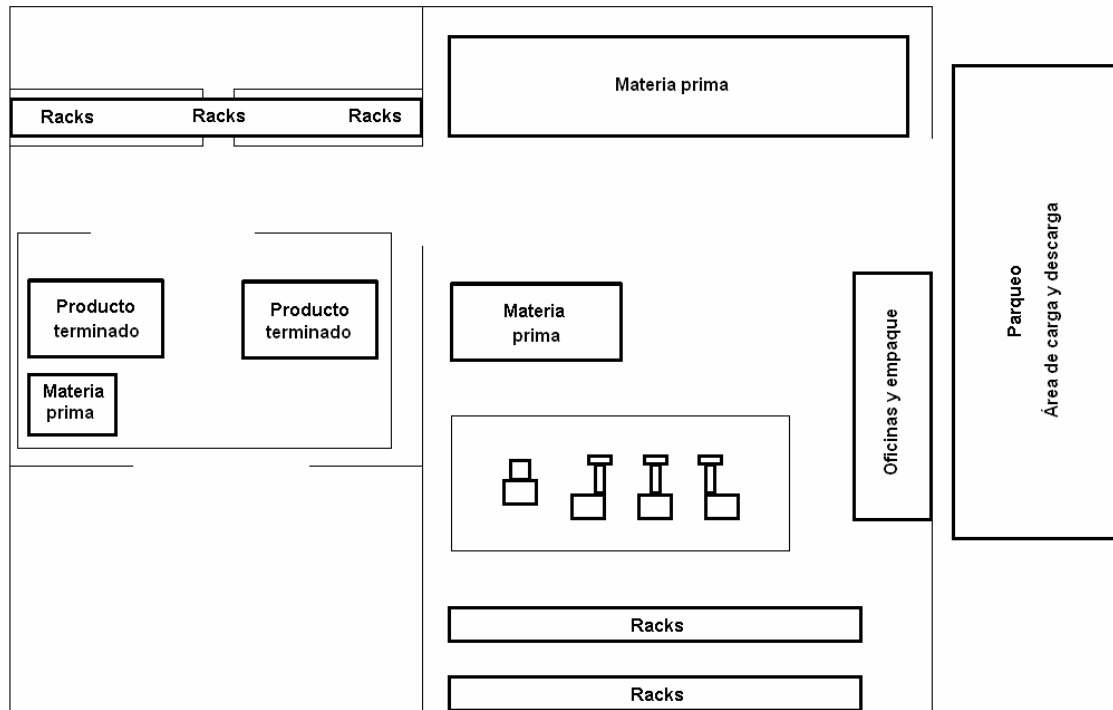
Se obtienen diferentes reportes del SPC, se pueden observar los movimientos de los materiales en un rango de fechas, las compras por proveedor o por fechas, la existencia de productos en un día en particular, etc. En lo referente a producción, cuando no hay suficiente producto para surtir un pedido, no se puede emitir la factura y el producto aparece en el reporte de pedidos pendientes que indica los materiales que deben producirse y en qué cantidad. Sin embargo, no están definidos en ningún procedimiento los pasos que se siguen para realizar una nueva compra de materia prima que indique cuándo se debe ordenar y qué cantidad. Es lo que ocasiona que, muchas veces, la producción de los pedidos pendientes se quede estancada.

La materia prima se recibe en bodega con factura o documento de envío, el cual sirve como referencia para ingresarla al SPC. El producto en proceso no se registra hasta el final del día cuando cada operario reporta el producto terminado y la cantidad de materia prima que utilizó en su elaboración. Cuando se reciben los reportes de producción, se da salida a los materiales que se utilizaron y el sistema automáticamente actualiza los datos del inventario. Para corroborar los registros que se llevan, se hace un conteo físico al final del mes.

2.1.2 Distribución de bodegas

La bodega se encuentra separada en tres áreas básicas: bodega de materia prima, producción y de producto terminado. La división que hay entre ellas es imaginaria, pues no están separadas por completo una de la otra. La distribución se muestra en la figura 10.

Figura 10. Distribución de bodegas



La mayoría de la materia prima que se almacena en tarimas se encuentra ubicada en la entrada de la planta. Sin embargo, otra parte se almacena en la bodega posterior, donde se encuentra el producto terminado, el cual también se almacena en tarimas. Pero debido al área tan reducida, no se tiene un lugar específico para cada material. En los racks de la primera bodega (derecha) se almacena materia prima y en la segunda bodega (izquierda) se almacena el producto terminado de menor peso.

2.1.3 Equipo actual

Para llevar el control de los inventarios, todas las computadoras de la empresa tienen el software instalado y a cada persona se le conceden permisos para acceder, modificar o ver ciertas partes del sistema. Una persona se encarga de dar ingreso a la materia prima al sistema y otra da de baja a cada material y carga el producto terminado a su respectiva bodega al menos una vez al día.

2.2 Control de inventarios

2.2.1 Materia prima

El transportista que lleva la materia prima a la planta presenta al encargado de la descarga el envío o la factura del material que va a entregar. Se descarga el material y se entrega el documento de envío o factura al encargado del inventario quien al final del día da ingreso a los materiales por medio de la operación de los envíos al SPC.

El encargado de producción verifica las existencias de la materia prima local y solicita una nueva entrega cuando calcula que el nivel es bajo. Algunas veces el pedido se hace muy tarde y el material se termina durante la producción. Esto obliga a fabricar el producto para el cual hay materia prima, cambiando así la programación de la producción hasta que se reabastezca del material necesario para continuar con el producto programado con anterioridad.

2.2.2 Producto en proceso

El producto que está en proceso no se controla hasta que se reporta el producto terminado, lo cual ocurre al final del día. Cada uno de los operarios entrega un reporte de producción de cada producto que fabricó e indica la cantidad de materiales que utilizó; con este informe, el encargado da salida del inventario a toda la materia prima consumida en el día, lo cual actualiza automáticamente las existencias.

2.2.3 Producto terminado

En el caso del producto terminado, se ingresa según lo que el operario reporta de la producción del día. Se carga el producto al SPC para actualizar las existencias y así alimentar el sistema de facturación, el cual descarga automáticamente del inventario los productos facturados. El ingreso de la producción se hace diariamente y el conteo físico se hace, al igual que el de materia prima, al final del mes para corroborar las existencias.

El producto terminado tiene ciertas variaciones entre el sistema y el conteo físico, pues algunos sacos de producto sufren deterioro debido al manejo del material con el montacargas. Se maneja el inventario UEPS (último en entrar, primero en salir) por la distribución de la bodega, la cual no permite sacar el primer producto que se colocó en la fila.

2.3 Análisis de proveedores

El mayor volumen de material que se maneja es el local y representa la mayor parte de los proveedores. Sin embargo, es el que aporta un menor porcentaje del costo total del producto. El principal insumo de la compañía son los químicos que se traen de la casa matriz.

2.3.1 Materia prima local

La materia prima local está conformada por los agregados, el cemento, la cal y las etiquetas, si son productos de colores.

Los agregados son los que conforman la mayor parte del producto terminado y, por tanto, es el material que tiene mayor rotación en la planta. Se cuenta con 3 proveedores cuya capacidad es baja, pues uno solo no puede surtir a la empresa del material necesario para la producción. Se ordena vía telefónica y su tiempo de entrega es de uno o dos días debido a que el proceso de producción del agregado es de tipo artesanal. Cada uno de los proveedores tiene capacidad de entregar de cuarenta a sesenta toneladas de agregado al día.

Se utilizan dos tipos de cemento para los diferentes procesos, uno es blanco y el otro gris; cada uno de ellos de proveedor diferente. La cal es distribuida por uno de los proveedores de cemento y el procedimiento para realizar los pedidos es básicamente el mismo que el del agregado: por teléfono. Las entregas son al día siguiente de haber puesto el pedido, para el cemento gris, y aproximadamente tres días, para el cemento blanco.

Las etiquetas se utilizan únicamente en la boquilla para indicar su color. Se utilizan 20 colores con una rotación diferente cada uno. Los pedidos se hacen al vendedor, quien verifica las existencias una vez al mes. El tiempo de entrega se encuentra entre los quince días y un mes a partir de la confirmación del pedido.

2.3.2 Materia prima importada

Los químicos utilizados en el proceso se traen de México. Los pedidos se hacen mensualmente por correo electrónico y se confirman por teléfono. El precio de los productos varía de acuerdo con la cantidad que se importe, pues si el pedido no ocupa un contenedor completo, su costo será cargado a los pocos productos embarcados, al igual que los gastos de aduana. En otras palabras, a menos producto mayor precio. El tiempo de entrega va de un mes a mes y medio, dependiendo de las existencias del proveedor.

El material de empaque es diferente de los productos importados; debido a la incerteza en las entregas, se cuenta con dos proveedores, uno mexicano y otro salvadoreño. Los pedidos se hacen por correo electrónico con dos o tres meses de anticipación, pues los proveedores fabrican el empaque bajo pedido. Se ordena empaque cada tres o cuatro meses, y el tiempo de entrega de cada proveedor va desde dos hasta seis meses.

2.4 Demanda de los productos

La demanda de la empresa se dividió en demanda independiente y dependiente. La independiente, como se mencionó anteriormente, es la demanda externa. Para este caso es el producto terminado que la empresa necesita llevar al cliente. Con base en esta demanda, se calcula la demanda dependiente, que en este caso es la materia prima, lo que la empresa debe obtener de los proveedores de acuerdo con lo que se demanda de producción.

2.4.1 Demanda independiente

Como se mencionó en el capítulo anterior, la demanda independiente es aquella que no se relaciona con ningún otro bien de la empresa, es decir, al hacer referencia a este tipo de demanda se habla del producto terminado.

Se analizará la demanda de los productos por familia, es decir, adhesivos, acabados y boquilla. Para obtener estos datos se utilizará la herramienta de pronósticos, la cual, con base en las ventas pasadas proporciona datos confiables para predecir las demandas futuras de cada uno de los productos. Para ello se cuenta con los datos de ventas de 36 meses anteriores.

En la tabla I se muestran los datos correspondientes a la demanda de los últimos 3 años de adhesivos, acabados y boquilla. Siendo el mes 1 el más lejano y el 36 el mes anterior al presente. La demanda se presenta en unidades.

Tabla I. Demanda de productos

Mes	Adhesivos	Boquilla	Acabados
1	44801	15432	4628
2	41235	13648	3983
3	43600	13889	4521
4	41818	15467	5386
5	33905	10710	4361
6	33690	14102	3481
7	42395	13322	6664
8	45046	15812	5342
9	39690	14308	3460
10	46968	16330	5081
11	44755	14751	4412
12	45821	14340	5178
13	67534	22282	3656
14	59000	21314	5962
15	56199	18529	4678
16	55784	17913	3077
17	60305	16729	3453
18	51771	16041	3948
19	45198	15794	2940
20	44702	14185	3261
21	46111	15311	2004
22	50651	18695	3287
23	51683	17351	3716
24	50561	18876	4667
25	59278	18091	4739
26	58233	22024	5926
27	51004	19438	3466
28	56908	17173	4032
29	54370	18325	5065
30	47555	21106	6050
31	47645	12634	3939
32	43127	13324	7876
33	47372	16794	4317
34	58924	17742	4902
35	61423	20132	5276
36	49983	17073	5236

2.4.2 Demanda dependiente

Según los datos de la demanda independiente, se calcula la demanda dependiente que está formada por toda la materia prima. Para efectos de identificación los agregados serán A1, A2,..., A5; el cemento gris será C1, el blanco C2 y la cal C3. Los químicos se dividirán en aditamentos (B) y colorantes (D).

Para este tipo de demanda, los datos se obtienen por medio de una multiplicación simple, ya que si se demandan 100 sacos de adhesivo, la demanda de materiales es el porcentaje de material que lleva cada saco multiplicado por el número de sacos que se espera fabricar. La demanda de materiales es la siguiente:

Tabla II. Consumo de materiales para adhesivos

Material	%
C1	14.13%
C2	3.61%
A1	76.19%
A2	4.93%
B	1.14%

Tabla III. Consumo de materiales para boquilla

Material	%
C1	10.23%
C2	19.11%
A3	52.40%
A4	13.69%
B	0.62%
D1	3.94%

Tabla IV. Consumo de materiales para acabados

Material	%
C1	3.83%
C2	11.00%
C3	8.40%
A2	53.37%
A5	22.28%
B	0.89%
D2	0.23%

2.5 Nivel de eficiencia de los inventarios

El nivel de eficiencia del manejo de inventarios se obtiene restando el total de producto contado y la sumatoria de las diferencias en el inventario (el conteo físico menos la cantidad en el sistema) y este resultado se divide entre el total del producto contado. Para la fábrica de adhesivos, el nivel de eficiencia de los inventarios es de 72%, lo que indica que 28% del inventario tiene diferencias con el sistema debido a la falta de registro de algunos movimientos de los materiales, como las pérdidas por deterioro debidas al mal manejo. Sin embargo, no se puede determinar la causa exacta de la diferencia.

2.6 Manejo de materiales

El manejo de materiales puede llegar a ser un gran problema para la producción, porque no agrega valor al producto pero consume parte del presupuesto de manufactura. El manejo de materiales incluye consideraciones de movimiento, tiempo, lugar, cantidad y espacio. Primero, el manejo de materiales debe asegurar que materias primas, material en proceso, productos terminados y suministros se desplacen periódicamente de un lugar a otro. Segundo, cada operación del proceso requiere materiales y suministros a tiempo en un punto en particular, es decir, el eficaz manejo de materiales. Se asegura que los materiales serán llevados en el momento y al lugar adecuado, así como, la cantidad correcta. Por último, el manejo de materiales debe considerar el espacio para el almacenamiento.

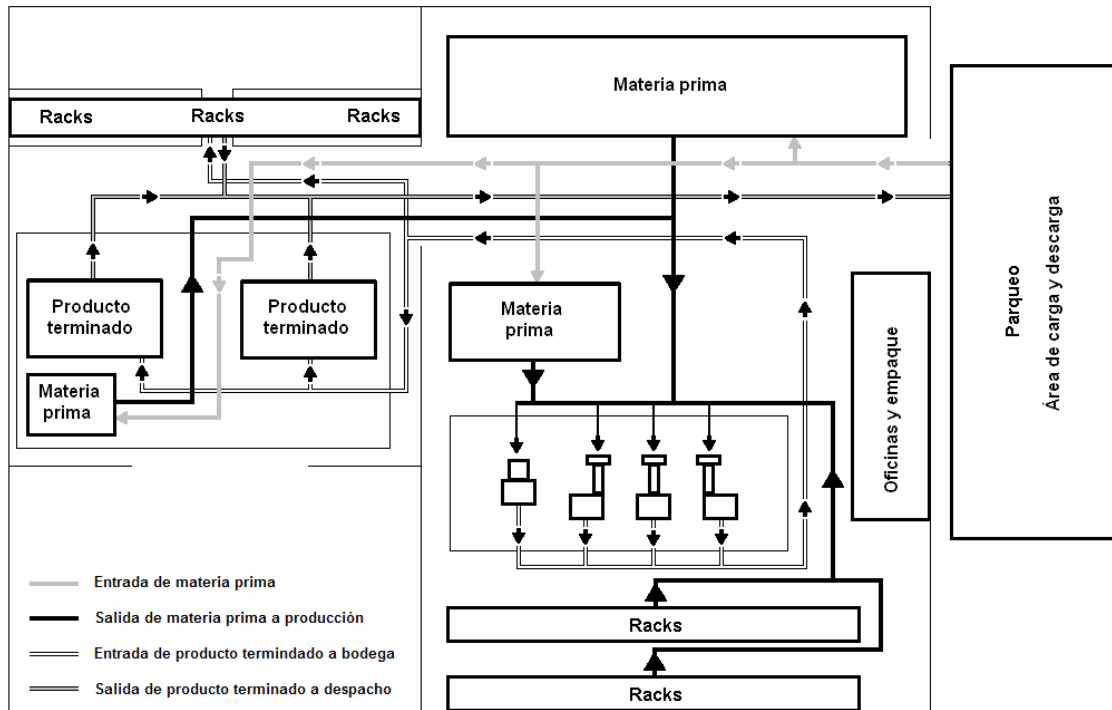
El movimiento de inventarios se hace por medio del sistema UEPS (último en entrar, primero en salir) pues por lo reducido de la bodega no hay suficiente espacio para dejar carrileras a ambos lados de las filas de materiales, El cemento tiene un tiempo de vida de 6 meses en almacén y el producto terminado tiene un tiempo similar, pero a este último se le agrega el deterioro del empaque por el manejo y el tiempo que pasa en bodega.

En la figura 11 se puede ver el movimiento que tienen los productos dentro de la planta. Los materiales se reciben en el área de parqueo (carga y descarga) y se ingresan al área correspondiente. La materia prima local se encuentra en la primera bodega, y cuando los materiales ya no caben en ésta, se ingresan a la bodega posterior. Los químicos se almacenan en los racks de la primera bodega, frente al área de producción.

El material que se va a utilizar en la producción se toma de estas áreas, se retira materia prima cada vez que se va a hacer un lote. El producto terminado se traslada a la bodega posterior, de donde se despacha el producto al cliente.

Como se puede ver en la figura, existe un exceso de manejo de materiales, ya que no todas las materias primas se encuentran cerca del área de producción por lo que cada vez que se va a producir un lote, se recorre una distancia larga con cada material. Además, el producto terminado se encuentra en el área más lejana a los despachos lo cual ocasiona pérdidas de tiempo, pues muchas veces un montacargas se encuentra llevando producto terminado hacia la bodega y el otro intenta sacar producto de la misma y se interceptan en el camino impidiendo el flujo continuo de los materiales.

Figura 11. Diagrama de recorrido de materiales



3. DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIO

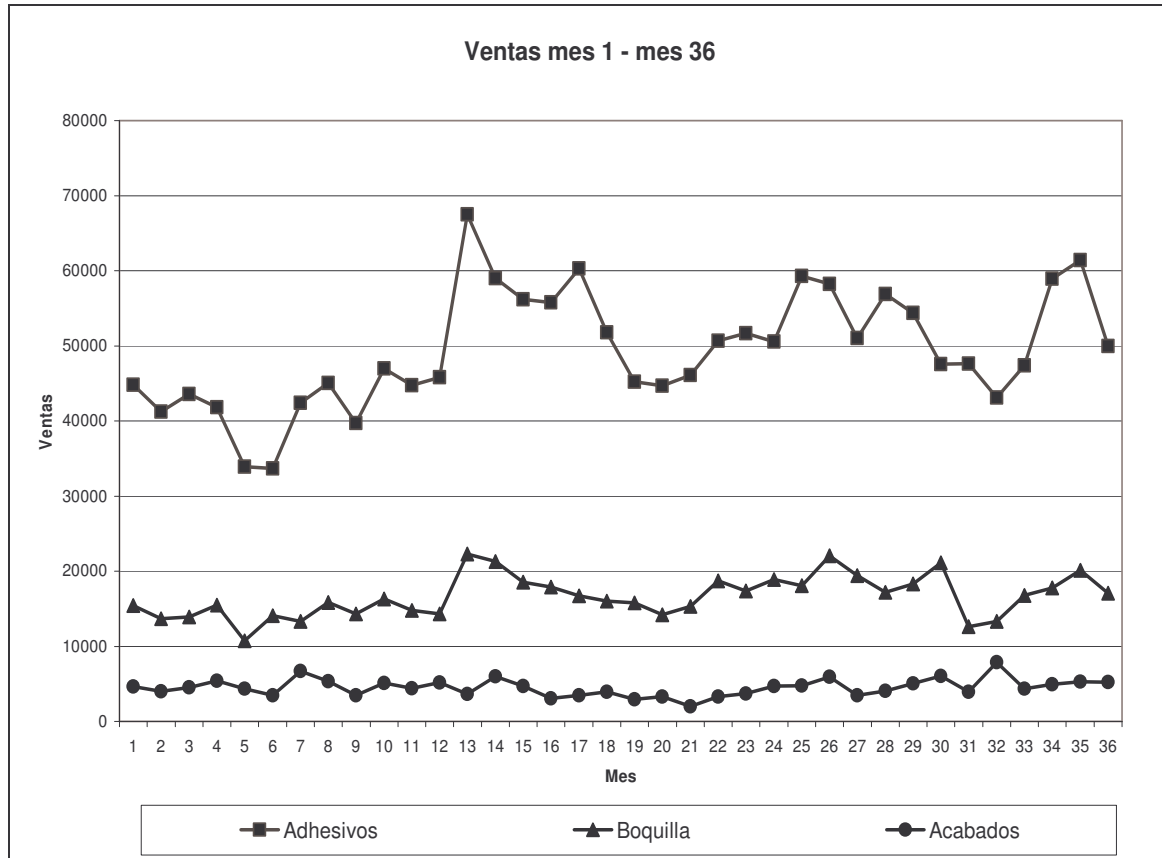
3.1 Pronóstico de la demanda

Es un estimado de la producción que se debe planificar en la planta de producción tomando como base las ventas anteriores del producto para predecir la demanda en el futuro. Los pronósticos pueden medir o cuantificar la variabilidad de la demanda durante el tiempo de espera. Este puede ser de utilidad para mantener niveles de existencias de seguridad adecuados. Estos son susceptibles de minimizar los costos, de llevar un inventario y de agotar existencias que se relacionan con estos productos.

3.1.1 Análisis de la demanda independiente

Para realizar los pronósticos, lo primero que debe hacerse es graficar la información de las ventas para determinar el comportamiento que tiene el producto. Al análisis de la gráfica de ventas se le llama análisis primario, ya que las curvas de la demanda dan una idea previa de la familia a la cual pertenece la gráfica. En la figura 12, se muestran las curvas de las 3 familias de productos.

Figura 12. Gráfica de la demanda de productos



En la figura se observa que los adhesivos presentan una curva combinada, cuya tendencia parece ser cíclica ascendente. Los acabados tienen una curva ascendente principalmente hacia el final del periodo de evaluación y la boquilla tiene una curva que podría clasificarse como combinada, cíclica con una tendencia ascendente. El método gráfico es muy subjetivo, por eso se presentan las tablas de los pronósticos de evaluación con el mejor método de cada familia de curvas para adhesivos, boquilla y acabados con el fin de determinar a qué familia de curvas pertenece cada familia de productos.

Familia de demanda estable. En este caso se aplicó el método de franja simulada (para comparar la familia estable con el resto de familias de curvas) al método que presentó el menor error acumulado al comparar dentro de la misma familia (las tablas de resultados de los diferentes métodos se encuentran en el apéndice). Los resultados de los adhesivos se muestran en la tabla V, en la que se utilizó el método de promedio móvil ponderado exponencialmente caso B, con $\alpha = 0.95$ ya que fue el α con menor error acumulado en la comparación de la familia estable. El número indica que el 5% de las causas de error en los pronósticos se deben al azar y el 95% al modelo.

Tabla V. Franja simulada, adhesivos

Promedio móvil ponderado exponencialmente
(caso B), adhesivos
 $\alpha = 0.950$

Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	53,667	-6,295	6,295
34	58,924	53,667	5,257	11,552
35	61,423	53,667	7,756	19,308
36	49,983	53,667	-3,684	22,992

Para hacer estos cálculos, primero se agrupan en 4 las ventas de los 3 años, es decir, se suma del periodo 1 al 4, del 5 al 8 y así sucesivamente. El número de datos que forma cada grupo es igual a la cantidad de períodos que se quiere pronosticar (los pronósticos se harán para 4 períodos). La tendencia se coloca en el último dato de ventas reales que se tomará en cuenta antes del período de evaluación (ver tabla VI). Para calcular la tendencia normal, es necesario conocer la tendencia básica que viene dada por:

$$\text{Tendencia básica} = \text{ventas}_{10} - \text{ventas}_9 = 225,423 - 199,006 = 26,417$$

Tabla VI. Cálculos para franja simulada, adhesivos

A = 0.950

Período	Venta real	Pronóstico	Tendencia	Error	Error acumulado
1					
2					
3					
4	171,454				
5	155,036				
6	177,234				
7	238,517				
8	201,976				
9	199,006				
10	225,423		26,417.00		
11	192,697	216,231	-29,768.85		
12	217,702	214,665	22,266.31	3,037	3,037

Conociendo la tendencia básica, se procede a calcular la tendencia normal del período 11, que es:

$$\text{Tendencia normal} = \alpha(\text{ventas}_{11} - \text{ventas}_{10}) + (1 - \alpha) * T_{\text{anterior}}$$

$$\text{Tendencia normal} = 0.95(192,697 - 225,423) + (1 - 0.95) * 26,417 = -29,768.85$$

Se necesita también un pronóstico anterior, que es el promedio de cuatro ventas anteriores, es decir, el pronóstico del período 11 es el promedio de los períodos 7 al 10. Con la tendencia ubicada un punto antes de la aplicación del pronóstico, se procede a realizar este cálculo de la siguiente manera:

$$P_{12} = P_{11} + ((1 - \alpha)/\alpha) * \text{Tendencia anterior}$$

$$P_{12} = 216,231 + ((1 - 0.95)/0.95) * (-29,768.85) = 214,665$$

El error no es más que las ventas reales del período menos su respectiva proyección ($Error_{12} = 217,702 - 214,665 = 3,037$). El último pronóstico que se obtiene de la tabla VI se divide en cuatro para obtener los pronósticos mostrados en la tabla de resultados. El error acumulado es la sumatoria del valor absoluto de los errores de cada período. Para el caso de los adhesivos, es de 22,992 unidades.

Para la boquilla se utilizó el método del promedio móvil ponderado exponencialmente caso B. Para el cálculo se utilizó $\alpha = 0.85$, lo que indica que la variación entre el pronóstico y la venta real se debe a problemas del modelo. Los cálculos se muestran en la tabla VII y los resultados en la tabla VIII.

Tabla VII. Cálculos para franja simulada, boquilla

$\alpha = 0.85$

Período	Venta real	Pronóstico	Tendencia	Error	Error acumulado
1					
2					
3					
4	58,436				
5	53,946				
6	59,729				
7	80,038				
8	62,749				
9	70,233				
10	76,726		6,493		
11	65,389	72,437	-8,663		
12	71,741	70,909	4,100	832	832

Tabla VIII. Franja simulada, boquilla

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B),
boquilla

$\alpha = 0.850$

Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	16,794	17,685	-891	891
34	17,742	17,685	57	948
35	20,132	17,685	2,447	3,395
36	17,073	17,685	-612	4,007

Para los acabados se utilizó el método del promedio móvil ponderado exponencialmente caso A. Para el cálculo se utilizó $\alpha = 0.053$, que indica que la variación entre el pronóstico y la venta real se debe al azar. Al igual que en el método anterior, se agrupan los datos de cuatro en cuatro. Para calcular el pronóstico del período 11 se calcula el promedio de los datos de los cuatro períodos anteriores (períodos del 7 al 10), esto es 15,703 unidades. El pronóstico del periodo 12 es:

$$P_{12} = P_{11} + \alpha * Error_{11}$$

$$P_{12} = 15,703 + 0.053(22,930 - 15,703) = 16,086$$

Así se calculan los pronósticos siguientes y después la última proyección (período 12) de la tabla IX se divide en cuatro, éste es el pronóstico de los meses 33 al 36, que se muestran en la tabla X.

Tabla IX. Cálculos para franja simulada, acabados

$\alpha = 0.053$

Período	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
1				
2				
3				
4	18,518			
5	19,848			
6	18,131			
7	17,373			
8	13,602			
9	13,674			
10	18,163			
11	22,930	15,703		
12	19,731	16,086	3,645	3,645

Tabla X. Franja simulada, acabados

Promedio móvil ponderado exponencialmente
(caso A), acabados

$\alpha = 0.053$

Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	4,317	4,022	295	295
34	4,902	4,022	880	1,175
35	5,276	4,022	1,254	2,429
36	5,236	4,022	1,214	3,643

Familia de curvas ascendentes-descendentes. En este caso, A es el valor del eje Y cuando es interceptado por la curva; B es el valor de la pendiente y R es el coeficiente de correlación de los datos. El modelo geométrico se basa en la ecuación:

$$Y = AX^B$$

Esta ecuación se adapta al método lineal ($Y=A+BX$, donde Y es la demanda, A el intercepto, B la pendiente y X el período correspondiente) por medio de la aplicación del logaritmo natural. Queda así: $\ln Y = \ln A + B \ln X$, donde $\ln Y$ es la demanda, $\ln A$ es el intercepto, B es la pendiente y $\ln X$ es el período de tiempo a calcular. Para obtener el resultado real, se debe aplicar el antilogaritmo al final del cálculo. Además, se calcula el coeficiente de correlación de los datos (R), el cual se obtiene directamente de la hoja de cálculo, utilizando la función de correlación, para la cual se ingresan únicamente los rangos de datos de $\ln X$ y $\ln Y$ del período 1 al 32.

Hecha la similitud de la ecuación de la recta y el modelo geométrico, se hacen los cálculos de las ecuaciones normales que quedan así:

$$\ln A = \frac{\sum (\ln Y) * \sum (\ln X)^2 - \sum (\ln X) * (\sum (\ln X \ln Y))}{N * (\sum (\ln X)^2) - (\sum \ln X)^2}$$

$$B = \frac{N * (\sum (\ln X \ln Y)) - \sum (\ln X) * \sum (\ln Y)}{N * (\sum (\ln X)^2) - (\sum \ln X)^2}$$

Para realizar estos cálculos, es necesario hacer una tabla donde se calcule el $\ln Y$, $\ln X$, etc. En 32 datos que se utilizan para hacer el pronóstico de evaluación, si fuera el pronóstico de riesgo, se utilizarían los 36 datos de ventas con que se cuenta (ver tabla XXIX en el apéndice), luego se hace la sumatoria de cada una de las columnas para insertar esos valores en las fórmulas anteriores.

$$\ln A = \frac{345.058 * 230.573 - 81.558 * 881.637}{32 * 230.573 - 81.558^2} = 10.537$$

$$A = e^{10.537} = 37684.378$$

$$B = \frac{32 * 881.637 - 81.558 * 345.058}{32 * 230.573 - 81.558^2} = 0.09654$$

Tabla XI. Familia de curvas ascendente-descendente, adhesivos

Modelo geométrico

Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	52,816	-5,444	5,444
34	58,924	52,968	5,956	11,400
35	61,423	53,117	8,306	19,706
36	49,983	53,261	-3,278	22,984

A= 37684.378

B= 0.096543353

R= 0.5168497

Así, el pronóstico del mes 33 está dado por la fórmula:

$$Y_{33} = A * 33^B = 37684.378 * 33^{.096543} = 52,816$$

Para la boquilla, el modelo que da como resultado el menor error para la familia ascendente-descendente es el geométrico (ver tabla XII). Se resuelve de la misma forma que el de los adhesivos. Para ver las tablas de los demás modelos, ver el apéndice.

Tabla XII. Familia de curvas ascendente-descendente, boquilla

Modelo geométrico

Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	16,794	17,655	-861	861
34	17,742	17,702	40	901
35	20,132	17,747	2,385	3,286
36	17,073	17,791	-718	4,005

A= 12970.258

B= 0.088195017

R= 0.4357

Para la familia de acabados, se utiliza el modelo lineal que se basa en la ecuación de la recta:

$$Y = A + BX$$

Para su resolución, no es necesario aplicar el antilogaritmo, ya que las fórmulas originales son:

$$A = \frac{\sum Y * \sum (X)^2 - \sum (X) * \sum (XY)}{N * \sum (X)^2 - (\sum X)^2}$$

$$B = \frac{N * (\sum (XY) - \sum (X) * \sum (Y))}{N * \sum (X)^2 - (\sum X)^2}$$

Una vez calculados los valores de A y B, se sustituyen en la ecuación de la recta para calcular el pronóstico de los meses 33 al 36 (ver resultados en tabla XIII).

$$Y_{33} = 4,323.2601 + 7.376282991 * 33 = 4,567$$

Tabla XIII. Familia de curvas ascendente-descendente, acabados

Modelo lineal

Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	4,317	4,567	-250	250
34	4,902	4,574	328	578
35	5,276	4,581	695	1,272
36	5,236	4,589	647	1,919

A= 4323.2601

B= 7.376282991

R= 0.0569649

Familia de curvas cíclicas. Éstas se comportan de una forma diferente al resto de familias, ya que su tendencia es repetitiva en un período de tiempo dado. La relación que hay entre los datos no es una relación horizontal, es vertical, ya que el comportamiento se repite, por ejemplo, cada año. Enero puede que no tenga relación con febrero, pero tiene relación con enero de otros años. En las tablas XIV, XV y XVI se muestran los resultados del análisis cíclico de cada una de las familias de productos.

Tabla XIV. Familia de curvas cíclicas, adhesivos

Periodo	Año 1	Año 2	Promedio	Índice	Pronóstico	Año 3	Error	Error acumulado
1	44,801	67,534						
2	41,235	59,000						
3	43,600	56,199						
4	41,818	55,784						
5	33,905	60,305						
6	33,690	51,771						
7	42,395	45,198						
8	45,046	44,702						
9	39,690	46,111	42,900.5	0.901	41,529	47,372	5,843	5,843
10	46,968	50,651	48,809.5	1.025	51,901	58,924	7,023	12,866
11	44,755	51,683	48,219	1.012	52,318	61,423	9,105	21,971
12	45,821	50,561	48,191	1.012	51,152	49,983	-1,169	23,140

Promedio (X) = 47,634.29167

Para calcular un pronóstico en este método, se utiliza la fórmula $P = XI$, donde P es el pronóstico, X es el promedio vertical de los datos de ventas conocidos e I es el índice estacional del período, que es igual al promedio horizontal del período dividido entre el promedio vertical del juego completo de datos ($I = \text{Promedio horizontal} / X$). Para el pronóstico de evaluación, se utilizan los dos primeros años de datos, ya que es necesario tener las ventas en múltiplos de 12. Así, el promedio vertical es la sumatoria de las ventas del año 1 y 2 dividido 24, esto es igual a 47,634.29167. Como se quiere calcular el dato del período 9 del año 3, se calcula el índice de ese período,

$$I_9 = (39,690 + 46,111 / 2) / 47,634.29167 = 0.901$$

El pronóstico del mes 9 es:

$$P_9 = 47,634.29167 * 0.901 = 41,529$$

Este dato debe compararse con las ventas reales del período 9 del año 3 para calcular el error, así sucesivamente se calculan los pronósticos de los períodos siguientes. Si este método presentara el menor error entre todas las familias, el pronóstico de riesgo se deberá calcular utilizando los 36 datos con que se cuenta.

Tabla XV. Familia de curvas cíclicas, boquilla

Periodo	Año 1	Año 2	Promedio	Índice	Pronóstico	Año 3	Error	Error acumulado
1	15,432	22,282						
2	13,648	21,314						
3	13,889	18,529						
4	15,467	17,913						
5	10,710	16,729						
6	14,102	16,041						
7	13,322	15,794						
8	15,812	14,185						
9	14,308	15,311	14,809.5	0.9229	14,131	16,794	2,663	2,663
10	16,330	18,695	17,512.5	1.0913	20,403	17,742	-2,661	5,324
11	14,,751	17,351	16,051	1.0002	17,356	20,132	2,776	8,100
12	14,340	18,876	16,608	1.0350	19,536	17,073	-2,463	10,563

Promedio (X) = 16,047.125

Tabla XVI. Familia de curvas cíclicas, acabados

Período	Año 1	Año 2	Promedio	Índice	Pronóstico	Año 3	Error	Error acumulado
1	4,628	3,656						
2	3,983	5,962						
3	4,521	4,678						
4	5,386	3,077						
5	4,361	3,453						
6	3,481	3948						
7	6,664	2,940						
8	5342	3,261						
9	3,460	2,004	2,732	0.6483	1,300	4,317	3,017	3,017
10	5,081	3,287	4,184	0.9928	3,264	4,902	1,638	4,655
11	4,412	3,716	4,064	0.9643	3,584	5,276	1,692	6,347
12	5,178	4,667	4,922.5	1.1680	5,452	5,236	-216	6,563

Promedio (X)= 4,214.416667

Familia de curvas combinadas. En ésta se determina el pronóstico de los productos que, además de tener un ciclaje en el tiempo, tienen una tendencia ascendente o descendente. Para llevar a cabo este procedimiento, se debe hacer una nueva tabla con los datos de ventas transformados por medio de la pendiente de la curva de la familia ascendente-descendente que dé como resultado el menor error en el pronóstico de evaluación. Luego, se deben encontrar los índices estacionarios y calcular el pronóstico. En las tablas XVII, XVIII y XIX se muestran los resultados del pronóstico de evaluación para cada familia de productos.

Tabla XVII. Familia de curvas combinadas, adhesivos

Adhesivos

$B = 0.096543353$ $R = 0.516849701$

Mes	Año 1	Año 2	Datos corregidos		Promedio	Índice	Pronóstico	Año 3	Error	Error acumulado
1	44,801	67,534	44,801	67,533	56,167	1.179				
2	41,235	59,000	41,235	58,999	50,117	1.052				
3	43,600	56,199	43,600	56,198	49,899	1.048				
4	41,818	55,784	41,818	55,783	48,801	1.024				
5	33,905	60,305	33,905	60,304	47,105	0.989				
6	33,690	51,771	33,690	51,770	42,730	0.897				
7	42,395	45,198	42,395	45,197	43,796	0.919				
8	45,046	44,702	45,046	44,701	44,874	0.942				
9	39,690	46,111	39,690	46,109	42,900	0.901	42,922	47,372	4,450	4,450
10	46,968	50,651	46,968	50,649	48,809	1.025	48,830	58,924	10,094	14,544
11	44,755	51,683	44,754	51,681	48,218	1.012	48,210	61,423	13,213	27,757
12	45,821	50,561	45,820	50,559	48,190	1.012	48,211	49,983	1,772	29,529

Promedio (X corregido) = 47634
Promedio (X originales) = 47,635

Para transformar los datos originales, se utiliza la siguiente fórmula (B es la pendiente del método de la familia ascendente- descendente que tiene la mejor correlación):

$$\text{Dato nuevo} = \text{dato original} - B * \text{Mes}$$

Entonces, para calcular el dato nuevo del mes o período 9 del año 1, la fórmula queda así:

$$\text{Dato nuevo (9,1)} = 39,690 - 0.096543353*9 = 396,890$$

Así se calculan cada uno de los 24 datos. Para calcular el pronóstico, se utiliza la fórmula siguiente:

$$P = \text{Promedio vertical de datos originales} * \text{índice} + B * \text{Periodo}$$

El promedio vertical es el promedio de los 24 datos originales. El índice, al igual que el la familia cíclica, se calcula por medio de la fórmula:

$$I = \text{Promedio horizontal datos corregidos} / \text{Promedio vertical datos corregidos}$$

Así, el primer pronóstico de la tabla XVII se calcula de la siguiente manera:

$$P_{33} = 47,634 * 0.901 + 0.096543353 * 33 = 42,922$$

Tabla XVIII. Familia de curvas combinadas, boquilla

Boquilla

B= 0.088195017 R= 0.435700048

Mes	Año 1	Año 2	Datos corregidos		Promedio	Índice	Pronóstico	Año 3	Error	Error acumulado
1	15,432	22,282	15,432	22,281	18,856.5	1.175				
2	13,648	21,314	13,648	21,313	17,480.5	1.089				
3	13,889	18,529	13,889	18,528	16,208.5	1.010				
4	15,467	17,913	15,467	17,912	16,689.5	1.040				
5	10,710	16,729	10,710	16,728	13,719.0	0.855				
6	14,102	16,041	14,102	16,040	15,071.0	0.939				
7	13,322	15,794	13,322	15,793	14,557.5	0.907				
8	15,812	14,185	15,812	14,184	14,998.0	0.935				
9	14,308	15,311	14,308	15,310	14,809.0	0.923	14,816	16,794	1,978	1,978
10	16,330	18,695	16,330	18,694	17,512.0	1.091	17,512	17,742	230	2,208
11	14,751	17,351	14,751	17,349	16,050.0	1.000	16,052	20,132	4,080	6,288
12	14,340	18,876	14,339	18,874	16,606.5	1.035	16,613	17,073	460	6,748

Promedio (X corregido) = 16,047

Promedio (X originales) = 16,048

Tabla XIX. Familia de curvas combinadas, acabados

Acabados

$B = -2.44E-02$ $R = -0.075876141$

Mes	Año 1	Año 2	Datos corregidos	Promedio	Índice	Pronóstico	Año 3	Error	Error acumulado
1	4,628	3,656	4,629	4,143.0	0.983				
2	3,983	5,962	3,984	4,973.5	1.180				
3	4,521	4,678	4,522	4,600.5	1.091				
4	5,386	3,077	5,387	4,232.5	1.004				
5	4,361	3,453	4,362	3,908.0	0.927				
6	3,481	3,948	3,482	3,715.5	0.881				
7	6,664	2,940	6,665	4,803.0	1.139				
8	5,342	3,261	5,343	4,302.5	1.021				
9	3,460	2,004	3,461	2,733.0	0.648	2,731	4,317	1,586	1,586
10	5,081	3,287	5,082	4,185.0	0.993	4,185	4,902	717	2,303
11	4,412	3,716	4,413	4,065.0	0.964	4,063	5,276	1,213	3,516
12	5,178	4,667	5,179	4,923.5	1.168	4,923	5,236	313	3,829

Promedio (X corregido) = 4216
 Promedio (X originales) = 4,215

Luego de calcular los pronósticos de evaluación de cada una de las familias, se procede a comparar los resultados de los errores acumulados de cada uno de los métodos utilizados. En la tabla XX, se observan los resultados para la familia de adhesivos. El menor error acumulado se obtiene al calcular los pronósticos con el método de la familia ascendente-descendente. Esto indica que la demanda de adhesivos tiene un incremento geométrico a través del tiempo. Con base en este método se hará el pronóstico de riesgo.

Tabla XX. Comparación de la familia adhesivos

Familia	Método	Error acumulado
Estable	Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B)	22,992
Ascendente-descendente	Geométrico	22,984
Cíclico		23,140
Combinada		29,529

Para el caso de la boquilla, el método que resulta más adecuado para calcular los pronósticos de riesgo, al igual que en el caso de los adhesivos, es el geométrico de la familia ascendente-descendente (ver tabla XXI).

Tabla XXI. Comparación de la familia boquilla

Familia	Método	Error acumulado
Estable	Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B)	4,007
Ascendente-descendente	Geométrico	4,005
Cíclico		10,563
Combinada		6,748

En la familia de los acabados, el menor error se obtiene también en la familia ascendente-descendente; pero utilizando el modelo lineal, en vez del geométrico, para calcular el pronóstico de riesgo (ver tabla XXII).

Tabla XXII. Comparación de la familia acabados

Familia	Método	Error acumulado
Estable	Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A)	3,643
Ascendente-descendente	Lineal	1,919
Cíclico		6,563
Combinada		3,829

Habiendo definido el método para calcular cada uno de los pronósticos de riesgo, se procede a aplicar las fórmulas para obtener los datos de los siguientes cuatro meses de demanda. En las tablas XXIII y XXIV se muestran las demandas proyectadas para los meses 37, 38, 39 y 40 para cada una de las familias de productos. En la primera se presentan los resultados en sacos y en la segunda, en toneladas.

Tabla XXIII. Pronósticos de riesgo en sacos por familia

Mes	Adhesivos	Boquilla	Acabados
37	53,662	17,875	4,751
38	53,805	17,918	4,765
39	53,944	17,960	4,778
40	54,079	18,001	4,792

Tabla XXIV. Pronósticos de riesgo en toneladas por familia

Mes	Adhesivos	Boquilla	Acabados
37	1,073	179	190
38	1,076	179	191
39	1,079	180	191
40	1,082	180	192

3.1.2 Análisis de la demanda dependiente

En las tablas II, III y IV (capítulo 2) se describe la demanda de los materiales, en porcentaje, para cada una de las familias. Por ejemplo, para calcular la demanda de cemento C1, se multiplica el porcentaje de éste que llevan los adhesivos por la cantidad de toneladas de adhesivo que se demanda al mes, más el porcentaje de C1 para la boquilla por las toneladas de la misma; a esto se le suma el porcentaje de C1 que se utiliza para los acabados por la cantidad de toneladas que se demandan de éstos. El resultado que se obtiene son las toneladas que se requieren al mes del material C1, el mismo procedimiento se realiza para cada uno de los materiales siguientes. En la tabla XXV se muestra el requerimiento de materiales para cada uno de los meses pronosticados.

Tabla XXV. Planeación de requerimiento de materiales en toneladas por mes

Mes	C1	C2	C3	A1	A2	A3	A4	A5	B	D
37	177.21	93.81	15.96	817.71	154.34	93.67	24.47	42.34	15.03	7.04
38	177.68	94.05	16.01	819.88	154.77	93.89	24.53	42.46	15.07	7.06
39	178.14	94.29	16.06	821.99	155.20	94.11	24.59	42.58	15.11	7.08
40	178.58	94.53	16.10	824.06	155.62	94.32	24.64	42.71	15.15	7.09

3.2 Modelo y tipo de inventario por utilizar

El tipo de inventario por utilizar, en el caso del producto terminado, será un modelo de cantidad fija de pedido en tiempo de producción. Para realizar los cálculos, no se tomarán en cuenta faltantes ya que el objetivo de la empresa es satisfacer toda la demanda en el momento preciso con el fin de evitar pérdidas en el mercado. Se harán los cálculos en semanas, ya que las corridas de producción deberán ser largas para evitar lo más posible la incursión en gastos de preparación de maquinaria cuando se hace cambio de producto.

El inventario de materiales se manejará por medio de la planeación de recursos de manufactura. Y los pedidos se harán en cantidades fijas, ya que los proveedores no despachan cantidades menores. Los pedidos para cada materia prima se deberán hacer en múltiplos de las siguientes cantidades de toneladas: C1, 22; C2, 17 ó 23.8; C3, 10; A1, 18; A2, 17; A3 15 ó 22; A4, 16; A5, 17 y B junto con D en múltiplos de 24 toneladas puesto que los proveedores sólo manejan estas cantidades de entrega porque tienen precios fijos en sus productos y éstos incluyen el flete, por lo que no les es rentable enviar cantidades menores.

La materia prima local se recibe 2 días después de hacer el pedido (0.364 semanas), y la importada se toma 1 mes (4 semanas para efectos de cálculo) en llegar a Guatemala desde el día en que se hace el pedido.

3.3 Definición de los niveles óptimos de inventario

Para definir los niveles óptimos de inventario, se tomará como base la demanda de los productos al definir la cantidad de producto que se requiere para surtir la demanda sin permitir faltantes, ya que cuando existen varios productos similares, la empresa no puede permitir la oportunidad a otra para que tome parte de su mercado.

3.3.1 Inventario de producto terminado

La demanda mensual de los productos y el costo anual de mantenimiento de una unidad de inventario (H) es Q. 8.00. El costo de preparación de un pedido (S) se estima en Q.20.80, que para el caso del producto terminado representa el valor de las horas hombre empleadas en la preparación de las máquinas y en la planeación de la producción. Se trabaja en lotes de 100 sacos para el caso de los adhesivos y la boquilla, y lotes de 50 para los acabados.

En el caso de los adhesivos, la demanda semanal es de 13,416 y la tasa de producción es de 18,700; la boquilla tiene una demanda semanal de 4,669 y una capacidad de producción de 4,950. Los acabados se producen a una tasa de 825 a la semana y la demanda es de 1,188; en este punto se tiene un déficit de 363 sacos; el problema se corrige restando capacidad para producir adhesivos y agregándola a los acabados: por cada 2 bolsas de adhesivos se produce una de acabados. Al ajustar la tasa de producción de los acabados a 1,500 para tener holgura, la tasa de los adhesivos queda en 17,350.

La programación de producción se hace semanal, para que las corridas sean largas pues el tiempo que se pierde en la preparación de la maquinaria por cambio de productos es una tercera parte de la jornada. El período que transcurre entre el requerimiento de producción y la corrida es de 3 días (0.5454 semanas, esto es L); entonces la demanda de los productos queda como se muestra en la tabla XXVI.

Tabla XXVI. Demanda semanal promedio de productos

Mes	Adhesivos	Boquilla	Acabados
37	13,416	4,469	1,188
38	13,451	4,480	1,191
39	13,486	4,490	1,195
40	13,520	4,500	1,198

Aplicando las fórmulas descritas en el capítulo 1, con la variación de tasas de producción y de demanda semanales en vez de diarias, para el modelo de cantidad fija de pedido durante el tiempo de producción, se obtiene la tabla XXVII donde se muestran los niveles de inventario para cada una de las familias de productos.

Tabla XXVII. Niveles de inventario en unidades

Mes	Adhesivos			Boquilla			Acabados		
	Q_{opt}	R	T	Q_{opt}	R	T	Q_{opt}	R	T
37	3843	7317	0.22	3388	2437	0.68	1193	648	0.80
38	3865	7336	0.22	3430	2443	0.69	1202	650	0.80
39	3888	7355	0.22	3473	2449	0.70	1210	652	0.81
40	3910	7374	0.23	3516	2454	0.71	1219	653	0.81

Para calcular el Q_{opt} , se multiplica la demanda del mes en cuestión por 12 para obtener un dato de la demanda anual asumiendo que se mantiene todo el año. Para cada uno de los meses, a continuación se muestra el cálculo de la cantidad óptima que se debe producir, el nivel de reorden y el tiempo del ciclo para el mes 37 de adhesivos.

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2DS}{H} \frac{p}{(p-d)}} = \sqrt{\frac{2 * (53,662 * 12) * 20.80}{8} * \frac{17,350}{(17,350 - 13,416)}} = 3,843$$

$$R = \bar{d}L = 13,416 * .5454 = 7,317$$

$$T = Q_{opt} / p = 3,843 / 17,350 = 0.2215 \text{ semanas} = 1.22 \text{ días}$$

3.3.2 Inventario de materia prima

En la tabla XXVIII se muestra el requerimiento de materiales semanal en cada uno de los meses que se están analizando; los pedidos se harán 2 días antes de la utilización del material. En lo referente a materia prima, se debe pedir el material para recibirlo el día que se va a utilizar y no hacer otro pedido hasta que el material sea suficiente únicamente para producir dos días más (tiempo de entrega) según el programa de producción. Para la materia prima importada se harán los pedidos con un mes de anticipación. En la tabla, aparece la semana en la que debe entrar el pedido, por ejemplo, en la semana 10 debe ingresar un pedido, por lo que la requisición debe hacerse en la semana 6. La matriz de requerimiento de materiales se basa en la demanda mostrada en la tabla XXV; la demanda de una semana es la del mes dividido 4.

Tabla XXVIII. Matriz de requerimiento de materiales en toneladas

	Mes	37			
	Semanas	1	2	3	4
C1	Cantidad requerida	44.30	44.30	44.30	44.30
	Pedido	66.00	44.00	44.00	44.00
	Inventario final	21.70	21.40	21.10	20.80
C2	Cantidad requerida	23.45	23.45	23.45	23.45
	Pedido	34.00	17.00	23.80	23.80
	Inventario final	10.55	4.10	4.45	4.80
C3	Cantidad requerida	3.99	3.99	3.99	3.99
	Pedido	10.00	0.00	10.00	0.00
	Inventario final	6.01	2.02	8.03	4.04
A1	Cantidad requerida	204.43	204.43	204.43	204.43
	Pedido	216.00	198.00	216.00	198.00
	Inventario final	11.57	5.14	16.71	10.28
A2	Cantidad requerida	38.58	38.58	38.58	38.58
	Pedido	51.00	34.00	34.00	51.00
	Inventario final	12.42	7.84	3.26	15.68
A3	Cantidad requerida	23.42	23.42	23.42	23.42
	Pedido	30.00	22.00	22.00	22.00
	Inventario final	6.58	5.16	3.74	2.32
A4	Cantidad requerida	6.12	6.12	6.12	6.12
	Pedido	16.00	0.00	16.00	0.00
	Inventario final	9.88	3.76	13.64	7.52
A5	Cantidad requerida	10.59	10.59	10.59	10.59
	Pedido	17.00	17.00	0.00	17.00
	Inventario final	6.41	12.82	2.23	8.64
B y D	Cantidad requerida	5.52	5.52	5.52	5.52
	Pedido	24.00	0.00	0.00	0.00
	Inventario final	18.48	12.96	7.44	1.92

Continuación

		Mes	38			
		Semanas	5	6	7	8
C1	Cantidad requerida	44.42	44.42	44.42	44.42	44.42
	Pedido	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
	Inventario final	20.38	19.96	19.54	19.12	19.12
C2	Cantidad requerida	23.51	27.46	27.46	27.46	27.46
	Pedido	23.80	23.80	34.00	23.80	23.80
	Inventario final	5.09	1.43	7.97	4.31	4.31
C3	Cantidad requerida	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Pedido	0.00	10.00	0.00	10.00	10.00
	Inventario final	0.04	6.04	2.04	8.04	8.04
A1	Cantidad requerida	204.97	204.97	204.97	204.97	204.97
	Pedido	198.00	216.00	198.00	198.00	198.00
	Inventario final	3.31	14.34	7.37	0.40	0.40
A2	Cantidad requerida	38.69	38.69	38.69	38.69	38.69
	Pedido	34.00	34.00	34.00	51.00	51.00
	Inventario final	10.99	6.30	1.61	13.92	13.92
A3	Cantidad requerida	23.47	23.47	23.47	23.47	23.47
	Pedido	22.00	30.00	22.00	22.00	22.00
	Inventario final	0.85	7.38	5.91	4.44	4.44
A4	Cantidad requerida	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13
	Pedido	0.00	16.00	0.00	16.00	16.00
	Inventario final	1.39	11.26	5.13	15.00	15.00
A5	Cantidad requerida	10.62	10.62	10.62	10.62	10.62
	Pedido	17.00	0.00	17.00	0.00	0.00
	Inventario final	15.02	4.40	10.78	0.16	0.16
B y D	Cantidad requerida	4.53	4.53	4.53	4.53	4.53
	Pedido	24.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Inventario final	21.39	16.86	12.33	7.80	7.80

Continuación

	Mes	39			
	Semanas	9	10	11	12
C1	Cantidad requerida	44.53	44.53	44.53	44.53
	Pedido	44.00	44.00	44.00	44.00
	Inventario final	18.59	18.06	17.53	17.00
C2	Cantidad requerida	23.57	23.57	23.57	23.57
	Pedido	23.80	23.80	23.80	23.80
	Inventario final	4.54	4.77	5.00	5.23
C3	Cantidad requerida	4.01	4.01	4.01	4.01
	Pedido	0.00	0.00	10.00	0.00
	Inventario final	4.03	0.02	6.01	2.00
A1	Cantidad requerida	205.50	205.50	205.50	205.50
	Pedido	216.00	198.00	216.00	198.00
	Inventario final	10.90	3.40	13.90	6.40
A2	Cantidad requerida	38.80	38.80	38.80	38.80
	Pedido	34.00	34.00	51.00	34.00
	Inventario final	9.12	4.32	16.52	11.72
A3	Cantidad requerida	23.53	23.53	23.53	23.53
	Pedido	22.00	22.00	30.00	22.00
	Inventario final	2.91	1.38	7.85	6.32
A4	Cantidad requerida	6.15	6.15	6.15	6.15
	Pedido	0.00	0.00	16.00	0.00
	Inventario final	8.85	2.70	12.55	6.40
A5	Cantidad requerida	10.65	10.65	10.65	10.65
	Pedido	17.00	17.00	0.00	17.00
	Inventario final	6.51	12.86	2.21	8.56
B y D	Cantidad requerida	5.55	5.55	5.55	5.55
	Pedido	0.00	24.00	0.00	0.00
	Inventario final	2.25	20.70	15.15	9.60

Continuación

		Mes	40			
		Semanas	13	14	15	16
C1	Cantidad requerida	44.65	44.65	44.65	44.65	44.65
	Pedido	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
	Inventario final	16.35	15.70	15.05	14.40	
C2	Cantidad requerida	23.63	23.63	23.63	23.63	23.63
	Pedido	23.80	23.80	23.80	23.80	23.80
	Inventario final	5.40	5.57	5.74	5.91	
C3	Cantidad requerida	4.03	4.03	4.03	4.03	4.03
	Pedido	10.00	0.00	10.00	0.00	
	Inventario final	7.97	3.94	9.91	5.88	
A1	Cantidad requerida	206.02	206.02	206.02	206.02	206.02
	Pedido	216.00	198.00	198.00	216.00	
	Inventario final	16.38	8.36	0.34	10.32	
A2	Cantidad requerida	38.91	38.91	38.91	38.91	38.91
	Pedido	34.00	34.00	51.00	34.00	
	Inventario final	6.81	1.90	13.99	9.08	
A3	Cantidad requerida	23.58	23.58	23.58	21.44	
	Pedido	22.00	22.00	22.00	22.00	
	Inventario final	4.74	3.16	1.58	2.14	
A4	Cantidad requerida	6.16	6.16	6.16	6.16	6.16
	Pedido	0.00	16.00	0.00	16.00	
	Inventario final	0.24	10.08	3.92	13.76	
A5	Cantidad requerida	10.68	10.68	10.68	10.68	10.68
	Pedido	17.00	0.00	17.00	17.00	
	Inventario final	14.88	4.20	10.52	16.84	
7B y D	Cantidad requerida	5.56	5.56	5.56	5.56	5.56
	Pedido	0.00	24.00	0.00	0.00	
	Inventario final	4.04	22.48	16.92	11.36	

3.4 Análisis de inventario justo a tiempo

El inventario justo a tiempo (*just in time*, JIT) es una filosofía de trabajo en la que los materiales llegan justo a tiempo, ya sea para la fabricación o para el servicio al cliente. Se dice que es una filosofía, ya que no afecta únicamente el proceso productivo, sino que también lo hace directamente sobre el personal, la forma de trabajo, los proveedores, etc. Se basa en la reducción de desperdicios, esto es, todo lo que no se necesita en el momento.

Las actividades del JIT están diseñadas para lograr un alto volumen de producción, utilizando inventarios mínimos de materia prima, trabajo en proceso y productos terminados. Las piezas llegan a la siguiente estación de trabajo a tiempo y se completan y pasan por la operación rápidamente. Nada se produce hasta que se necesita y la necesidad se crea por la demanda real de un producto. En teoría, cuando se vende un producto, el mercado toma un reemplazo del último eslabón en el sistema, lo cual activa una orden a la línea de producción de la fábrica, en donde un trabajador pide otra unidad de la estación anterior, que sería materia prima.

Visto desde un punto de vista económico, implementar el JIT representa un ahorro considerable para la compañía, pues al reducir los inventarios, se reduce el costo de almacenaje de los materiales. El sistema se apoya mucho en el compromiso de los proveedores de llevar la materia prima en el momento justo.

El JIT requiere de una programación estable en un horizonte de tiempo prolongado. En la industria de los adhesivos para cerámica en Guatemala se maneja mucha incertidumbre, ya que una parte considerable de las ventas se da en proyectos habitacionales, esto hace que la demanda pueda variar de un día para otro y si no se cuenta con los productos o la materia prima para fabricarlos en el momento que el cliente lo solicita, se pierde esa venta y como consecuencia se puede perder parte del mercado, pues si la empresa no cuenta con el inventario para surtir esa demanda, otra empresa lo surtirá.

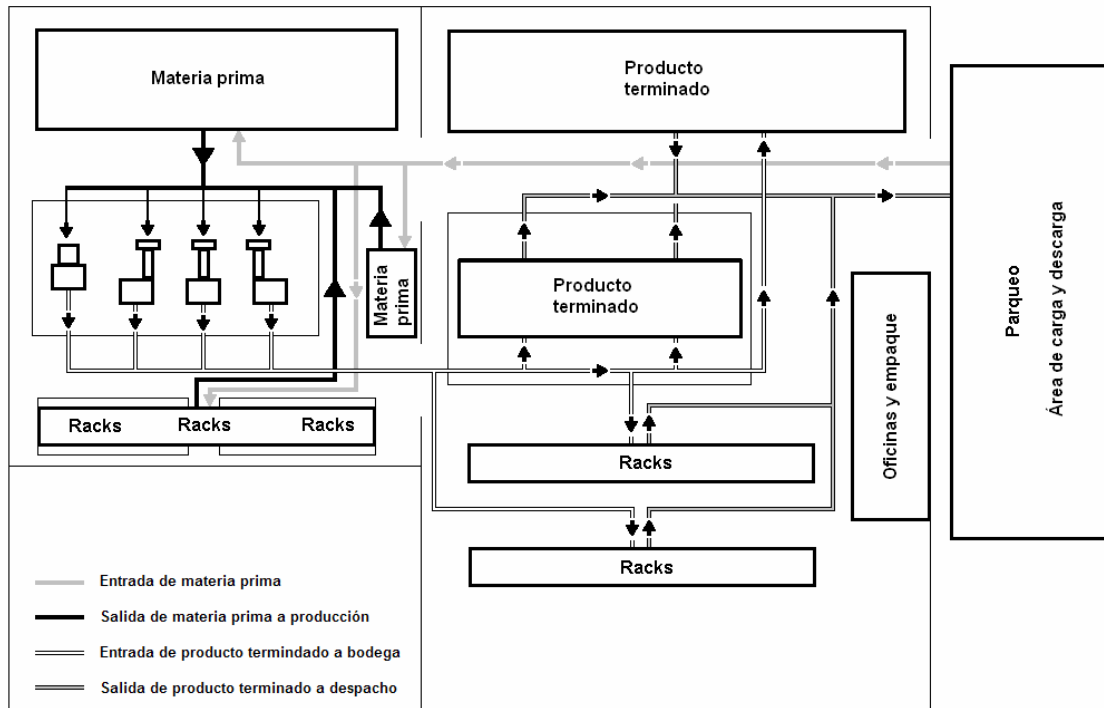
Se pueden adaptar ciertos aspectos del JIT, como por ejemplo dejarlo reducido a la programación de los inventarios de productos y en el suministro de recursos de servicio cuando y donde sean necesarios.

3.5 Redistribución del área de almacenamiento

Para que exista un mejor control sobre los materiales, estos deben tener áreas establecidas y se deberán cruzar lo menos posible durante cada uno de sus movimientos. En este nuevo diseño, se deja la materia prima cerca de las máquinas revolventoras para que se ahorre tiempo en producción y se eviten movimientos innecesarios que podrían resultar en daño a los materiales y producir así pérdidas para la empresa.

El producto terminado se deja cerca del área de carga y descarga para evitar cruces con otros materiales y daños en su empaque. Al mismo tiempo, se optimiza el despacho de materiales ya que éstos no tienen que pasar por el área de producción, donde puede haber algunos obstáculos para el flujo de los materiales (Ej. que se esté cargando una de las máquinas y esto obstruya el paso).

Figura 13. Diagrama de recorrido propuesto



3.6 Equipo necesario

Para llevar un correcto control de los inventarios, es necesario que exista una persona encargada de supervisar los movimientos de los materiales dentro de la planta de producción, es decir, alguien que controle los materiales que ingresan, los que se utilizan en producción (materia prima) y los que salen de la planta (producto terminado). No solo el tipo de material, sino también su cantidad. Para llevar a cabo este control, la persona encargada necesita una computadora con hojas de cálculo o el mismo sistema de inventario SPC que se lleva actualmente, con la diferencia que se estarán actualizando los datos con cada movimiento.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS

4.1 Método de implementación del sistema

El sistema de control de inventarios se llevará a cabo por medio de tarjetas de control u órdenes de producción. La idea principal se basa en la herramienta kanban (tarjeta de instrucción) que es altamente utilizada para la implementación del JIT; sin embargo, aunque el JIT no será implementado para controlar los inventarios de la industria de adhesivos por diferentes problemas de abastecimiento, se tomará parte de esta herramienta que se considera de mucha utilidad para llevar un buen control de los movimientos de los inventarios en la planta de producción.

El kanban puede utilizarse plenamente en aquellas fábricas que impliquen producción repetitiva. En el caso de los adhesivos, aunque el proceso es similar para todos los productos, cuando se produce la línea de boquilla, que es en colores, se debe llevar una secuencia, y si se quiere cambiar de color, hay que limpiar la maquinaria. Por esta razón no es recomendable hacer lotes pequeños, ya que esto implicaría gastos más frecuentes en limpieza de maquinaria, pues el tiempo que lleva es el mismo si se han producido 8 toneladas o solamente una.

4.1.1 Definición

El kanban es una herramienta que está directamente relacionada con el sistema JIT y con el control de inventarios, pero no es sinónimo de ninguna de éstas. Consiste en un método basado en tarjetas para cada elemento dentro de la línea de producción, que permite que el inventario de producto en proceso se limite a los recipientes disponibles. Cuando se ingresa un material al sistema (materia prima o producto final), una tarjeta kanban especificará qué tipo de material es, a dónde va, de dónde procede, etc., como se muestra en las figuras 14 y 15. Así, existirán tarjetas kanban de producción y retiro.

Este sistema permitirá el seguimiento de los materiales dentro de la empresa, agilizando los trámites para su carga y descarga. En el caso del producto terminado, se mantendrán los valores de niveles de reorden y cantidad óptima por producir, y para la materia prima se harán los pedidos cuando la cantidad indicada en las tarjetas kanban sea igual a la cantidad mínima de pedido de cada uno de los materiales (cantidades indicadas en el capítulo 3).

Figura 14. Tarjeta de producto final

Lote No.	105XXXXXX
Descripción	Boquilla color XXX
Unidad de medida	Unidades
Cantidad de reorden	2432
Lugar de almacenamiento	Estantería X
Cantidad disponible	Este dato lo colocará el encargado cada vez que reciba una tarjeta.

Figura 15. Tarjeta de materia prima

Lote No.	XXXXXX
Descripción	Agregado XX
Proveedor	XX
Unidad de medida	Toneladas
Cantidad de reorden	XX Toneladas
Lugar de almacenamiento	Fila XX
Cantidad disponible	Este dato lo colocará el encargado cada vez que reciba una tarjeta.

4.1.2 Características

La herramienta busca la integración de los diferentes procesos y el desarrollo de un sistema JIT; tiene como objetivo el control de la producción y la mejora de los procesos. Las funciones del kanban son las siguientes:

- a) Empezar cualquier operación estándar en cualquier momento.
- b) Dar instrucciones basadas en las condiciones actuales del área de trabajo.
- c) Prevenir que se agregue trabajo innecesario a aquellas órdenes ya empezadas y prevenir el exceso de papeleo.

El sistema se basa en una serie de reglas para asegurar su funcionamiento, éstas son:

No mandar productos o materiales defectuosos a los procesos subsecuentes. Fabricar productos defectuosos implica costos innecesarios, como la inversión en materiales, equipo y mano de obra que no va a poder ser vendida. Éste es el mayor desperdicio de todos, si se encuentra un defecto (en la materia prima o producto en proceso) se deben tomar medidas para prevenir que este problema no vuelva a ocurrir. Debido al control que debe llevarse en cada una de las etiquetas, se requiere de la inspección del material antes de recibirlo, en el caso de la materia prima, y antes de envasarlo, en el caso del producto terminado. Con esto evitamos ingresar a la planta materiales que no podemos procesar, y empaçar producto que no cumple con las especificaciones.

Los procesos subsecuentes requerirán solo el material necesario. En la industria de los adhesivos el proceso de transformación de los materiales se puede reducir a recepción de materia prima, mezclado y envasado. Este punto indica que si se necesita 1 tonelada de producto terminado, se deberá tener la cantidad exacta que requiere el proceso de mezclado para no invertir tiempo en operaciones que pueden evitarse. El costo puede ser variado, incluyendo el costo del tiempo extra, pérdida por exceso de inventario o inversión en nueva maquinaria sin saber que la existente cuenta con la capacidad suficiente.

El costo más elevado ocurre cuando los procesos no pueden producir lo que es necesario o cuando están produciendo algo innecesario. Hay una serie de pasos que aseguran que los procesos subsecuentes no requerirán arbitrariamente del proceso anterior.

- a) No se debe requerir material sin una tarjeta kanban.
- b) Los artículos que sean requeridos no deben exceder el número de kanban admitidos.
- c) Una etiqueta de kanban debe acompañar siempre a cada artículo.

Producir solamente la cantidad exacta requerida por el proceso subsecuente. Esto es no producir más que el número de tarjetas; se deberá producir en la secuencia en que las tarjetas son recibidas para poder satisfacer primero la orden que llegó antes.

Suavizar la producción. Producir solamente la cantidad necesaria requerida por los procesos subsecuentes; esto implica mantener al equipo y a los trabajadores de tal manera que puedan producir materiales en el momento necesario y en la cantidad necesaria. Este aspecto no es aplicable a la producción de boquilla, pues en ésta se hace necesario seguir un orden establecido de colores y limpiar la máquina luego de terminar una secuencia. Sin embargo, podemos hablar de un día a otro y se deberá dejar la maquinaria lista para que al día siguiente pueda fabricar cualquier producto (dejar la maquinaria limpia para el día siguiente).

Las tarjetas son un medio para evitar especulaciones. El kanban se convierte en una fuente de información para la producción y transportación, ya que los trabajadores dependerán de kanban para llevar a cabo su trabajo. Únicamente es válida la información que se encuentra en las tarjetas. Cuando las tarjetas sean entregadas al encargado, éste verificará su nivel de inventario y cuando éste sea igual al nivel de reorden, emitirá una tarjeta de producción por la cantidad óptima de producción de cada producto.

Estabilizar y racionalizar el proceso. El trabajo defectuoso existe si el trabajo no esta racionalizado y estandarizado. Se puede observar que todas las reglas, incluyendo ésta última, hacen énfasis en pedir y producir únicamente las cantidades establecidas en las tarjetas kanban. Si un proceso no permite que la tarjeta vaya junto al material, ésta deberá estar colocada en un lugar cercano al área de transformación.

4.1.3 Procedimiento

Cada material que se encuentre dentro de la planta de producción deberá tener una tarjeta kanban. Cuando un operario se dispone a hacer un producto, deberá remover las tarjetas de la materia prima y entregarlas al encargado de inventarios, luego proceder a la mezcla de materiales y, por último, al envasado. Cuando llegue a este punto, deberá requerir la tarjeta de producto terminado al encargado. Entonces, cada lote de producción tendrá una etiqueta de instrucción, la cual, al momento de despachar el producto, será removida por la persona encargada de controlar los inventarios y ésta la entregará a la persona encargada de la programación de la producción inmediatamente.

Esto se deberá hacer como se menciona anteriormente para que la orden de producción o de compra se dé en el momento justo que se llega al nivel de reorden, pues si se utilizan los datos del sistema SPC, se deberá estar actualizando constantemente las vistas, mientras que al recibir una tarjeta se sabe automáticamente la cantidad que se sacó del sistema y el momento en el que se llega al inventario mínimo.

Para implementar el sistema se seguirán los siguientes pasos:

- a) Entrenar al personal en los principios del sistema, es decir, explicar en forma detallada, a todos los involucrados, el significado de cada uno de los ítems en las tarjetas haciendo énfasis en la cantidad máxima que se puede producir de cada uno de los productos. Se debe indicar quién será la persona encargada del sistema para que consulten cualquier duda que pueda surgir.
- b) Implementar el sistema de tarjetas primero en aquellos productos con mayor problema para facilitar su manufactura y resaltar los problemas escondidos. Habrá que implementarlo primero en la línea de boquilla, pues es la más complicada de producir por la secuencia de fabricación, pues por la cantidad de colores, se requiere un orden estricto. En esta fase continúa la capacitación del personal de producción.
- c) Implementar el sistema de tarjetas para el resto de productos, lo cual no debe ser problema pues ya los operadores han visto el funcionamiento del sistema y éste se ha implementado en la operación más complicada. Se deben tomar en cuenta las opiniones de los operadores ya que ellos son los que trabajan de cerca con el sistema.
- d) Revisar el sistema, esto se verá con detalle en el capítulo 5.

4.2 Beneficios esperados del nuevo sistema

Con el nuevo sistema se llevará un mejor control de la cantidad de materia prima, producto en proceso y producto terminado con que se cuenta en el momento. Para ello es importante que las tarjetas se muevan junto con el material. Si esto se lleva a cabo correctamente, se lograrán los siguientes puntos:

- a) Eliminación de la sobreproducción. Las tarjetas ayudarán a llevar el control del producto que se va produciendo cada vez que se emite una orden con el objeto de no producir más de la cantidad óptima a partir del momento que se llega al nivel de reorden.
- b) Prioridad en la producción, el kanban con más importancia se pone primero que los demás. Se debe producir primero el material que se comprometió para entrega en la fecha más cercana y así subsecuentemente.
- c) Se facilita el control del material. Cuando los materiales están plenamente identificados y las personas que utilizan los materiales entregan, a la persona encargada del inventario, las tarjetas correspondientes, ésta sabe exactamente el momento en el cual debe hacer una nueva requisición de materiales o productos.
- d) Reducción de costos de almacenaje y manejo de materiales. Al tener una proyección de las ventas, se calculan los niveles de inventario y esto ayuda a no fabricar productos que no se venderán en ese período. Además, con la reubicación de los materiales se evita el manejo excesivo de los mismos y el deterioro que esto causa.

4.3 Medición del desempeño

Para medir el desempeño del sistema, se evaluará su exactitud. La empresa tiene la política de hacer inventario físico detallado cada mes, por lo que éste se comparará con las cantidades mostradas en los registros del inventario que se lleva en el SPC. La medición deberá expresarse como el porcentaje de variación del inventario esperado contra el real, esto es:

$$\text{Déficit del sistema} = \frac{\sum \text{Cantidades sobrantes o faltantes}}{\text{Cantidad real}}$$

Con este cálculo lo que deberá buscar la empresa es llegar a cero variación entre los registros y el conteo físico. Pero es aún más importante medir el desempeño del sistema por medio de la cantidad de producto que pudo ser despachado a tiempo al cliente, esto es:

$$\text{Nivel de servicio al cliente} = \frac{\text{Cantidad pedida}}{\text{Cantidad despachada}}$$

5. RETROALIMENTACIÓN PARA LA MEJORA CONTINUA

5.1 Procedimiento para retroalimentar el sistema

La retroalimentación es la información que se obtiene sobre el estado y funcionamiento del sistema. Si no se alienta la retroalimentación, se puede juzgar erróneamente el grado en que los demás lo comprenden, y esto resta eficacia.

Se deberá promover el trabajo en equipo para generar un clima de colaboración desde el nivel gerencial hasta el operativo. Los grupos deberán ser mixtos (compuestos por personas de diferentes niveles) para promover la comunicación y eliminar las barreras que pueden existir entre los diferentes departamentos.

5.1.1 Revisión del sistema

La revisión del sistema deberá hacerse mensualmente. Luego de la medición del desempeño del sistema (planteada en el inciso 4.3) deberá hacerse una reunión con todas las personas involucradas en el sistema de control de inventarios, en la cual se deberán dar a conocer de forma clara y precisa los resultados obtenidos en cuanto a la eficiencia de los inventarios y motivar a los participantes para que aporten ideas para mejorarlo. Es importante que los involucrados entiendan claramente su función dentro del sistema y que se sientan identificados con el mismo, ya que esto los motivará a buscar su mejora continua.

En las reuniones, los participantes deberán plantear todas las dificultades que encontraron en la puesta en marcha del sistema, así como la forma en que consideran se podrían mermar estos efectos en el futuro. Esto reducirá la resistencia al cambio que puede surgir.

5.1.2 Reportes de control

Los controles se deben implementar por medio de reportes diarios; las tarjetas kanban ayudan a la persona encargada de llevar el control de los niveles de inventario para saber en cada momento la cantidad de material que existe. Al final del día se deberá imprimir (del SPC) los movimientos de materia prima y producto terminado que hubo durante el día y, además, el reporte de existencias de productos, en el cual se deberá verificar que la cantidad de producto no exceda el nivel de inventario establecido. Si esto sucediera, se deberán investigar las causas y hacer un reporte de la falla con su respectiva solución y la forma de prevenir el problema en el futuro. Los reportes de control deberán ser discutidos en la reunión mensual.

Además, se deberá elaborar un reporte de servicio al cliente, en el cual se debe dejar constancia del motivo por el cual no se despachó el material al cliente. Al igual que el reporte de inventario, deberá incluir medidas de contingencia que disminuyan el problema.

5.2 Planeación de inventarios

La planificación de los inventarios debe ser continua. La planeación que se hace en este estudio es válida para los siguientes cuatro meses, ya que debe reflejar las necesidades o demanda actual de la planta.

La meta de la planificación de los inventarios de la industria de adhesivos para cerámica es la de satisfacer la demanda del cliente interno y externo con la mayor eficiencia posible, el proceso de planeación deberá comenzar en la gerencia basado en los pronósticos de ventas para poder tener una planeación eficiente de la producción.

Una vez hechos los planteamientos a nivel de gerencia, el plan será transmitido a los mandos medios para que se conviertan en planes semanales de producción, similares a los planteados en el capítulo 3 de este estudio. Deberá incluir las cantidades para producir en cada período de tiempo, los niveles de reorden de cada uno de los productos, y con base en esto hacer la matriz de requerimiento de materiales (MRP) para surtir de materia prima al proceso de transformación.

Es importante mencionar que las cantidades planteadas en este estudio variarán conforme se estandarice el proceso; en otras palabras, con el tiempo se reducirá la necesidad de mantener un inventario excedente, ya que la empresa tendrá la base de hacer los pedidos en el momento y la cantidad precisa por lo que en un futuro se podría introducir la producción JIT.

CONCLUSIONES

- 1 Se determinó, por medio de la evaluación de los diferentes métodos de pronóstico de la demanda, que los adhesivos y la boquilla tienen un comportamiento de demanda ascendente-descendente, con una curva geométrica que es la que más se ajusta a los datos. Los acabados también tienen un comportamiento ascendente-descendente, pero los datos se acercan más a una curva lineal.
- 2 Para cumplir con las expectativas de los clientes que demandan la entrega del producto el mismo día que emiten la orden, se utilizó un modelo de cantidad fija de pedido durante el tiempo de producción sin permitir faltantes para poder alternar, en corridas semanales, la fabricación de las diversas familias de productos. La materia prima se pedirá en cantidades fijas, porque los proveedores no despachan una cantidad menor, utilizando una matriz de requerimiento de materiales que deberá ir de la mano del plan de producción de la semana.
- 3 Se establecieron los niveles óptimos de inventario por producir para los siguientes cuatro meses de ventas por medio del cálculo de la cantidad óptima de pedido que incluye los costos de hacer los pedidos y el almacenaje del producto, según el método de cantidad fija de pedido durante el tiempo de producción. Para la materia prima, se reordenarán los materiales para que lleguen a la planta justo el día que el lote anterior se termina para evitar el exceso de inventario.

- 4 El sistema de inventarios se implementará mediante el uso de tarjetas kanban que ayudarán al encargado de los inventarios a llevar un control certero de la cantidad de materia prima, producto en proceso y producto terminado en cada momento del día para que puedan emitirse las órdenes de compra y de producción en el momento que sean necesarias. Esto será comprobado diariamente mediante el uso del sistema de planeación y control (SPC), en el cual se registran los movimientos de materia prima y producto terminado al final del día.

- 5 Con la implementación del sistema de control de inventarios y manejo de materiales por medio del sistema de tarjetas kanban se espera eliminar la sobreproducción, priorizar la producción y llevar un mejor control de material por medio de la identificación por tarjetas. También se espera reducir los gastos por almacenaje y manejo de materiales, ya que los productos tienden a deteriorarse ya sea por exceso de inventario o por falta de control de la fecha de ingreso a la planta, lo que reduce su rotación y aumenta el riesgo de deterioro.

- 6 El sistema de control de inventarios y manejo de materiales se medirá por el porcentaje de variación que se tenga entre la cantidad real y la que indica el sistema de planeación y control, además del nivel de servicio que se preste al cliente. Se retroalimentará el sistema por medio de revisiones y reportes de control. Los reportes de control se harán diariamente y se levantará un informe mensual que deberá ser discutido, en una reunión, por todas las personas involucradas en la implementación para crear un sentido de pertenencia en ellas y así motivarlas para aportar mejoras y discutir los problemas encontrados en el período.

- 7 Concientizar al personal e involucrarlo en un sistema se logra promoviendo el trabajo en equipo para generar un clima de colaboración desde el nivel gerencial hasta el operativo. Con la creación de grupos mixtos, se espera la eliminación de las barreras de comunicación que puedan existir y lograr así que la información tanto positiva como negativa del sistema llegue lo antes posible a la persona que dirige la implementación para que se pueda convocar a una reunión extraordinaria para solventar el problema a la brevedad.

RECOMENDACIONES

- 1 Se deberá evaluar cada tres meses la demanda por los dos o tres métodos que dan como resultado los menores errores ya que la demanda puede cambiar de tendencia. Esto asegurará que los pronósticos con base en los cuales se planifica tanto la producción como el requerimiento de materiales siguen siendo válidos a través del tiempo.
- 2 Es necesario hacer énfasis en la consecución de un nivel de servicio al cliente cercano al 100%, pero deberán evitarse todas aquellas acciones que tiendan a elevar el nivel de inventario de algún producto injustificadamente, como las compras de materia prima local cuando no se va a fabricar el producto que la utiliza, sobreproducción, etc., pues esto sólo incrementa los costos de los inventarios.
- 3 El mercado es cambiante y reflejará los requerimientos del cliente, por lo que la empresa deberá estar atenta a los cambios para adaptarse a las nuevas demandas y lograr una reacción a tiempo para convertir la nueva necesidad en una oportunidad de crecimiento para la empresa.
- 4 La información sobre los movimientos de los materiales dentro de la planta de producción deberá ser actualizada constantemente para que las órdenes de producción y requerimiento de materiales puedan ser emitidas a tiempo y asegurar de esa forma la fluidez del proceso. Es importante que la empresa se actualice en lo referente a software y sistemas para el control de los inventarios ya que éstos pueden facilitarle el trabajo y reducir el tiempo que se dedica a esta actividad.

- 5 El inventario justo a tiempo no es adaptable a la empresa en este momento, ya que más que un sistema es una cultura y debe introducirse paulatinamente en la empresa. La implementación del sistema propuesto creará una metodología de control de inventarios que puede servir como base para la implementación de JIT en un futuro. Lo importante es implementarlo involucrando a los proveedores para reducir cada vez más los tiempos de entrega de materia prima y así lograr una reducción significativa en el inventario de materiales de la planta.

- 6 Las personas que están involucradas en el desarrollo del sistema son las más indicadas para proporcionar la retroalimentación necesaria para mejorar el sistema. Deberá existir una persona encargada de la implementación, que se mantenga en contacto con el resto de involucrados para retroalimentarse y proponer mejoras en ambas vías.

- 7 En la capacitación constante radica el éxito del sistema, por lo que todo el personal involucrado deberá tener la información y las técnicas más recientes para desempeñarse correctamente en la tarea que les ha sido asignada. La retroalimentación del sistema ayudará a detectar las áreas de debilidad y fortaleza, sirviendo esto como apoyo para la capacitación.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 Arriaza Herrera, Flor de María. Administración y control de inventarios para una planta productora de alimentos. Tesis ingeniería industrial. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2000
- 2 Benavides López, Edwin Randolpho. Control y valuación de inventarios en la industria de embotellado. Tesis ingeniería industrial. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998
- 3 Bonini, Charles *et.al.* **Análisis cuantitativo para los negocios.** 9ª edición. Colombia: McGraw-Hill, 2001.
- 4 Boodman, David y John G. Magee. **Planeamiento de la producción y control de inventarios.** México: Crat.
- 5 Chase, Richard *et.al.* **Administración de producción y operaciones.** 8ª edición. Colombia: McGraw-Hill, 2002.
- 6 Narasimhan, Seetharama L. *et. al.* **Planeación de la producción y control de inventarios.** 2ª edición. México: Prentice-Hall hispanoamericana, S.A., 1996.
- 7 Plossl, George W. **Control de la producción y de inventarios, principios y técnicas.** México: Prentice-Hall hispanoamericana, S.A., 1987.
- 8 Shingo, Shigeo. **El sistema de producción Toyota desde el punto de vista de la ingeniería.** 2ª edición. Argentina: McChi, 1993.
- 9 Taha, Hamdy A. **Investigación de operaciones.** 5ª edición. México: Alfa omega grupo editor, S.A. de C.V. 1992.
- 10 Torres, Sergio. **Control de la producción.** Guatemala: editorial Palacios. 2001

APÉNDICE

Familia de demanda estable

Demanda del último período. Es el método más sencillo y se aplica a aquellas familias que son muy estables en el tiempo, lo cual no ocurre en el caso de los adhesivos, boquilla y acabados. Sin embargo, se harán los cálculos de todos los métodos estables para escoger el que dé como resultado el menor error. En la figura 16 se muestran los resultados de este método de pronóstico.

Figura 16. Pronóstico por demanda del último período

Último período, adhesivos					Último período, boquilla				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
32	43,127				32	13,324			
33	47,372	43,127	4,245	4,245	33	16,794	13,324	3,470	3,470
34	58,924	47,372	11,552	15,797	34	17,742	16,794	948	4,418
35	61,423	58,924	2,499	18,296	35	20,132	17,742	2,390	6,808
36	49,983	61,423	-11,440	29,736	36	17,073	20,132	-3,059	9,867

Último período, acabados				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
32	7,876			
33	4,317	7,876	-3,559	3,559
34	4,902	4,317	585	4,144
35	5,276	4,902	374	4,518
36	5,236	5,276	-40	4,558

El método se basa en la suposición de que la desviación estándar de los datos de ventas en el pasado será igual en el futuro, entonces, el pronóstico de ventas es igual a las ventas del período anterior. Para el caso de los adhesivos, el pronóstico del mes 33 es igual a las ventas del mes 32 (43,127). El error es la diferencia entre las ventas reales y el pronóstico que para el mes 33 es 4,245; el error acumulado es la suma de los valores absolutos de los pronósticos calculados. Así sucesivamente se calculan los datos de los siguientes períodos. Es importante mencionar que los métodos de la familia estable tienen la limitación de proyectar únicamente un período adicional al último dato de venta real y para compararlos se debe aplicar el método de franja simulada que se describe en el capítulo 3.

Método del promedio aritmético. Este método se utiliza cuando se requiere reflejar el pasado hacia el futuro, es decir, las ventas siguen cierto patrón. El primer pronóstico que se calcula es el promedio de las ventas reales anteriores al periodo que se está calculando; para el caso de los adhesivos, el pronóstico del mes 33 es igual al promedio de las ventas del período 25 al 32.

$$P_{33} = \frac{59278 + 58233 + 51004 + 56908 + 54370 + 47555 + 47645 + 43127}{8} = 52265$$

El pronóstico del mes 34 incluye la venta real del mes 33, es decir, es el promedio de las ventas reales del período 25 al 33. Así sucesivamente se calculan los datos posteriores. Los resultados se muestran en la figura 17.

Figura 17. Pronóstico por promedio aritmético

Promedio aritmético, adhesivos					Promedio aritmético, boquilla				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	52,265	-4,893	4,893	33	16,794	17,765	-971	971
34	58,924	51,722	7,202	12,095	34	17,742	17,657	85	1,056
35	61,423	52,442	8,981	21,076	35	20,132	17,666	2,466	3,522
36	49,983	53,259	-3,276	24,352	36	17,073	17,890	-817	4,339

Promedio aritmético, acabados				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	4,317	5,137	-820	820
34	4,902	5,046	-144	964
35	5,276	5,032	244	1,208
36	5,236	5,054	182	1,390

Método del promedio móvil. Este método permite desechar los datos que son estables pero que ya no reflejan la realidad de las ventas. El método consiste en establecer un ciclo de análisis; se utilizarán ciclajes de 3, 4 y 6 períodos para evaluar los datos. Para calcular el pronóstico del mes 33 de adhesivos con ciclo de 3, se calcula el promedio de los datos de ventas de tres períodos anteriores (del 30 al 32).

$$P_{33} = \frac{47555 + 47645 + 43127}{3} = 46109$$

El pronóstico del período 34 desecha las ventas del período 30 y toma el dato de venta real más reciente (mes 33). Así se va corriendo el cálculo hasta el mes 36. Los resultados de éste método, para los diferentes ciclajes, se muestran en las figuras 18,19 y 20.

Figura 18. Pronóstico por promedio móvil para ciclos de 3 meses

Promedio móvil, adhesivos					Promedio móvil, boquilla				
Ciclaje 3									
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	46,109	1,263	1,263	33	16,794	15,688	1,106	1,106
34	58,924	46,048	12,876	14,139	34	17,742	14,251	3,491	4,597
35	61,423	49,808	11,615	25,754	35	20,132	15,954	4,178	8,775
36	49,983	55,907	-5,924	31,678	36	17,073	18,223	-1,150	9,925

Promedio móvil, acabados				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	4,317	5,955	-1,638	1,638
34	4,902	5,378	-476	2,114
35	5,276	5,699	-423	2,537
36	5,236	4,832	404	2,941

Figura 19. Pronóstico por promedio móvil para ciclos de 4 meses

Promedio móvil, adhesivos					Promedio móvil, boquilla				
Ciclaje 4									
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	48,175	-803	803	33	16,794	16,348	446	446
34	58,924	46,425	12,499	13,302	34	17,742	15,965	1,777	2,223
35	61,423	49,267	12,156	25,458	35	20,132	15,124	5,008	7,231
36	49,983	52,712	-2,729	28,187	36	17,073	16,998	75	7,306

Promedio móvil, acabados				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	4,317	5,733	-1,416	1,416
34	4,902	5,546	-644	2,060
35	5,276	5,259	17	2,077
36	5,236	5,593	-357	2,434

Figura 20. Pronóstico por promedio móvil para ciclos de 6 meses

Promedio móvil, adhesivos					Promedio móvil, boquilla				
Ciclaje 6									
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	50,102	-2,730	2,730	33	16,794	6,684	10,110	10,110
34	58,924	49,497	9,427	12,157	34	17,742	6,174	11,568	21,678
35	61,423	49,833	11,590	23,747	35	20,132	5,715	14,417	36,095
36	49,983	51,008	-1,025	24,772	36	17,073	5,167	11,906	48,001

Promedio móvil, acabados				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	4,317	5,072	-755	755
34	4,902	5,214	-312	1,067
35	5,276	5,359	-83	1,150
36	5,236	5,394	-158	1,308

Promedio móvil ponderado. Con este método, al igual que el anterior, se selecciona la información que se quiere tomar en cuenta. Este método desecha la información más antigua y añade la más reciente para obtener un dato más actualizado. Este método varía del anterior por la incorporación de ponderaciones de cada uno de los datos del ciclo. Las reglas para ponderar son las siguientes:

- La ponderación máxima de todo el ciclo no puede ser mayor que el número de períodos involucrados en el ciclaje, es decir, si se analiza un promedio móvil ponderado de ciclaje 3, la suma de las ponderaciones de cada uno de los períodos del ciclo debe sumar 3.

- El valor que se asigna a cada período no puede ser menor que el del dato anterior. Para los cálculos del ciclaje 3, se utilizaron las siguientes ponderaciones: 0.5, 1 y 1.5, estos valores dependen del peso que se le quiera dar a cada dato. Para el período 33 que se utiliza el promedio de los datos del 30 al 32, al período 30 le corresponde la ponderación 0.5, al 31 el 1 y al 32 el 1.5.
- No se puede utilizar una ponderación igual a cero.

El cálculo del pronóstico del período 33 para los adhesivos se calcula de la siguiente forma:

$$P_{33} = \frac{47555 * 0.5 + 47645 * 1 + 43127 * 1.5}{3} = 45371$$

Para el ciclaje 4 se utilizaron las ponderaciones 0.2, 0.3, 1 y 2.5. Para el ciclaje 6 las ponderaciones son: 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 y 3 (ver resultados en tablas 6, 7 y 8). Esto es porque se está dando más peso a los últimos valores de ventas.

Figura 21. Pronóstico por promedio móvil ponderado para ciclos de 3 meses

Promedio móvil ponderado, adhesivos Ciclaje 3					Promedio móvil ponderado, boquilla				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	45,371	2,001	2,001	33	16,794	14,391	2,403	2,403
34	58,924	46,003	12,921	14,922	34	17,742	14,944	2,798	5,201
35	61,423	52,441	8,982	23,904	35	20,132	16,690	3,442	8,643
36	49,983	58,249	-8,266	32,170	36	17,073	18,779	-1,706	10,349

Promedio móvil ponderado, acabados				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	4,317	6,260	-1,943	1,943
34	4,902	5,441	-539	2,482
35	5,276	5,203	73	2,555
36	5,236	4,992	244	2,799

Figura 22. Pronóstico por promedio móvil ponderado para ciclos de 4 meses

Promedio móvil ponderado, adhesivos Ciclaje 4					Promedio móvil ponderado, boquilla				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	45,151	2,221	2,221	33	16,794	13,986	2,808	2,808
34	58,924	46,341	12,583	14,804	34	17,742	15,831	1,911	4,719
35	61,423	54,288	7,135	21,939	35	20,132	16,919	3,213	7,932
36	49,983	58,830	-8,847	30,786	36	17,073	18,944	-1,871	9,803

Promedio móvil ponderado, acabados				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	4,317	6,615	-2,298	2,298
34	4,902	5,266	-364	2,662
35	5,276	4,931	345	3,007
36	5,236	5,241	-5	3,012

Figura 23. Pronóstico por promedio móvil ponderado para ciclos de 6 meses

Promedio móvil ponderado, adhesivos Ciclaje 6					Promedio móvil ponderado, boquilla				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	46,776	596	596	33	16,794	15,208	1,586	1,586
34	58,924	47,504	11,420	12,016	34	17,742	16,207	1,535	3,121
35	61,423	52,855	8,568	20,584	35	20,132	16,728	3,404	6,525
36	49,983	55,923	-5,940	26,524	36	17,073	18,141	-1,068	7,593

Promedio móvil ponderado, acabados				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	4,317	6,292	-1,975	1,975
34	4,902	5,074	-172	2,147
35	5,276	5,187	89	2,236
36	5,236	5,283	-47	2,283

Promedio móvil ponderado exponencialmente caso A. Este método permite manejar tendencias que no son exclusivamente estables por medio de la incorporación de un nuevo elemento en su cálculo: el factor alfa (α) que varía entre 0 y 1; un valor cercano a cero indica que la causa de la variación del modelo no es controlable, se debe al azar; mientras que un valor cercano a uno indica que las causas de la diferencia en el cálculo se deben a problemas con el modelo. Para encontrar el valor que se ajusta más a las ventas, se calculan primero los pronósticos con un valor cercano a cero (0.1) y luego un valor cercano a uno (0.9); con estos resultados, se procede a evaluar valores intermedios que den un error acumulado menor al de los dos cálculos anteriores. La fórmula para calcular este pronóstico es la siguiente:

$$P_{33} = P_{32} + \alpha * Error_{32}$$

El pronóstico del mes 32 o pronóstico inicial es el promedio de las cuatro ventas anteriores al período (28 al 31). El error es la diferencia entre las ventas reales del período anterior menos el pronóstico anterior. Para el mes 33 de adhesivos, los cálculos para obtener el primer dato son los siguientes:

$$P_{32} = \frac{56,908 + 54,370 + 47,555 + 47,645}{4} = 51,620$$

$$P_{33} = 51,620 + 0.1 * (43,127 - 51,620) = 507,71$$

Figura 24. Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A) con $\alpha = 0.1$

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A), adhesivos					Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A), boquilla				
$\alpha = 0.1$					$A = 0.1$				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
32	43,127	51,620			32	13,324	17,310		
33	47,372	50,771	-3,399	3,399	33	16,794	16,911	-117	117
34	58,924	50,431	8,493	11,892	34	17,742	16,900	842	960
35	61,423	51,280	10,143	22,035	35	20,132	16,984	3,148	4,108
36	49,983	52,294	-2,311	24,346	36	17,073	17,299	-226	4,334

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A), acabados				
$\alpha = 0.1$				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
32	7,876	4,772		
33	4,317	5,082	-765	765
34	4,902	5,006	-104	869
35	5,276	4,995	281	1,150
36	5,236	5,024	212	1,362

Figura 25. Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A) con $\alpha = 0.9$

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A), adhesivos					Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A), boquilla				
$\alpha = 0.9$					$\alpha = 0.9$				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
32	43,127	51,620			32	13,324	17,310		
33	47,372	43,976	3,396	3,396	33	16,794	13,723	3,071	3,071
34	58,924	47,032	11,892	15,287	34	17,742	16,487	1,255	4,327
35	61,423	57,735	3,688	18,975	35	20,132	17,616	2,516	6,842
36	49,983	61,054	-11,071	30,047	36	17,073	19,880	-2,807	9,650

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A), acabados				
$\alpha = 0.9$				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
32	7,876	4,772		
33	4,317	7,566	-3,249	3,249
34	4,902	4,642	260	3,509
35	5,276	4,876	400	3,909
36	5,236	5,236	0	3,909

Figura 26. Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A) con el mejor α

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A), adhesivos					Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A), boquilla				
$\alpha = 0.001$					$\alpha = 0.001$				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
32	43,127	51,620			32	13,324	17,310		
33	47,372	51,612	-4,240	4,240	33	16,794	17,306	-512	512
34	58,924	51,607	7,317	11,556	34	17,742	17,306	436	949
35	61,423	51,615	9,808	21,365	35	20,132	17,306	2,826	3,775
36	49,983	51,624	-1,641	23,006	36	17,073	17,309	-236	4,010

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso A), acabados				
$\alpha = 0.053$				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
32	7,876	4,772		
33	4,317	4,937	-620	620
34	4,902	4,904	-2	621
35	5,276	4,904	372	994
36	5,236	4,923	313	1,306

Promedio móvil ponderado exponencialmente caso B. Este caso varía ya que utiliza la siguiente fórmula para calcular el pronóstico:

$$P_{33} = P_{32} + ((1 - \alpha) / \alpha) * T_{32}$$

La tendencia T no es más que la variante entre dos períodos de ventas y debe ubicarse en el último dato de ventas reales que se tomará en cuenta (mes 32). Para calcularla se necesita conocer la tendencia básica que se colocará en el mes 31.

$$T_{31} = Ventas_{31} - Ventas_{30} = 47,645 - 47,555 = 90$$

$$T_{32} = \alpha(\text{ventas}_{32} - \text{ventas}_{31}) + (1 - \alpha) * T_{31}$$

$$T_{32} = 0.1 * (43,127 - 47,645) + (1 - 0.1) * 90 = -370.8$$

Las tendencias 33 a la 36 se calculan con ésta última fórmula. Para calcular el pronóstico se necesita conocer también el pronóstico anterior (P_{32}), que es el promedio de las ventas de cuatro períodos anteriores (meses del 28 al 31), que da como resultado 51,620. Con estos datos se procede a calcular el primer pronóstico de evaluación:

$$P_{33} = 51,620 + ((1 - 0.1) / 0.1) * (-370.8) = 48,282$$

De esta forma, se calcula cada uno de los pronósticos de los meses 33 al 36. Los resultados se muestran en la figura 27 para $\alpha = 0.1$, figura 28 para $\alpha = 0.9$ y figura 29 para el α que da como resultado el menor error acumulado.

Figura 27. Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B) con $\alpha = 0.1$

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B), adhesivos					
$\alpha = 0.1$					
Mes	Venta real	Pronóstico	Tendencia	Error	Error acumulado
30	47,555				
31	47,645		90		
32	43,127	51,620	-371		
33	47,372	48,282	91	-910	910
34	58,924	49,099	1,237	9,825	10,735
35	61,423	60,231	1,363	1,192	11,927
36	49,983	72,499	83	-22,516	34,443

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B), boquilla					
$\alpha = 0.1$					
Mes	Venta real	Pronóstico	Tendencia	Error	Error acumulado
30	21,106				
31	12,634		-8,472		
32	13,324	17,310	-7,556		
33	16,794	-50,693	-6,453	67,487	67,487
34	17,742	-108,772	-5,713	126,514	194,000
35	20,132	-160,190	-4,903	180,322	374,322
36	17,073	-204,315	-4,718	221,388	595,710

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B), acabados					
$\alpha = 0.1$					
Mes	Venta real	Pronóstico	Tendencia	Error	Error acumulado
30	6,050				
31	3,939		-2,111		
32	7,876	4,772	-1,506		
33	4,317	-8,784	-1,711	13,101	13,101
34	4,902	-24,188	-1,482	29,090	42,191
35	5,276	-37,524	-1,296	42,800	84,991
36	5,236	-49,190	-1,171	54,426	139,417

Figura 28. Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B) con $\alpha = 0.9$

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B), adhesivos					
$\alpha = 0.9$					
Mes	Venta real	Pronóstico	Tendencia	Error	Error acumulado
30	47,555				
31	47,645		90		
32	43,127	51,620	-4,057		
33	47,372	51,169	3,415	-3,797	3,797
34	58,924	51,548	10,738	7,376	11,173
35	61,423	52,741	3,323	8,682	19,854
36	49,983	53,110	-9,964	-3,127	22,982

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B), boquilla					
$\alpha = 0.9$					
Mes	Venta real	Pronóstico	Tendencia	Error	Error acumulado
30	21,106				
31	12,634		-8,472		
32	13,324	17,310	-226		
33	16,794	17,284	3,100	-490	490
34	17,742	17,629	1,163	113	604
35	20,132	17,758	2,267	2,374	2,977
36	17,073	18,010	-2,526	-937	3,914

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B), acabados					
$\alpha = 0.9$					
Mes	Venta real	Pronóstico	Tendencia	Error	Error acumulado
30	6,050				
31	3,939		-2,111		
32	7,876	4,772	3,332		
33	4,317	5,142	-2,870	-825	825
34	4,902	4,823	240	79	904
35	5,276	4,849	361	427	1,330
36	5,236	4,890	0	346	1,677

Figura 29. Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B) con el mejor α

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B), adhesivos					
$\alpha = 0.95$					
Mes	Venta real	Pronóstico	Tendencia	Error	Error acumulado
30	47,555				
31	47,645		90		
32	43,127	51,620	-4,288		
33	47,372	51,394	3,818	-4,022	4,022
34	58,924	51,595	11,165	7,329	11,351
35	61,423	52,182	2,932	9,241	20,592
36	49,983	52,337	-10,721	-2,354	22,945

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B), boquilla					
$\alpha = 0.85$					
Mes	Venta real	Pronóstico	Tendencia	Error	Error acumulado
30	21,106				
31	12,634		-8,472		
32	13,324	17,310	-684		
33	16,794	17,189	2,847	-395	395
34	17,742	17,691	1,233	51	446
35	20,132	17,909	2,216	2,223	2,669
36	17,073	18,300	-2,268	-1,227	3,896

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso B), acabados					
$\alpha = 0.99$					
Mes	Venta real	Pronóstico	Tendencia	Error	Error acumulado
30	6,050				
31	3,939		-2,111		
32	7,876	4,772	3,877		
33	4,317	4,811	-3,485	-494	494
34	4,902	4,775	544	127	620
35	5,276	4,781	376	495	1,115
36	5,236	4,785	-36	451	1,566

Promedio móvil ponderado exponencialmente caso C. Este método da un grado de confiabilidad mayor. En este caso es necesario llevar un control de los promedios tanto de los pronósticos (\overline{P}) como de la tendencia (\overline{T}). Las fórmulas son las siguientes:

$$P_{33} = \overline{P}_{32} + ((1 - \alpha) / \alpha) * \overline{T}_{32}$$

$$T_{32} = \alpha(\text{ventas}_{32} - \text{ventas}_{31}) + (1 - \alpha) * \overline{T}_{31}$$

El primer pronóstico se calcula para 4 períodos antes de la última venta real a tomar en cuenta. Para el mes 29 el pronóstico es el promedio de las ventas de los cuatro meses anteriores (25 al 28) que da como resultado 56,356. La tendencia de ese período es la tendencia básica (54,370-56,908= -2,538). El pronóstico promedio y la tendencia promedio del mes 29 tienen el mismo valor que el pronóstico y la tendencia básica.

El mes siguiente (30) se calcula de la siguiente forma:

$$P_{30} = \overline{P}_{29} + ((1 - \alpha) / \alpha) * \overline{T}_{29} = 56,356 + ((1 - 0.1) / 0.1) * (-2,538) = 33,514$$

$$\overline{P}_{30} = \frac{P_{29} + P_{30}}{2} = \frac{56,356 + 33,514}{2} = 44,935$$

$$T_{30} = \alpha(\text{ventas}_{30} - \text{ventas}_{29}) + (1 - \alpha) * \overline{T}_{29}$$

$$T_{30} = 0.1 * (47,555 - 54,370) + (1 - 0.1) * (-2,538) = -2,752$$

$$\overline{T}_{30} = \frac{T_{29} + T_{30}}{2} = \frac{-2,538 - 2,752}{2} = -2,645$$

Del modo anterior se calculan los datos de los siguientes períodos para cada uno de los α mostrados en las figuras 30, 31 y 32.

Figura 30. Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C) con $\alpha = 0.1$

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C), adhesivos							
$\alpha = 0.1$							
Mes	Venta real	Pronóstico	Pronóstico promedio	Tendencia	Tendencia promedio	Error	Error acumulado
29	54370	56,356	56,356	-2,538	-2,538		
30	47,555	33,514	44,935	-2,966	-2,752		
31	47,645	20,168	36,679	-2,468	-2,657		
32	43,127	12,765	30,701	-2,843	-2,704		
33	47,372	6,368	18,204	-2,009	-2,571	41,004	41,004
34	58,924	-4,938	8,591	-1,159	-2,120	63,862	104,866
35	61,423	-10,486	927	-1,658	-1,917	71,909	176,776
36	49,983	-16,328	-6,346	-2,869	-1,924	66,311	243,086

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C), boquilla							
$\alpha = 0.1$							
Mes	Venta real	Pronóstico	Pronóstico promedio	Tendencia	Tendencia promedio	Error	Error acumulado
29	18325	19,182	19,182	1,152	1,152		
30	21,106	29,550	24,366	1,315	1,233		
31	12,634	35,467	28,066	263	910		
32	13,324	36,255	30,113	888	904		
33	16,794	38,253	34,881	1,161	907	-21,459	21,459
34	17,742	43,041	38,254	911	806	-25,299	46,758
35	20,132	45,505	40,764	964	981	-25,373	72,131
36	17,073	49,592	44,098	577	903	-32,519	104,651

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C), acabados							
$\alpha = 0.1$							
Mes	Venta real	Pronóstico	Pronóstico promedio	Tendencia	Tendencia promedio	Error	Error acumulado
29	5065	4,541	4,541	1,033	1,033		
30	6,050	13,838	9,189	1,028	1,031		
31	3,939	18,465	12,281	716	926		
32	7,876	20,614	14,364	1,227	1,001		
33	4,317	23,375	19,073	545	879	-19,058	19,058
34	4,902	26,986	22,360	850	835	-22,084	41,141
35	5,276	29,871	25,211	789	853	-24,595	65,736
36	5,236	32,885	28,279	763	737	-27,649	93,385

Figura 31. Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C) con $\alpha = 0.9$

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C), adhesivos							
$\alpha = 0.9$							
Mes	Venta real	Pronóstico	Pronóstico promedio	Tendencia	Tendencia promedio	Error	Error acumulado
29	54370	56,356	56,356	-2,538	-2,538		
30	47,555	56,074	56,215	-6,387	-4,463		
31	47,645	55,719	56,049	-365	-3,097		
32	43,127	55,705	55,963	-4,376	-3,417		
33	47,372	55,584	55,770	3,479	-1,912	-8,212	8,212
34	58,924	55,558	55,642	10,206	2,236	3,366	11,578
35	61,423	55,890	55,684	2,473	2,945	5,533	17,111
36	49,983	56,012	55,761	-10,001	1,539	-6,029	23,139

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C), boquilla							
$\alpha = 0.9$							
Mes	Venta real	Pronóstico	Pronóstico promedio	Tendencia	Tendencia promedio	Error	Error acumulado
29	18325	19,182	19,182	1,152	1,152		
30	21,106	19,310	19,246	2,618	1,885		
31	12,634	19,455	19,315	-7,436	-1,222		
32	13,324	19,180	19,281	499	-792		
33	16,794	19,193	19,284	3,044	-319	-2,399	2,399
34	17,742	19,249	19,269	821	-768	-1,507	3,906
35	20,132	19,184	19,201	2,074	1,610	948	4,854
36	17,073	19,380	19,252	-2,592	837	-2,307	7,162

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C), acabados							
$\alpha = 0.9$							
Mes	Venta real	Pronóstico	Pronóstico promedio	Tendencia	Tendencia promedio	Error	Error acumulado
29	5065	4,541	4,541	1,033	1,033		
30	6,050	4,656	4,598	990	1,011		
31	3,939	4,711	4,636	-1,799	75		
32	7,876	4,644	4,638	3,551	944		
33	4,317	4,743	4,688	-3,109	-92	-426	426
34	4,902	4,678	4,694	517	-210	224	650
35	5,276	4,670	4,684	316	319	606	1,255
36	5,236	4,719	4,702	-4	-570	517	1,772

Figura 32. Pronóstico por promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C) con el mejor α

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C), adhesivos							
$\alpha = 0.99$							
Mes	Venta real	Pronóstico	Pronóstico promedio	Tendencia	Tendencia promedio	Error	Error acumulado
29	54370	56,356	56,356	-2,538	-2,538		
30	47,555	56,330	56,343	-6,772	-4,655		
31	47,645	56,296	56,327	43	-3,089		
32	43,127	56,296	56,319	-4,504	-3,443		
33	47,372	56,285	56,302	4,168	-1,766	-8,913	8,913
34	58,924	56,284	56,290	11,419	2,781	2,640	11,553
35	61,423	56,318	56,296	2,502	3,396	5,105	16,658
36	49,983	56,330	56,304	-11,292	1,699	-6,347	23,005

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C), boquilla							
$\alpha = 0.99$							
Mes	Venta real	Pronóstico	Pronóstico promedio	Tendencia	Tendencia promedio	Error	Error acumulado
29	18325	19,182	19,182	1,152	1,152		
30	21,106	19,193	19,187	2,765	1,958		
31	12,634	19,207	19,194	-8,368	-1,484		
32	13,324	19,179	19,190	668	-946		
33	16,794	19,181	19,190	3,426	-377	-2,387	2,387
34	17,742	19,186	19,188	935	-835	-1,444	3,831
35	20,132	19,180	19,181	2,358	1,847	952	4,783
36	17,073	19,200	19,187	-3,010	927	-2,127	6,910

Promedio móvil ponderado exponencialmente (caso C), acabados							
$\alpha = 0.73$							
Mes	Venta real	Pronóstico	Pronóstico promedio	Tendencia	Tendencia promedio	Error	Error acumulado
29	5065	4,541	4,541	1,033	1,033		
30	6,050	4,923	4,732	998	1,015		
31	3,939	5,107	4,857	-1,267	255		
32	7,876	4,951	4,881	2,943	927		
33	4,317	5,223	5,051	-2,348	82	-906	906
34	4,902	5,081	5,091	449	-56	-179	1,086
35	5,276	5,070	5,081	258	325	206	1,291
36	5,236	5,202	5,144	59	-396	34	1,326

Familia de demanda ascendente-descendente

Modelo lineal. La herramienta que se utiliza en esta familia es el método estadístico de regresión, cuya fórmula básica es $Y = A + BX$. Donde,

Y = pronóstico por calcular = P

A = intercepto (valor del eje Y cuando el valor del eje X es cero)

B = pendiente de la curva

X = período de tiempo que se quiere proyectar

Las ecuaciones normales de ésta fórmula son las siguientes:

$$A = \frac{\sum Y * \sum (X)^2 - \sum (X) * \sum (XY)}{N * \sum (X)^2 - (\sum X)^2}$$

$$B = \frac{N * (\sum (XY) - \sum (X) * \sum (Y))}{N * \sum (X)^2 - (\sum X)^2}$$

Para realizar los cálculos es necesario el uso de una tabla en la cual se calcula la sumatoria de cada uno de los elementos que requieren las ecuaciones. Para el pronóstico de evaluación se utiliza la sumatoria de 32 datos, mientras que para el pronóstico de riesgo se hace uso de los 36 datos de ventas. Esta tabla se encuentra al final del anexo (tabla 29). Para realizar el cálculo, se sustituyen los valores en las fórmulas quedando éstas, para los adhesivos, así:

$$A = \frac{1,561,343 * 11,440 - 528 * 26,784,329}{32 * 11,440 - (528)^2} = 42,609.49194$$

$$B = \frac{32 * 26,784,329 - 528 * 1,561,343}{32 * 11,440 - (528)^2} = 374.6956$$

El pronóstico de evaluación para el período 33 es:

$$P_{33} = 42,609.49194 + 374.6956 * 33 = 54,974$$

Los siguientes pronósticos se calculan de igual manera; los resultados del modelo lineal para cada una de las familias se muestran en la figura 33.

Figura 33. Modelo lineal

Lineal, adhesivos					Lineal, boquilla				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	54,974	-7,602	7,602	33	16,794	18,525	-1,731	1,731
34	58,924	55,349	3,575	11,177	34	17,742	18,649	-907	2,638
35	61,423	55,724	5,699	16,876	35	20,132	18,773	1,359	3,997
36	49,983	56,099	-6,116	22,992	36	17,073	18,897	-1,824	5,821
A= 42,609		B= 374.69556			A= 1,4428		B= 124.14406		
R= 0.4546					R= 0.4079				
Lineal, acabados									
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado					
33	4,317	4,567	-250	250					
34	4,902	4,574	328	578					
35	5,276	4,581	695	1,272					
36	5,236	4,589	647	1,919					
A= 4,323.3		B= 7.376283							
R= 0.057									

Modelo geométrico. Para poder trabajar este modelo, cuya ecuación es $Y = AX^B$, se debe convertir esta fórmula exponencial en una lineal para poder encontrar fácilmente sus ecuaciones normales. Entonces, se aplica la ley de logaritmos naturales para convertirla en la siguiente ecuación lineal:

$$\ln Y = \ln A + B \ln X$$

Haciendo una analogía de los factores de esta ecuación con los de la ecuación normal se tiene:

$$Y = \ln Y$$

$$A = \ln A$$

$$B = B$$

$$X = \ln X$$

Hecha esta similitud, las ecuaciones normales quedan de la siguiente forma:

$$\ln A = \frac{\sum (\ln Y) * \sum (\ln X)^2 - \sum (\ln X) * (\sum (\ln X \ln Y))}{N * (\sum (\ln X)^2) - (\sum \ln X)^2}$$

Donde,

$$A = e^{\ln A}$$

y,

$$B = \frac{N * (\sum (\ln X \ln Y)) - \sum (\ln X) * \sum (\ln Y)}{N * (\sum (\ln X)^2) - (\sum \ln X)^2}$$

Al igual que en el modelo lineal, se sustituyen los valores de las sumatorias (tabla 29) en las fórmulas anteriores quedando como resultado, para los adhesivos, $A = 37,684.38$ y $B = 0.09654$. Estos resultados se sustituyen en la fórmula del modelo geométrico para encontrar los valores del pronóstico mostrados en la figura 34. Así, el pronóstico para el mes 33 es:

$$Y = 37,684.38 * 33^{0.09654} = 42,816$$

Figura 34. Modelo geométrico

Geométrico, adhesivos					Geométrico, boquilla				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	52,816	-5,444	5,444	33	16,794	17,655	-861	861
34	58,924	52,968	5,956	11,400	34	17,742	17,702	40	901
35	61,423	53,117	8,306	19,706	35	20,132	17,747	2,385	3,286
36	49,983	53,261	-3,278	22,984	36	17,073	17,791	-718	4,005
A= 37,684.38		B= 0.0965434			A= 12,970		B= 0.088195		
R= 0.5168					R= 0.4357				
Geométrico, acabados									
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado					
33	4,317	4,190	127	127					
34	4,902	4,187	715	843					
35	5,276	4,184	1,092	1,935					
36	5,236	4,181	1,055	2,990					
A= 4,562.9		B= -0.024412							
R= -0.0759									

Modelo semilogarítmico. Éste se basa en la ecuación $Y = AB^X$ que al convertirla a una fórmula lineal queda $\ln Y = \ln A + X \ln B$, y haciendo la analogía a los valores lineales se tiene:

$$Y = \ln Y$$

$$A = \ln A$$

$$B = \ln B$$

$$X = X$$

Por lo que las ecuaciones normales son:

$$\ln A = \frac{\sum (\ln Y) * \sum (X)^2 - \sum (X) * (\sum (X \ln Y))}{N * (\sum (X)^2) - (\sum X)^2}$$

$$\ln B = \frac{N * (\sum (X \ln Y)) - \sum (X) * \sum (\ln Y)}{N * (\sum (X)^2) - (\sum X)^2}$$

Donde,

$$A = e^{\ln A}$$

y,

$$B = e^{\ln B}$$

Para los adhesivos, A es 42,047.37249 y B es 1.0083075. Los pronósticos que se muestran en la figura 35 se calculan igual que el ejemplo siguiente:

$$P_{33} = 42,047.37 * 1.0083075^{33} = 55,247$$

Figura 35. Modelo semilogarítmico

Semilogarítmico, adhesivos					Semilogarítmico, boquilla				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	55,247	-7,875	7,875	33	16,794	18,392	-1,598	1,598
34	58,924	55,706	3,218	11,093	34	17,742	18,532	-790	2,388
35	61,423	56,169	5,254	16,347	35	20,132	18,672	1,460	3,848
36	49,983	56,635	-6,652	23,000	36	17,073	18,813	-1,740	5,588
A= 42,047.37		B= 1.0083075			A= 14,339		B= 1.0075734		
R= 0.4855					R= 0.4085				

Semilogarítmico, acabados				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	4,317	4,291	26	26
34	4,902	4,291	611	637
35	5,276	4,291	985	1,622
36	5,236	4,291	945	2,567
A= 4,284.6		B= 1.000044		
R= 0.0015				

Modelo del logaritmo inverso. Este modelo se basa en la ecuación

$$Y = e^{A - \frac{B}{X}}$$

convirtiéndola al modelo lineal se obtiene la fórmula

$$\ln Y = A - \frac{B}{X}$$

haciendo la analogía correspondiente al modelo lineal, se obtiene el siguiente resultado:

$$Y = \ln Y$$

$$A = A$$

$$B = B$$

$$X = 1/X$$

Por tanto, las ecuaciones normales son:

$$A = \frac{\sum (\ln Y) * \sum (1/X)^2 - \sum (1/X) * (\sum ((1/X) \ln Y))}{N * (\sum (1/X)^2) - (\sum 1/X)^2}$$

$$B = \frac{N * (\sum ((1/X) \ln Y)) - \sum (1/X) * \sum (\ln Y)}{N * (\sum (1/X)^2) - (\sum 1/X)^2}$$

Sustituyendo los valores de las sumatorias en las fórmulas anteriores, se obtiene $A = 10.819225$ y $B = -0.285154$ para los adhesivos. Para calcular los pronósticos de los meses 33 al 36 mostrados en la figura 36, se aplica la ecuación del logaritmo inverso como en el ejemplo siguiente:

$$P_{33} = e^{10.819225 - \frac{-0.285154}{33}} = 50,406$$

Figura 36. Modelo de logaritmo inverso

Logaritmo inverso, adhesivos					Logaritmo inverso, boquilla				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	50,406	-3,034	3,034	33	16,794	16,297	497	497
34	58,924	50,393	8,531	11,565	34	17,742	16,311	1,431	1,927
35	61,423	50,381	11,042	22,607	35	20,132	16,325	3,807	5,735
36	49,983	50,370	-387	22,993	36	17,073	16,337	736	6,471
A= 10.819225		B= -0.285154			A= 9.7281		B= 0.9700759		
R= -0.3359					R= -0.2824				

Logaritmo inverso, acabados				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	4,317	4,215	102	102
34	4,902	4,216	686	788
35	5,276	4,216	1,060	1,848
36	5,236	4,216	1,020	2,867
A= 8.3498		B= 0.1083784		
R= 0.0741				

Modelo hiperbólico. Como su nombre lo indica, se basa en la ecuación hiperbólica

$$Y = \frac{1}{A + BX},$$

al transformarla a un modelo lineal, se obtiene la ecuación

$$\frac{1}{Y} = A + BX,$$

Al hacer la analogía de esta ecuación con la de la recta, se observa que:

$$Y = 1/Y$$

$$A = A$$

$$B = B$$

$$X = X$$

por lo que las ecuaciones normales de regresión quedan así:

$$A = \frac{\sum(1/Y) * \sum(X)^2 - \sum(X) * \sum(X * (1/Y))}{N * \sum(X)^2 - (\sum X)^2}$$

$$B = \frac{N * (\sum(X * (1/Y))) - \sum(X) * \sum(1/Y)}{N * \sum(X)^2 - (\sum X)^2}$$

Al valorar estas ecuaciones con las sumatorias correspondientes a los adhesivos, se obtiene $A = 2.4063E-5$ y $B = -1.85097E-7$. Sustituyendo estos valores en la fórmula hiperbólica original, se obtienen los pronósticos de evaluación para los meses 33 al 36 (ver figura 37). El pronóstico para el mes 33 de adhesivos es:

$$P_{33} = \frac{1}{2.4063E-5 - 1.85097E-7 * 33} = 55,696$$

Figura 37. Modelo hiperbólico

Hiperbólico, adhesivos					Hiperbólico, boquilla				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	55,696	-8,324	8,324	33	16,794	18,260	-1,466	1,466
34	58,924	56,276	2,648	10,972	34	17,742	18,417	-675	2,141
35	61,423	56,868	4,555	15,527	35	20,132	18,577	1,555	3,696
36	49,983	57,473	-7,490	23,017	36	17,073	18,740	-1,667	5,363
A= 2.406E-05		B= -1.85E-07		A= 7E-05		B= -4.68E-07			
R= -0.506986				R= -0.402					
Hiperbólico, acabados									
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado					
33	4,317	4,032	285	285					
34	4,902	4,027	875	1,160					
35	5,276	4,021	1,255	2,415					
36	5,236	4,015	1,221	3,635					
A= 0.0002364		B= 3.523E-07							
R= 0.0465163									

Modelo logarítmico. Es el último modelo que se evaluará para la familia ascendente–descendente, el modelo se basa en la ecuación

$$Y = A + B \ln X$$

no hay que transformar la ecuación ya que la analogía con la ecuación de la recta es la siguiente:

$$Y = Y$$

$$A = A$$

$$B = B$$

$$X = \ln X$$

Las ecuaciones normales de regresión quedan como sigue:

$$A = \frac{\sum Y * \sum (\ln X)^2 - \sum (\ln X) * \sum (\ln X * Y)}{N * \sum (\ln X)^2 - (\sum \ln X)^2}$$

$$B = \frac{N * (\sum (\ln X * Y) - \sum (\ln X) * \sum (Y))}{N * \sum (\ln X)^2 - (\sum \ln X)^2}$$

Al sustituir los valores de las sumatorias en las ecuaciones normales, se obtienen los valores siguientes: A = 37,361 y B= 4,485.2138. En la figura 38 se muestran los resultados de los pronósticos para las tres familias aplicando la fórmula logarítmica. Como ejemplo se calcula el pronóstico 33 para la familia de adhesivos:

$$P_{33} = 37,361 + 4,485.2138 * \ln 33 = 53,043$$

Figura 38. Modelo logarítmico

Logarítmico, adhesivos					Logarítmico, boquilla				
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado	Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado
33	47,372	53,043	-5,671	5,671	33	16,794	17,848	-1,054	1,054
34	58,924	53,177	5,747	11,418	34	17,742	17,891	-149	1,203
35	61,423	53,307	8,116	19,534	35	20,132	17,933	2,199	3,402
36	49,983	53,433	-3,450	22,984	36	17,073	17,974	-901	4,303
A= 37,361		B= 4,485.2138			A= 12,788		B= 1,447.0383		
R= 0.4965					R= 0.4338				
Logarítmico, acabados									
Mes	Venta real	Pronóstico	Error	Error acumulado					
33	4,317	4,416	-99	99					
34	4,902	4,415	487	586					
35	5,276	4,414	862	1,448					
36	5,236	4,413	823	2,271					
A= 4,523.2		B= -30.67907							
R= -0.0216									

Tabla XXIX. Cálculos para la familia de curvas con crecimiento ascendente-descendente

$\Sigma 32$	528	1,561,343	527,246	142,239	11,440	26,784,329	9,038,224
	Mes	Adhesivos (Y1)	Boquilla (Y2)	Acabados (Y3)	X ²	XY1	XY2
	1	44,801	15,432	4,628	1	44,801	15,432
	2	41,235	13,648	3,983	4	82,470	27,296
	3	43,600	13,889	4,521	9	130,800	41,667
	4	41,818	15,467	5,386	16	167,272	61,868
	5	33,905	10,710	4,361	25	169,525	53,550
	6	33,690	14,102	3,481	36	202,140	84,612
	7	42,395	13,322	6,664	49	296,765	93,254
	8	45,046	15,812	5,342	64	360,368	126,496
	9	39,690	14,308	3,460	81	357,210	128,772
	10	46,968	16,330	5,081	100	469,680	163,300
	11	44,755	14,751	4,412	121	492,305	162,261
	12	45,821	14,340	5,178	144	549,852	172,080
	13	67,534	22,282	3,656	169	877,942	289,666
	14	59,000	21,314	5,962	196	826,000	298,396
	15	56,199	18,529	4,678	225	842,985	277,935
	16	55,784	17,913	3,077	256	892,544	286,608
	17	60,305	16,729	3,453	289	1,025,185	284,393
	18	51,771	16,041	3,948	324	931,878	288,738
	19	45,198	15,794	2,940	361	858,762	300,086
	20	44,702	14,185	3,261	400	894,040	283,700
	21	46,111	15,311	2,004	441	968,331	321,531
	22	50,651	18,695	3,287	484	1,114,322	411,290
	23	51,683	17,351	3,716	529	1,188,709	399,073
	24	50,561	18,876	4,667	576	1,213,464	453,024
	25	59,278	18,091	4,739	625	1,481,950	452,275
	26	58,233	22,024	5,926	676	1,514,058	572,624
	27	51,004	19,438	3,466	729	1,377,108	524,826
	28	56,908	17,173	4,032	784	1,593,424	480,844
	29	54,370	18,325	5,065	841	1,576,730	531,425
	30	47,555	21,106	6,050	900	1,426,650	633,180
	31	47,645	12,634	3,939	961	1,476,995	391,654
	32	43,127	13,324	7,876	1,024	1,380,064	426,368
	33	47,372	16,794	4,317	1,089	1,563,276	554,202
	34	58,924	17,742	4,902	1,156	2,003,416	603,228
	35	61,423	20,132	5,276	1,225	2,149,805	704,620
	36	49,983	17,073	5,236	1,296	1,799,388	614,628
$\Sigma 32$	666	1,779,045	598,987	161,970	16,206	34,300,214	11,514,902

Continuación

2,367,066	0.000672283	0.001999	0.00775	0.010587726	0.031714	0.1288296	345.0579082
XY3	1/Y 1	1/Y 2	1/Y 3	X/Y 1	X/Y 2	X/Y 3	LN(Y) 1
4,628	2.23209E-05	6.48E-05	0.000216	2.23209E-05	6.48E-05	0.0002161	10.70998574
7,966	2.42512E-05	7.33E-05	0.000251	4.85025E-05	0.000147	0.0005021	10.62704269
13,563	2.29358E-05	7.2E-05	0.000221	6.88073E-05	0.000216	0.0006636	10.68281243
21,544	2.39131E-05	6.47E-05	0.000186	9.56526E-05	0.000259	0.0007427	10.64108215
21,805	2.94942E-05	9.34E-05	0.000229	0.000147471	0.000467	0.0011465	10.43131778
20,886	2.96824E-05	7.09E-05	0.000287	0.000178094	0.000425	0.0017236	10.42495634
46,648	2.35877E-05	7.51E-05	0.00015	0.000165114	0.000525	0.0010504	10.65478571
42,736	2.21995E-05	6.32E-05	0.000187	0.000177596	0.000506	0.0014976	10.71543947
31,140	2.51953E-05	6.99E-05	0.000289	0.000226757	0.000629	0.0026012	10.58885455
50,810	2.12911E-05	6.12E-05	0.000197	0.000212911	0.000612	0.0019681	10.7572218
48,532	2.23439E-05	6.78E-05	0.000227	0.000245783	0.000746	0.0024932	10.70895845
62,136	2.18241E-05	6.97E-05	0.000193	0.000261889	0.000837	0.0023175	10.73249778
47,528	1.48074E-05	4.49E-05	0.000274	0.000192496	0.000583	0.0035558	11.12038645
83,468	1.69492E-05	4.69E-05	0.000168	0.000237288	0.000657	0.0023482	10.98529272
70,170	1.77939E-05	5.4E-05	0.000214	0.000266909	0.00081	0.0032065	10.93665424
49,232	1.79263E-05	5.58E-05	0.000325	0.000286821	0.000893	0.0051999	10.92924237
58,701	1.65824E-05	5.98E-05	0.00029	0.0002819	0.001016	0.0049233	11.0071703
71,064	1.93158E-05	6.23E-05	0.000253	0.000347685	0.001122	0.0045593	10.85458543
55,860	2.21249E-05	6.33E-05	0.00034	0.000420373	0.001203	0.0064626	10.71880812
65,220	2.23704E-05	7.05E-05	0.000307	0.000447407	0.00141	0.0061331	10.70777352
42,084	2.16868E-05	6.53E-05	0.000499	0.000455423	0.001372	0.010479	10.73880681
72,314	1.97429E-05	5.35E-05	0.000304	0.000434345	0.001177	0.006693	10.83271425
85,468	1.93487E-05	5.76E-05	0.000269	0.000445021	0.001326	0.0061895	10.85288419
112,008	1.97781E-05	5.3E-05	0.000214	0.000474674	0.001271	0.0051425	10.83093581
118,475	1.68697E-05	5.53E-05	0.000211	0.000421742	0.001382	0.0052754	10.98999352
154,076	1.71724E-05	4.54E-05	0.000169	0.000446482	0.001181	0.0043874	10.97220748
93,582	1.96063E-05	5.14E-05	0.000289	0.00052937	0.001389	0.00779	10.83965934
112,896	1.75722E-05	5.82E-05	0.000248	0.000492022	0.00163	0.0069444	10.94919121
146,885	1.83925E-05	5.46E-05	0.000197	0.000533382	0.001583	0.0057256	10.90356781
181,500	2.10283E-05	4.74E-05	0.000165	0.000630848	0.001421	0.0049587	10.76964221
122,109	2.09886E-05	7.92E-05	0.000254	0.000650645	0.002454	0.00787	10.77153297
252,032	2.31873E-05	7.51E-05	0.000127	0.000741995	0.002402	0.004063	10.67190453
142,461	2.11095E-05	5.95E-05	0.000232	0.000696614	0.001965	0.0076442	10.76578662
166,668	1.6971E-05	5.64E-05	0.000204	0.000577014	0.001916	0.0069359	10.98400376
184,660	1.62805E-05	4.97E-05	0.00019	0.000569819	0.001739	0.0066338	11.02553964
188,496	2.00068E-05	5.86E-05	0.000191	0.000720245	0.002109	0.0068755	10.81943823
3,049,351	0.000746651	0.002224	0.008566	0.013151418	0.039443	0.1569191	388.6526764

Continuación

310.246	267.6321	5,716.0247	5,139.6456	4,416.0499	26,784,329	9,038,224	2,367,066
LN(Y) 2	LN(Y) 3	X*LN(Y) 1	X*LN(Y) 2	X*LN(Y) 3	X*Y 1	X*Y 2	X*Y 3
9.6442	8.43988	10.70998574	9.644198555	8.439880088	44,801	15,432	4,628
9.52135	8.289791	21.25408538	19.04269654	16.57958117	82,470	27,296	7,966
9.53885	8.416488	32.04843729	28.61655732	25.24946546	130,800	41,667	13,563
9.64646	8.591558	42.56432859	38.585856	34.36623309	167,272	61,868	21,544
9.27893	8.380457	52.15658888	46.39466582	41.90228334	169,525	53,550	21,805
9.55407	8.155075	62.54973802	57.32443146	48.93044933	202,140	84,612	20,886
9.49717	8.804475	74.58349997	66.48020458	61.63132629	296,765	93,254	46,648
9.66852	8.583355	85.72351575	77.3481954	68.66684315	360,368	126,496	42,736
9.56857	8.149024	95.29969091	86.1171669	73.34121481	357,210	128,772	31,140
9.70076	8.533263	107.572218	97.00759186	85.33263372	469,680	163,300	50,810
9.59907	8.392083	117.7985429	105.5897277	92.31291718	492,305	162,261	48,532
9.57081	8.552174	128.7899734	114.8496974	102.6260899	549,852	172,080	62,136
10.0115	8.204125	144.5650239	130.1499479	106.6536241	877,942	289,666	47,528
9.96712	8.693161	153.7940981	139.5396718	121.7042578	826,000	298,396	83,468
9.82709	8.450626	164.0498136	147.4063853	126.7593892	842,985	277,935	70,170
9.79328	8.03171	174.8678779	156.6925118	128.507366	892,544	286,608	49,232
9.7249	8.146999	187.1218951	165.3232833	138.4989779	1,025,185	284,393	58,701
9.6829	8.280964	195.3825377	174.292258	149.0573592	931,878	288,738	71,064
9.66739	7.986165	203.6573542	183.6803226	151.7371323	858,762	300,086	55,860
9.55994	8.089789	214.1554704	191.1988069	161.7957835	894,040	283,700	65,220
9.63633	7.6029	225.5149431	202.3628629	159.6609097	968,331	321,531	42,084
9.83601	8.097731	238.3197136	216.3922505	178.1500726	1,114,322	411,290	72,314
9.76141	8.220403	249.6163363	224.5123247	189.0692713	1,188,709	399,073	85,468
9.84565	8.448272	259.9424594	236.2955173	202.7585219	1,213,464	453,024	112,008
9.80317	8.463581	274.749838	245.0792464	211.5895355	1,481,950	452,275	118,475
9.99989	8.687105	285.2773946	259.9970892	225.8647229	1,514,058	572,624	154,076
9.87499	8.150756	292.6708022	266.6246002	220.0704247	1,377,108	524,826	93,582
9.75109	8.302018	306.5773538	273.0306225	232.4564987	1,593,424	480,844	112,896
9.81602	8.530109	316.2034665	284.6646243	247.3731731	1,576,730	531,425	146,885
9.95731	8.707814	323.0892664	298.7193792	261.2344065	1,426,650	633,180	181,500
9.44415	8.278682	333.9175221	292.768553	256.6391471	1,476,995	391,654	122,109
9.49732	8.971575	341.500945	303.9143104	287.0904141	1,380,064	426,368	252,032
9.72878	8.370316	355.2709583	321.0496396	276.2204279	1,563,276	554,202	142,461
9.78369	8.497399	373.4561277	332.6454596	288.9115512	2,003,416	603,228	166,668
9.91007	8.570924	385.8938873	346.8523054	299.982323	2,149,805	704,620	184,660
9.74525	8.563313	389.4997762	350.8291277	308.2792726	1,799,388	614,628	188,496
349.414	301.6341	7,220.1455	6,491.0221	5,589.4435	34,300,214	11,514,902	3,049,351

Continuación

230.573	81.558	881.6365521	792.7230147	681.556	1.614	4.058495195	182,891.98
LN(X)²	LN(X)	LN(X)*LN(Y) 1	LN(X)*LN(Y) 2	LN(X)*LN(Y) 3	(1/X)²	1/X	Y/X 1
0	0	0	0	0	1	1	44,801.00
0.48045	0.69315	7.366104678	6.599695708	5.746045	0.25	0.5	20,617.50
1.20695	1.09861	11.73626901	10.47950051	9.246458	0.111	0.333333333	14,533.33
1.92181	1.38629	14.75167218	13.37283865	11.91043	0.063	0.25	10,454.50
2.59029	1.60944	16.7885583	14.93386682	13.48782	0.04	0.2	6,781.00
3.2104	1.79176	18.67901423	17.11859881	14.61193	0.028	0.166666667	5,615.00
3.78657	1.94591	20.73325565	18.48064354	17.13272	0.02	0.142857143	6,056.43
4.32408	2.07944	22.28212997	20.10513133	17.84859	0.016	0.125	5,630.75
4.8278	2.19722	23.26609145	21.02430618	17.90524	0.012	0.111111111	4,410.00
5.3019	2.30259	24.76941855	22.33682349	19.64857	0.01	0.1	4,696.80
5.7499	2.3979	25.67896084	23.01755536	20.12334	0.008	0.090909091	4,068.64
6.17476	2.48491	26.6692551	23.78256473	21.25135	0.007	0.083333333	3,818.42
6.57897	2.56495	28.52322809	25.67907887	21.04316	0.006	0.076923077	5,194.92
6.96462	2.63906	28.99081728	26.30379954	22.94175	0.005	0.071428571	4,214.29
7.33354	2.70805	29.61700872	26.61225942	22.88472	0.004	0.066666667	3,746.60
7.68725	2.77259	30.30229413	27.15274319	22.26863	0.004	0.0625	3,486.50
8.0271	2.83321	31.18566177	27.55271367	23.08219	0.003	0.058823529	3,547.35
8.35425	2.89037	31.37378716	27.98719001	23.93507	0.003	0.055555556	2,876.17
8.66972	2.94444	31.56087643	28.4650264	23.51478	0.003	0.052631579	2,378.84
8.97441	2.99573	32.07762272	28.63902183	24.23484	0.003	0.05	2,235.10
9.26912	3.04452	32.69453829	29.33801317	23.1472	0.002	0.047619048	2,195.76
9.55454	3.09104	33.48437964	30.40352877	25.03043	0.002	0.045454545	2,302.32
9.83132	3.13549	34.02915559	30.60683024	25.77503	0.002	0.043478261	2,247.09
10.1	3.17805	34.42129703	31.28999474	26.84906	0.002	0.041666667	2,106.71
10.3612	3.21888	35.37542446	31.55518646	27.24322	0.002	0.04	2,371.12
10.6152	3.2581	35.74851122	32.58060063	28.30343	0.001	0.038461538	2,239.73
10.8625	3.29584	35.72574887	32.54634025	26.86356	0.001	0.037037037	1,889.04
11.1036	3.3322	36.48494433	32.49263828	27.66402	0.001	0.035714286	2,032.43
11.3387	3.3673	36.71553842	33.05344835	28.7234	0.001	0.034482759	1,874.83
11.5681	3.4012	36.6296789	33.86678568	29.61699	0.001	0.033333333	1,585.17
11.7923	3.43399	36.9893064	32.43107951	28.42889	0.001	0.032258065	1,536.94
12.0113	3.46574	36.98600268	32.91521053	31.09311	1E-03	0.03125	1,347.72
12.2256	3.49651	37.64265431	34.0167422	29.26687	9E-04	0.03030303	1,435.52
12.4352	3.52636	38.73355725	34.50081816	29.96489	9E-04	0.029411765	1,733.06
12.6405	3.55535	39.19963097	35.23373347	30.47262	8E-04	0.028571429	1,754.94
12.8416	3.58352	38.77166179	34.92230065	30.68679	8E-04	0.027777778	1,388.42
280.716	95.7197	1,035.9841	931.3966092	801.9471	1.618	4.174559197	189,203.91

Continuación

62,073.24	18,261.98	43.4495	39.06225	34.06239	4081219	1376643	361826
Y/X 2	Y/X 3	LN(Y)/X 1	LN(Y)/X 2	LN(Y)/X 3	LN(X)*Y 1	LN(X)*Y 2	LN(X)*Y 3
15,432.00	4,628.00	10.71	9.644199	8.43988	0	0	0
6,824.00	1,991.50	5.31352	4.760674	4.144895	28581.92	9460.073	2760.805
4,629.67	1,507.00	3.56094	3.179617	2.805496	47899.5	15258.63	4966.826
3,866.75	1,346.50	2.66027	2.411616	2.14789	57972.06	21441.81	7466.581
2,142.00	872.20	2.08626	1.855787	1.676091	54567.99	17237.08	7018.759
2,350.33	580.17	1.73749	1.592345	1.359179	60364.38	25267.39	6237.115
1,903.14	952.00	1.52211	1.356739	1.257782	82496.86	25923.42	12967.55
1,976.50	667.75	1.33943	1.208566	1.072919	93670.52	32880.13	11108.38
1,589.78	384.44	1.17654	1.063175	0.905447	87207.84	31437.89	7602.397
1,633.00	508.10	1.07572	0.970076	0.853326	108147.8	37601.21	11699.43
1,341.00	401.09	0.97354	0.872642	0.762917	107317.8	35371.35	10579.51
1,195.00	431.50	0.89437	0.797567	0.712681	113860.9	35633.56	12866.85
1,714.00	281.23	0.85541	0.770118	0.631087	173221.3	57152.2	9377.455
1,522.43	425.86	0.78466	0.711937	0.62094	155704.4	56248.87	15734.06
1,235.27	311.87	0.72911	0.655139	0.563375	152189.7	50177.46	12668.26
1,119.56	192.31	0.68308	0.61208	0.501982	154666.1	49665.38	8531.255
984.06	203.12	0.64748	0.572053	0.479235	170856.9	47396.83	9783.086
891.17	219.33	0.60303	0.537939	0.460054	149637.4	46364.45	11411.19
831.26	154.74	0.56415	0.50881	0.420324	133082.8	46504.47	8656.651
709.25	163.05	0.53539	0.477997	0.404489	133915.2	42494.46	9769.083
729.10	95.43	0.51137	0.458873	0.362043	140386	46614.68	6101.223
849.77	149.41	0.4924	0.447091	0.368079	156564.4	57787.04	10160.26
754.39	161.57	0.47186	0.424409	0.357409	162051.7	54403.96	11651.5
786.50	194.46	0.45129	0.410235	0.352011	160685.6	59988.94	14831.98
723.64	189.56	0.4396	0.392127	0.338543	190808.5	58232.68	15254.25
847.08	227.92	0.42201	0.384611	0.334119	189728.7	71756.32	19307.48
719.93	128.37	0.40147	0.36574	0.30188	168100.9	64064.48	11423.37
613.32	144.00	0.39104	0.348253	0.296501	189629.1	57223.95	13435.45
631.90	174.66	0.37599	0.338484	0.294142	183079.9	61705.7	17055.35
703.53	201.67	0.35899	0.33191	0.29026	161743.9	71785.67	20577.24
407.55	127.06	0.34747	0.30465	0.267054	163612.3	43384.99	13526.48
416.38	246.13	0.3335	0.296791	0.280362	149466.8	46177.47	27296.14
508.91	130.82	0.32624	0.294811	0.253646	165636.6	58720.35	15094.42
521.82	144.18	0.32306	0.287756	0.249923	207787.3	62564.69	17286.22
575.20	150.74	0.31502	0.283145	0.244884	218380.1	71576.27	18758.02
474.25	145.44	0.30054	0.270701	0.23787	179115	61181.42	18763.31
64,153.43	18,833.16	44.7143	40.19866	35.04872	4852138	1630685	431727.9