

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

PROPUESTA DE MEJORA DE LOS PROCESOS DE PLANIFICACIÓN Y  
CONTROL DE PRODUCCIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN  
SISTEMA MRP PARA LA EMPRESA INGALCROM S.A.

**Eduardo Xavier Cárdenas Díaz**

Tesis de grado presentada como requisito  
para la obtención del título de Ingeniero Industrial

Quito, Enero 2010

© Derechos de autor  
Eduardo Xavier Cárdenas Díaz  
2010

## RESUMEN

INGALCROM S.A. es una empresa mediana que opera en la industria de plásticos, y que hoy en día sufre de las consecuencias de operar bajo malas prácticas de producción. La fábrica de esta compañía no cuenta con un sistema de planificación de producción eficiente puesto que las decisiones sobre la producción se basan más en el criterio de los trabajadores que en técnicas analíticas y de optimización.

Por lo tanto, este proyecto describe el desarrollo de un sistema de Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP) para los tres productos principales de esta empresa, que cumpla con el objetivo de ofrecer una solución técnica para reducir los niveles de inventario, mejorar el control y abastecimiento de materia primaria, disminuir el nivel de faltantes, y disponer de un programa de producción que optimice los recursos de la fábrica. Durante este estudio también se incluye el análisis sobre los pronósticos de la demanda y el desarrollo de una planificación agregada a través de un modelo programación lineal, los cuales son requisitos necesarios para desarrollar un sistema MRP confiable y efectivo. Finalmente, el proyecto presenta además un pequeño programa en Excel® que realiza todos los cálculos de manera automática para obtener un MRP ajustado a las características y necesidades específicas de INGALCROM S.A.

## ABSTRACT

INGALCROM S.A. is a company that operates in the plastic industry and which currently bears the consequences from operating under obsolete production practices. This enterprise manages their production without efficient planning and control systems and its production decisions are mostly based on employees' criteria rather than analytic and optimization techniques.

This project describes the development of a Material Requirements Planning system (MRP) for three main products of INALCROM S. A. The objective is to propose a technical solution to: reduce inventory levels, improve raw materials' control and supply, reduce the level of stockouts, and make available a production program that optimizes the Company's resources. This study includes an analysis on supply projections and develops an aggregate planning with a programming lineal model. These two elements are indispensable to develop an effective and reliable MRP system. Finally, the project also presents a small Excel-based program, which automatically does all the calculations to obtain an adjusted MRP, according to specific characteristics and needs of the Company.



## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Situación Actual de la Empresa.....	3
2 MARCO TEÓRICO .....	4
2.1 Análisis de Procesos .....	4
2.2 Control de Producción .....	5
2.2.1 Pronósticos.....	6
2.2.2 Manejo de Inventarios.....	8
2.2.3 Planificación Agregada.....	10
2.2.4 Planificación de Requerimiento de Materiales .....	12
2.3 El Sistema MRP.....	13
2.3.1 Entradas al Sistema MRP.....	15
2.3.2 Salidas del Sistema MRP .....	17
2.3.3 Implementación de un Sistema MRP.....	18
3 ANÁLISIS DE PROCESOS .....	20
3.1 Levantamiento del Proceso Actual .....	22
3.2 Matriz de Valor Agregado .....	26
3.3 Resultados del Análisis de Procesos.....	29
4 PLANIFICACIÓN AGREGADA .....	30
4.1 Pronóstico de la Demanda .....	30
4.1.1 Pronóstico de la Demanda de Zunchos.....	31
4.1.2 Pronóstico de la Demanda de Empaques de PVC .....	36
4.1.3 Pronóstico de la Demanda de Cintas de Polietileno .....	41
4.2 Análisis del Estado Actual del Inventario .....	50
4.3 Modelo de Programación.....	56
4.3.1 Obtención de datos.....	56
4.3.2 Elaboración del Modelo .....	69
4.3.3 Resultados de la Planificación Agregada.....	74
5 PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES .....	77
5.1 Desagregación del Plan Agregado.....	77

## TABLA DE CONTENIDO (CONTINUACIÓN)

	<b>Pág.</b>
5.2 Requerimientos de la Explosión de Partes.....	78
5.3 Planificación de Requerimientos de Materiales .....	80
6 CREACIÓN DE MRP EN EXCEL®.....	89
6.1 Sistema de Información para Pronóstico de Demanda.....	89
6.2 Sistema para Plan Agregado de Producción.....	91
6.3 Sistema para Planeación de Requerimiento de Materiales .....	92
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	94
7.1 Conclusiones.....	94
7.2 Recomendaciones .....	96
8 BIBLIOGRAFÍA.....	98
9 ANEXOS.....	99
Anexo 1: Comparación del error del pronóstico de Zunchos (PM) .....	100
Anexo 2: Comparación del error del pronóstico de Zunchos (SE) .....	101
Anexo 3: Gráficas de Señal de Rastreo – Pronóstico Zunchos .....	102
Anexo 4: Comparación del error del pronóstico de Empaques PVC (PM).....	103
Anexo 5: Comparación del error del pronóstico de Empaques PVC (SE).....	104
Anexo 6: Gráficas de Señal de Rastreo – Pronóstico Empaques PVC .....	105
Anexo 7: Gráficas de Señal de Rastreo – Pronóstico Cintas Polietileno .....	106
Anexo 8: Modelo de Optimización – Programación Lineal.....	107
Anexo 9: MRP – Fábrica INGALCROM.....	108
Anexo 10: Hoja Excel “Ventas Diarias” .....	109
Anexo 11: Hoja Excel “Cálculo Pronóstico Zunchos” .....	110
Anexo 12: Hoja Excel “Agregación – Desagregación” .....	111
Anexo 13: Hoja Excel “Modelo Programación Lineal” .....	112
Anexo 14: Hoja Excel “Matriz BOM” .....	113
Anexo 15: Hoja Excel “MRP .....	114

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico</b>	<b>Pág.</b>
Gráfico No. 1: Simbología de la Matriz de Valor Agregado .....	5
Gráfico No. 2: Sistema MRP.....	15
Gráfico No. 3: ICOMs INGALCROM Nivel 0.....	20
Gráfico No. 4: ICOMs INGALCROM Nivel 1.....	21
Gráfico No. 5: Diagrama de Flujo del Proceso de Producción de Plásticos .....	23
Gráfico No. 6: ICOM para Fabricación de Zunchos .....	25
Gráfico No. 7: ICOM para Fabricación de Empaques de PVC.....	25
Gráfico No. 8: ICOM para Fabricación de Cintas de Polietileno .....	26
Gráfico No. 9: Ventas de Zunchos. ....	31
Gráfico No. 10: Ventas de Empaques de PVC.....	36
Gráfico No. 11: Ventas Cintas de Polietileno .....	41
Gráfico No. 12: Grafica de Suavización para Ventas de Cintas .....	44
Gráfico No. 13: Salida Programa Minitab® - Gráfica de Residuos.....	47
Gráfico No. 14: Gráfica de la Regresión Lineal para la Venta de Cintas .....	47
Gráfico No. 15: Comparación Gráfica entre los Modelos de Pronostico.....	49
Gráfico No. 16: Esquema Manejo Inventario en INGALCROM .....	52
Gráfico No. 17: Producción Cintas de Polietileno .....	61
Gráfico No. 18: BOM: Zunchos.....	78
Gráfico No. 19: BOM: Empaques de PVC .....	79
Gráfico No. 20: BOM: Cintas de Polietileno .....	79
Gráfico No. 21: Elementos de un MRP.....	83
Gráfico No. 22: Hoja “Ventas Diarias” .....	90
Gráfico No. 23: Hoja “Cálculo Pronóstico Zunchos” .....	91
Gráfico No. 24: Hoja “Desagregación y Agregación” .....	92
Gráfico No. 25: Hoja “Modelo Programación Lineal” .....	92
Gráfico No. 26: Hoja “Matriz BOM” .....	93
Gráfico No. 27: Hoja “MRP” .....	93

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Pág.</b>
Tabla No. 1: Matriz de Valor Agregado. Proceso: Producción de Zunchos .....	27
Tabla No. 2: Matriz de Valor Agregado. Proceso: Producción Empaques PVC .....	28
Tabla No. 3: Ventas Mensuales de los productos de INGALCROM .....	30
Tabla No. 4: Pronósticos de ventas de Zunchos - Promedio Móvil .....	33
Tabla No. 5: Pronóstico Ventas Zunchos – S. Exponencial Simple .....	34
Tabla No. 6: Medidas de Error para Pronósticos de Zunchos .....	35
Tabla No. 7: Pronóstico Ventas Empaque de PVC – Promedio Móvil.....	37
Tabla No. 8: Pronósticos de Ventas Empaques de PVC – S. Exponencial Simple.....	38
Tabla No. 9: Salida del Programa Minitab – Prueba t pareada No. 1 .....	39
Tabla No. 10: Salida del Programa Minitab – Prueba t Pareada No. 2 .....	40
Tabla No. 11: Medidas de Error para Pronósticos de Empaques de PVC .....	40
Tabla No. 12: Salida Programa Minitab – S. Exponencial Doble.....	43
Tabla No. 13: Salida del Programa Minitab® - Análisis de Regresión. ....	46
Tabla No. 14: Pronósticos de Ventas de Cintas – S. Exponencial Simple.....	48
Tabla No. 15: Medidas de Error para Pronósticos de Cintas .....	50
Tabla No. 16: Inventario de Producto Final, Componentes y Materia Prima .....	51
Tabla No. 17: Cálculo del Costo de Mantener Inventario.....	55
Tabla No. 18: Mediciones Capacidad de las Máquinas de Zunchos.....	58
Tabla No. 19: Mediciones Capacidad de las Máquinas de Empaques de PVC .....	60
Tabla No. 20: Cálculo de Costo de material .....	66
Tabla No. 21: Pronósticos de la Demanda Agregada.....	69
Tabla No. 22: Resumen de Costos – Planificación Agregada.....	70
Tabla No. 23: Capacidad en base a la fuerza de Trabajo .....	71
Tabla No. 24: Plan Agregado para la Producción de INGALCROM.....	73
Tabla No. 25: Plan Agregado para la producción – alternativa 2 .....	74
Tabla No.26: Cuadro de Proporciones para Desagregar el Plan de Producción .....	77
Tabla No. 27: Plan Maestro de Producción.....	78
Tabla No. 28: Matriz de la Lista de Materiales (BOM) .....	80
Tabla No. 29: Requerimientos Totales.....	81
Tabla No. 30: Estado del Inventario y Tiempos de Reposición.....	82

**LISTA DE TABLAS (CONTINUACIÓN)**

<b>Tabla</b>	<b>Pág.</b>
Tabla No. 31: Determinación del tamaño del lote con MRP .....	86
Tabla No. 32: Determinación tamaño Lote – Lote para Periodos.....	88
Tabla No. 33: MRP - INGALCROM.....	88

## 1. INTRODUCCIÓN

La Empresa INGALCROM S.A. es una empresa mediana que se dedica a la fabricación de productos plásticos como zunchos, empaques de PVC, cintas de polietileno, entre otros. Sus productos se venden principalmente para el sector agrícola tanto en la sierra y la costa ecuatoriana. Actualmente esta empresa tiene un sistema de planificación y control que se los puede considerar totalmente obsoletos con respecto al avance en investigación y tecnología empresarial a nivel mundial. En consecuencia, problemas de producción como altos niveles de inventario, re-procesos, pérdida de materiales, producción desorganizada, incumplimiento con los tiempos de entregas, entre otros, están a la orden del día.

Por tanto este proyecto hace un análisis de la demanda de los tres productos principales que son los zunchos, los empaques de PVC y las cintas de polietileno, para que en base a un pronóstico adecuado del nivel de ventas, se pueda generar un sistema de planificación y control no solo de productos finales, sino también de todos los requerimientos de materia prima y componentes necesarios para suplir esa demanda.

Además, para obtener un plan inicial de producción de los productos finales se realiza un modelo matemático que optimice las cantidades a producir tomando en cuenta factores importantes de la fábrica como capacidad de producción, inventarios, mano de obra, nivel de servicio, etc. Posteriormente, se transforma este plan inicial en un programa de producción completo donde se considera todos los materiales y componentes que forman parte de los productos finales. Este programa se obtiene aplicando una técnica que se la conoce como MRP, el cual determina al final de método el tiempo en qué se pondrá una requisición de compra o una orden de producción para cumplir con la demanda pronosticada. Finalmente se crea un sistema MRP en Excel® para la fábrica de INGALCROM S.A. con el fin de que ayude a esta empresa a planificar y controlar su producción en un futuro de manera rápida y eficiente.

## 1.1 Objetivos

### General:

Proponer una mejora en los procesos de planificación y control de la producción a través de la aplicación de un MRP que se adapte a las necesidades de la fábrica de INGALCROM.

### Específicos:

- Analizar la operación actual del sistema de producción de los tres productos principales: Zunchos, empaques de PVC, y cintas de polietileno.
- Levantar los procesos de producción actual de los tres productos mencionados.
- Proponer a través de un modelo matemático una posible solución para la planificación de la producción.
- Plantear políticas de inventario que se adapten adecuadamente al plan de producción propuesto.
- Dejar establecido un programa tentativo de producción para sus tres tipos de productos y los requerimientos de sus materias primas respectivas.
- Evaluar la factibilidad de implementar un sistema MRP en Excel.

## 1.2 Antecedentes

INGALCROM es una compañía que opera en la industria de plásticos y fábrica tres productos principales: Zunchos de Polipropileno, Empaques de PVC y Cintas de Polietileno. Actualmente, esta empresa tiene entre otros problemas, el hecho de que no existe un control adecuado de la materia prima necesaria para fabricar los productos antes mencionados, y en consecuencia estos materiales no cumplen generalmente con el rendimiento esperado.

Además, no existe una planificación eficiente de la producción. Actualmente INGALCROM produce constantemente en base a la disponibilidad de las máquinas y a los pedidos de los clientes. Sin embargo, se necesita hacer un mejor análisis de la demanda y de otros factores como inventario, lista de materiales, el plan estratégico, entre otros. Esto conlleva que se estén acumulando grandes cantidades de inventario, un

mal manejo de los recursos, falta de disponibilidad de materiales y llevar un programa de producción que no se adapte a las restricciones del mercado (Gerente INGALCROM, 2009).

### **1.3 Situación Actual de la Empresa**

La empresa INGALCROM cuenta actualmente con una línea de producción de zunchos, una línea para empaques de PVC, y otra línea para las cintas de polietileno. La producción se la realiza de lunes a viernes, incluso sábados en ciertas ocasiones, tanto en el día como en la noche. En el turno de la mañana hay 4 trabajadores en las líneas de producción, 2 trabajadores en materia prima, 1 bodeguero y 2 empleados más para trabajos de reciclaje. En cambio en el turno de la noche solo hay 4 trabajadores en las líneas de producción (Gerente INGALCROM, 2009).

La Empresa INGALCROM actualmente tiene un sistema de planificación de producción ineficiente que está provocando varios problemas como: altos costos en manejo de materiales y manejo de inventarios, paros en la producción por falta de materia prima o por calibrar frecuentemente las máquinas para iniciar con un nuevo tipo de producto, pérdida de clientes por no tener disponibilidad de cierto producto terminado, pérdida de materia prima por falta de control, e incumplimiento con las fechas de entrega (Gerente INGALCROM, 2009).

La producción actual de los tres productos principales de esta empresa se lo realiza mucho en función de los pedidos diarios de los clientes. Esta decisión conlleva a que durante la semana se cambie frecuentemente el tipo de producto o perfil generando un alto costo por desperdicio y pérdida de tiempo. Cada cambio contempla el apagar la máquina, retirar el producto que estaba en producción, cambiar los moldes, calibrar la máquina y volver a calentar la maquina; todo esto en promedio dura 30 min por cada cambio, lo cual genera bastante pérdida de producción (Gerente INGALCROM, 2009).

Esta compañía podría expandir su mercado e incluso incursionar con nuevos productos en otros mercados si tuviera un sistema de planificación mejor estructurado. Por lo tanto, este proyecto intenta mejorar la planificación y control de la producción con el fin de que INGALCROM reduzca costos de producción y aumente el nivel de servicio a sus clientes (Gerente INGALCROM, 2009).



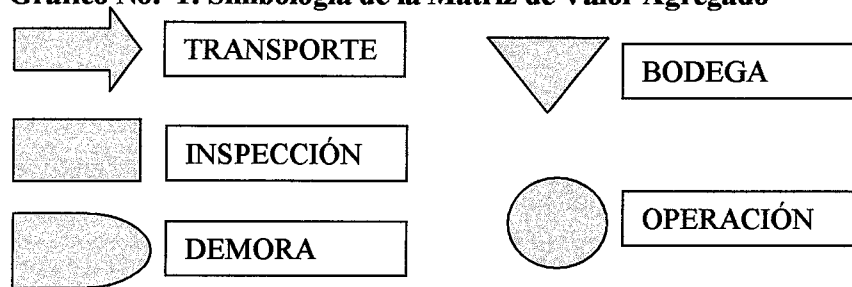
## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Análisis de Procesos

Todos los grupos de interés que conforman una empresa como accionistas, clientes, empleados, etc. buscan satisfacer sus necesidades particulares, para lo cual es imprescindible que el negocio obtenga resultados positivos. La única forma de lograr este objetivo es cuando la empresa pone toda su atención en sus clientes verdaderos y se enfoca en el mercado específico en el cual se encuentran. Una vez que la empresa tiene una dirección, existen tres columnas principales que sostienen la visión de la empresa y la mantienen con vida en el mercado; estas son: Una planeación estratégica fuerte, la administración de recursos, y los procesos. (Cisneros, 2007)

Los procesos son la columna vital de toda empresa puesto que cualquier empresa u organización es tan eficiente como lo son sus procesos. Todas las áreas de una compañía pertenecen a un proceso en particular, por lo tanto, la estructura real de una empresa está definida por una cadena de procesos que viajan alrededor de toda la organización. La manera de entender cómo se relacionan los procesos de una empresa es a través de su diagramación. Después de que se dibujan los procesos, se debe analizar la eficiencia de los mismos. Entonces, se puede hacer uso de una tabla conocida como la matriz de valor agregado para llevar a cabo esta tarea. (Cisneros, 2007)

La matriz de valor agregado toma todas las actividades de un proceso y las clasifica en actividades que agregan valor o actividades que no agregan valor. Para el caso de manufactura, se consideran actividades que no agregan valor a las siguientes: Inspecciones, esperas o demoras, almacenamiento o manejo de bodegas, y actividades de transporte o traslados. Dentro de estas actividades, varias de ellas son necesarias para la operación del proceso; no obstante existen otras actividades que no se las necesita hacer y deberán ser eliminadas. (Cisneros, 2007) En el Gráfico No. 1 se muestra la simbología que se utiliza en la Matriz de valor agregado.

**Gráfico No. 1: Simbología de la Matriz de Valor Agregado**

Fuente: Niebel, Ingeniería Industrial. Elaboración Propia

Una vez que se clasifican las actividades, se procede a calcular los índices de valor agregado que permiten tener una idea más clara de la eficiencia del proceso. Existen dos tipos de índice:  $IVA_{(\#act)}$  y  $IVA_{(t_{act})}$ . El primer índice compara el número de actividades que agregan valor con el número de actividades totales, mientras que el último índice compara el tiempo de las actividades que agregan valor versus el tiempo total del proceso. (Cisneros, 2007) A continuación se muestran las respectivas ecuaciones:

**Ecuación 1:  $IVA_{(\#act)}$** 

$$IVA_{(\#act)} = \frac{\#act(O)}{total\_act} \times 100 \quad (2.1.1)$$

**Ecuación 2:  $IVA_{(t_{act})}$** 

$$IVA_{(t_{act})} = \frac{\sum t_{act}(O)}{tiempo\_total} \times 100 \quad (2.1.2)$$

**2.2 Control de Producción**

La planeación y el control de la producción producen un efecto crítico en el éxito de la operación de los sistemas de producción, y la calidad de estas actividades determinan la posibilidad de controlar la producción real en la fábrica mediante el uso de técnicas de programación (Salvendy, 525). Por otra parte, la planeación y control de la producción consisten en un conjunto de funciones logísticas que soportan el rápido y eficiente procesamiento de las operaciones de producción (Maynard y William, 435).

El procedimiento que se debe seguir para planear y controlar la producción implica cinco tareas básicas que son: Pronosticar, elaborar hojas de rutas, programación, despacho y continuidad. El pronóstico y la elaboración de la hoja de ruta son tareas de planeación que determinan que se va a producir; la programación y el despacho son tareas de control que determinan cuándo se debe producir y la acción de pasar la orden a los talleres; y finalmente la continuidad se la considera como una tarea de vigilancia constante para determinar si el comportamiento del sistema es adecuado (Salvendy, 526).

Por otro lado, otro autor afirma que las decisiones de producción comienzan con la estimación de la demanda, especialmente en fábricas donde se produce antes de tener una orden de producción. Este mismo autor asegura que cuando se toman decisiones sobre la producción con base en pronósticos, implícitamente se toman asimismo decisiones sobre inventarios. En consecuencia, en la planeación y control de la producción es importante tomar en cuenta cómo las decisiones de producción afectan a los niveles y la política de inventario. El siguiente paso en el proceso de planificación es proyectar la utilización de los recursos de la planta de tal forma que se cumpla con los requerimientos de los productos terminados; para tal efecto es necesario realizar una planeación agregada y luego obtener un programa de producción (Elsayed, 4).

A continuación se necesita desagregar el programa maestro de producción con el fin de satisfacer la demanda final, para lo cual se necesita realizar una planeación de requerimientos de materiales (MRP). Finalmente, el resultado final del proceso de planeación de la producción es una descripción del conjunto de trabajos que serán procesados por centros de trabajo específicos durante ciertos periodos de tiempo (Elsayed, 5).

### **2.2.1 Pronósticos**

La planeación de la producción, como se explicó anteriormente, está basada en el pronóstico que se realice de la demanda ya sea de un producto o de un servicio. Por lo tanto, realizar un buen pronóstico es un prerrequisito obligatorio para obtener un control de producción bueno y coherente con la situación real del mercado en el que participa ese negocio (Bedworth, 59). En el caso

empresarial, el pronóstico más relevante es el de las ventas. Este pronóstico es el vínculo entre los movimientos externos e incontrolables de la economía y los asuntos internos y controlables de mundo de los negocios. Por esta razón, la estimación de ventas futuras, requiere de un minucioso análisis de los factores externos (Greene, 128). Además hay que tener siempre presente que un pronóstico siempre va a fallar en cierta medida, sin embargo es mucho mejor tener una estimación inteligente que se base en datos, a planificar con una suposición disparatada (Greene, 129).

Las técnicas de pronóstico se dividen en dos grandes grupos: Cualitativos y Cuantitativos. En el caso de las estimaciones cuantitativas, esta técnica se orienta a obtener pronósticos futuros asumiendo que los datos siguen tendencias históricas (Bedworth, 60). La exactitud de un pronóstico depende por lo tanto exclusivamente de cuatro factores: la precisión de los datos históricos, la estabilidad del proceso de donde se generan los datos, la extensión de periodo de estimación, y el método de pronóstico utilizado. (Elsayed, 7)

Para determinar qué método de pronóstico es el más adecuado para un grupo de datos se recomienda en primer lugar graficar la información en función del tiempo con la finalidad de observar la tendencia que toman los datos (Elsayed, 9). Sin embargo, Bedworth (1987) propone tres criterios para escoger el mejor método que son: Precisión, simplicidad computacional, y flexibilidad para ajustar a la tasa de respuesta. El primer criterio se refiere a qué tan bien la condición pronosticada se ajusta a la condición actual cuando esta ocurre. El segundo criterio hace referencia a la facilidad de obtener el resultado cuando se aplique el modelo en un programa computacional. Finalmente, el tercer criterio es una medida que indica la habilidad del modelo para adaptarse a condiciones diferentes. Estos tres criterios deben ser analizados y equilibrados puesto que mientras se requiere mayor precisión, la complejidad del modelo será mayor, habrá mayor flexibilidad, demandará más tiempo para obtener el modelo, y por ende el costo será mayor; en cambio, si la precisión del modelo disminuye, el modelo será más simple, existirá menos flexibilidad en la tasa de respuesta, se lo conseguirá en menor tiempo y a menor costo (Bedworth, 62).

Bedworth (1987) explica en su libro que no existe una forma definida para escoger el mejor método para realizar el pronóstico; sin embargo, se recomienda primero analizar la situación en la cual la actividad de interés ocurre, luego se colecta datos históricos y se busca variables que estén relacionadas lógicamente ya sea con la causa o el efecto de la actividad en estudio; y finalmente se busca por patrones estacionales y crecimientos en la información histórica mientras se los grafica en función al tiempo. Con este análisis, se proponen algunos modelos de pronósticos y se calculan los parámetros de tales modelos. Para este tipo de análisis, los modelos más utilizados y recomendados son suavizamiento exponencial, regresión, y análisis de auto correlación (Bedworth, 60).

### **2.2.2 Manejo de Inventarios**

Los sistemas de inventario y la correcta verificación de los mismos es una entrada importante para desarrollar un buen sistema de control de la producción en general. (Greene, 188) La información que arroja un sistema de inventario alimenta a la operación de otros sistemas como el de compras, plan de costos y, en especial, el de producción. De esta manera, para desarrollar un adecuado plan de producción es necesario conocer el estado actual de los inventarios, los costos del inventario y la forma en cómo se manejan las políticas de inventarios (Greene, 189).

Es importante conocer qué elementos de una fábrica se los considera como inventario. Por lo tanto, un sistema de inventarios comprende de los siguientes artículos móviles o existencias: Materia Prima, Materiales en proceso, piezas o componentes, suministros, y producto terminado (Green, 189).

La razón para analizar los sistemas de inventarios es que con esta información se puede responder dos preguntas influyentes al momento de controlar y planificar la producción, y estas son: ¿Cuánto se debe ordenar (o producir)? ¿Cuándo debería ser puesta la orden de pedido de tal forma que los costos totales de inventario se minimicen? (Elsayed, 63) Del análisis de estas preguntas se determina que el control de inventarios, desde un punto de vista productivo, cumple con las siguientes funciones:

- Asegurar que la producción no se detiene por falta de materia prima o materiales.
- Cerciorarse que no exista un excedente innecesario de artículos y que se reduzca el tiempo de almacenaje.
- Asegurar que los procesos de obtener y almacenar artículos sean ejecutados de tal manera que se minimice el costo en el manejo de los inventarios en función de los objetivos planteados para la planta de operación (Bedworth, 193).

En conclusión, la cantidad y el tiempo de un pedido determinarán el nivel de inventario y la estabilidad de mantener el inventario en niveles operativos y rentables. En la mayoría de empresas, el dinero invertido en el manejo de inventarios es uno de los más grandes rubros del balance final; por lo tanto es importante conocer cuáles son los tipos de costos que comprende el manejo de inventarios (Bedworth, 195).

Los costos por inventario se pueden clasificar en los tres siguientes: Costos por mantener inventario, costos por faltantes (costo de oportunidad), y costos por reabastecer los inventarios (Elsayed, 64).

*Costos por mantener inventario:* Este costo toma en cuenta el precio del espacio asignado para el inventario, así como el costo de mantener en buen estado tanto la mercadería como el espacio. También se considera el costo de oportunidad que se pierde en el caso de que el dinero invertido en inventario pueda ser puesto a ganar intereses en un banco. Otros costos que se añaden son impuestos, seguros, costos de obsolescencia, y costos por el deterioro físico de los productos (Elsayed, 64).

*Costos por faltantes:* Se incurre en este costo en el momento que una unidad de cualquier producto demandada no existe en el inventario, por lo tanto representa el costo de la pérdida de una venta, de la insatisfacción del cliente, y otros costos administrativos (Elsayed, 64).

*Costos por reabastecer el inventario:* Existen varios costos que incluyen esta categoría como el costo de preparar y poner una orden para reabastecer e inventario, el costo de transportar las órdenes, el costo de inspección cuando se recibe la orden, y otros costos que no varían con el tamaño de la orden (Elsayed, 64).

### **2.2.3 Planificación Agregada**

La planeación de la producción es una tarea que se complica conforme aumenta el crecimiento de la empresa tanto en el tamaño de la fábrica, como en la cantidad y variedad de los productos que se ofrecen. Este fenómeno produce que varios productos hagan uso de los mismos recursos de una compañía como inventario, capacidad, programación, materia prima, etc. En consecuencia, una metodología que asiste al departamento de producción en esta situación es la *planificación agregada*. (Bedworth, 121)

Por lo tanto, el objetivo de la planificación agregada es obtener una buena utilización de los recursos como maquinaria, talento humano y otros recursos para obtener una planificación de producción equitativa y que se ajuste de mejor manera a la realidad de mercado. Es decir, con la palabra agregada se refiere a la que la planeación se la realiza de forma general para toda la planta con el fin de satisfacer la demanda total de todos los productos finales que ofrece la empresa y que comparten recursos limitados. (Bedworth, 121)

Según Gaither, los gerentes de operaciones desarrollan planes de producción agregados para periodos de tiempo intermedios, es decir entre 6 a 8 meses. Estos planes se enfocan más en un conjunto de productos que en productos específicos, y se obtiene como resultado horarios de trabajo tanto para personal como para la maquinaria, planes de aprovisionamiento de materiales, planes de subcontratación, e incluso planes para modificar las instalaciones de la fábrica. (Gaither, 362)

Además, Elsayed afirma que los planes agregados tienen la capacidad de responder a fluctuaciones en la demanda, y al mismo tiempo están diseñados para incurrir en un mínimo de costos promedios de producción. El objetivo de

estos planes es obtener un equilibrio en la medida que sea posible en todos los costos de inventario, faltantes, personal (tiempo extra), etc. En consecuencia, el primer paso para llegar a esta alternativa óptima es desarrollar una función que contenga la mayor cantidad de costos que involucran la producción, la cual deberá ser minimizada tomando en cuenta las restricciones particulares de cada fábrica. La forma de resolver esta función depende si la función es lineal o no lineal; para cada caso existen modelos específicos (Elsayed, 134).

De manera general, la planeación agregada sigue los siguiente cinco pasos: (Gaither, 365)

1. Determinar los pronósticos de ventas de cada producto final en cada periodo y durante el horizonte de planeación escogido.
2. Sumar las estimaciones de cada producto para obtener una sola demanda agregada de toda la fábrica. Si las unidades no son homogéneas, es necesario seleccionar una unidad y hacer las respectivas conversiones.
3. Transformar la demanda agregada de cada periodo en trabajadores, materiales, maquinaria y otros elementos de capacidad de producción requeridos para satisfacer esta demanda.
4. Desarrollar planes alternativos de recursos para proveer la capacidad de producción necesaria que soporte la capacidad acumulada calculada en los pasos anteriores.
5. Seleccionar el mejor plan que satisfaga la demanda agregada y que también cumpla con los objetivos de la organización.

El plan de producción agregado que se selecciona servirá posteriormente para determinar el nivel de fuerza laboral y las horas extras de trabajo requeridas para cumplir con la demanda del periodo de planeación. Sin embargo, la información obtenida hace referencia a la demanda de varios productos, y en la mayoría de casos la producción simultánea de los mismos no es posible. Por lo tanto, es necesario hacer un plan de producción para cada producto que alterne el uso de la fábrica y sus recursos. (Elsayed, 139)



El proceso de obtener un plan de producción para cada producto después de que se llevó a cabo la optimización se lo conoce como *desagregación*. Este paso no es necesario en todos los casos puesto que la variabilidad de la demanda estimada de cada producto determina la conveniencia de desagregar o no el plan de producción agregado. De esta forma, la desagregación es adecuada cuando la demanda estimada tiene un alto grado de precisión; en cambio, la desagregación no es recomendada cuando existe la posibilidad de que la diferencia entre la estimación y la demanda real sea relativamente grande, es decir cuando hay mucha incertidumbre con la estimación calculada anteriormente. (Elsayed, 139)

El producto final de la desagregación es un calendario de producción para cada producto final de acuerdo al periodo de tiempo planeado. Para conseguir este objetivo, es necesario tomar en consideración los costos en que se incurren cada vez que se alistan las máquinas cuando hay un cambio en la producción para la fabricación de otro producto. Un método sencillo para minimizar estos costos cuando se tiene dos productos finales es disminuyendo el número de cambios de producción durante el tiempo de planeación. (Elsayed, 140)

#### **2.2.4 Planificación de Requerimiento de Materiales**

El producto principal de la planeación agregada es el *plan maestro de producción* para cada producto final. No obstante, cada producto final necesita de varios componentes o elementos para su respectiva fabricación, los cuales no están directamente relacionados en el plan maestro de producción; por ejemplo, en este plan no se puede saber directamente la cantidad de cierto componente y cuando debe ser abastecida para cumplir con la demanda de un periodo cualquiera. Por lo tanto, es necesario llevar este plan maestro de producción a un nivel de detalle más profundo de tal manera que se pueda obtener un "*plan maestro*" para cada componente. Entonces, la Planificación de Requerimientos de Materiales es un procedimiento que precisamente ayuda a establecer la cantidad de componentes y el momento que deben ser ordenados para que se cumpla con la demanda del producto final (Bedworth, 161).

Por lo tanto, la Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP) tiene como objetivo final alcanzar una reducción significativa de los niveles de

inventario, aumentar la capacidad de producción, e incrementar las ganancias financieras (Gaither, 478). Gaither afirma también que los Gerentes de Operaciones están adoptando actualmente este sistema MRP puesto que provoca un mejor servicio al cliente, reduce la inversión en inventario, y mejora la eficiencia operativa de la planta. Gerencialmente, el objetivo del MRP es proveer el material o parte correcto, en el momento correcto y en el lugar correcto para cumplir la programación de cada producto (Sheikh, 87).

En el sistema MRP es fundamental distinguir entre demanda independiente y dependiente debido a que estas tienen un impacto significativo en las decisiones que se toman sobre inventario y producción. Solo los productos finales de una fábrica tienen una demanda independiente puesto que ésta se origina de fuentes externas a la planta; en cambio el resto de elementos como materia prima, ensamblajes, componentes, accesorios, etc. tienen una demanda que se deriva de los niveles requeridos de productos finales obtenidos por el plan de producción. En base a esta distinción, un sistema MRP está en la capacidad de utilizar un plan maestro de producción para coordinar la preparación y el abastecimiento de los ensamblajes, materia prima, componentes, etc. de tal forma que se satisfaga los requerimientos de los productos finales. Al mismo tiempo, se minimiza el inventario de producto en progreso (Elsayed, 180).

### **2.3 El Sistema MRP**

Como se menciona en el capítulo anterior, la Planeación de los Requerimientos de Materiales (MRP) es una estrategia de control para sistemas de producción especialmente de partes discretas (Elsayed, 179). Sin embargo, MRP también es definido como un sistema computarizado de planeación de producción y control de inventarios, responsable de la programación de la producción de todos los componentes que están por debajo del producto final, y que tiene la capacidad de recomendar el momento para poner órdenes de trabajo u órdenes de compra (Russell, 378).

Según Sheikh (2001), el MRP en términos técnicos es un modelo de planeación determinístico; esto significa que los resultados en cada etapa están determinados directamente de los valores de la etapa anterior sin considerar

distribuciones de probabilidad para ninguna de las variables. Además, este autor menciona que este modelo de MRP es útil y suficiente para planear las actividades de producción del día a día.

La entrada para un sistema MRP según Gaither (2002) son:

- Master Production Schedule (MPS): Contiene información acerca de la demanda, cantidades y fechas de entrega de los productos finales.
- Bill of Materials (BOM): Contiene una descripción del componente, el BOM, regla para determinar el tamaño del lote y tiempo promedio de producción.
- Estado del Inventario: Contiene las cantidades que existen en planta de cada uno de los productos.

Con estos datos, el sistema MRP realiza la explosión de las necesidades y entrega los siguientes resultados (Gaither, 484):

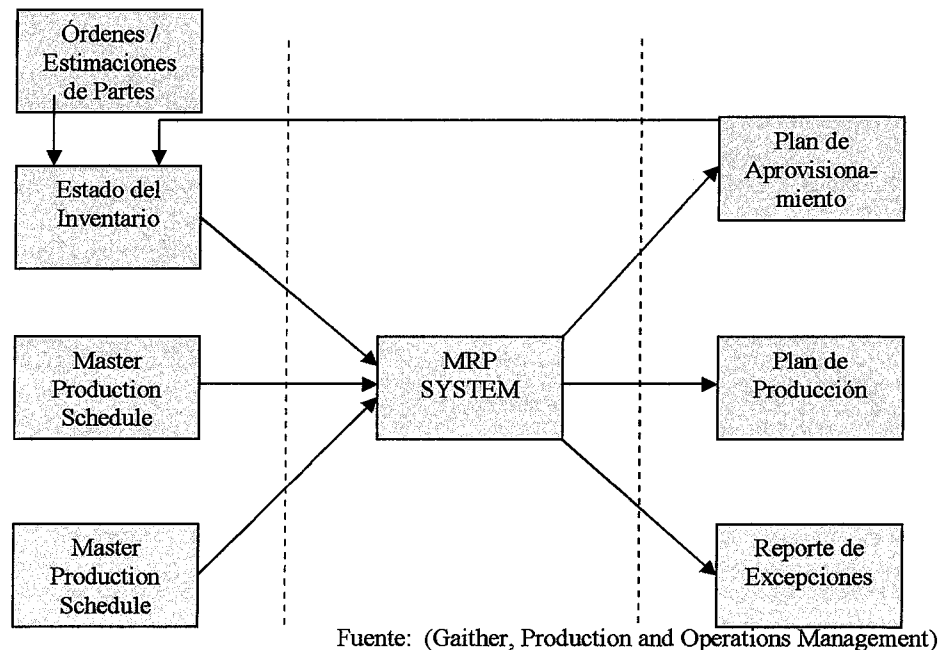
- Plan de Producción de cada una de las partes o componentes que deben ser fabricadas. Especifica también las cantidades y las fechas en que las órdenes de fabricación deben ser puestas.
- Un plan de aprovisionamiento, que detalla las fechas y los tamaños de los pedidos a proveedores. Además, detalla el momento en el que la orden de compra debe ser puesta y el tiempo en el debería llegar la orden.
- Un reporte de excepciones, que indica las órdenes de fabricación que están retrasadas y las posibles consecuencias sobre el plan de producción.

En el Gráfico No. 2 se muestra un esquema del sistema MRP.

A pesar de que los cálculos que se desarrollan en un MRP básico implican operaciones aritméticas simples, obtener un plan detallado de todos los requerimientos de componentes y materia prima puede ser bien complejo en la

mayoría de fábricas, puesto que realizar los cálculos es una actividad que se vuelve repetitiva y tediosa. Por lo tanto, estas actividades se las deja en manos de la computación a través de aplicaciones prácticas. De esta forma, muchas empresas hacen uso de esta herramienta para la creación de planes anuales detallados con miles de partes individuales, y al mismo tiempo tiene la capacidad de adaptarse a cambios imprevistos en periodos razonables de tiempo a través del avance tecnológico y computacional. (Sheikh, 87)

**Gráfico No. 2: Sistema MRP**



Fuente: (Gaither, Production and Operations Management)

### 2.3.1 Entradas al Sistema MRP

Las tres principales entradas al sistema MRP son el Plan Maestro de Producción (MPS), la Lista de Materiales (BOM), y el Estado del Inventario. De estos tres, el primero es el motor principal del sistema MRP, mientras que las otras dos entradas abastecen simplemente información adicional de los productos que se incluyen en la Plan Maestro de Producción (Gaither, 482).

*Plan Maestro de Producción:* Esta entrada es el resultado de la Planeación Agregada que se mencionó en el capítulo anterior. El Plan Maestro de Producción contiene la información de qué productos finales se deben fabricar

durante el tiempo de planeación establecido, cuanto de cada producto y cuando debe ser producido (Sheikh, 77). Cualquier MPS comienza un plan de prueba hasta probar su factibilidad a través de los sistemas MRP y CRP (Planeación de Requerimientos de Capacidad); una vez que se prueba su viabilidad, estos planes se ponen en acción (Gaither, 482).

El MRP asume que el Plan Maestro de Producción puede ser producido con las restricciones de capacidad de la fábrica, y es por esta razón que el MPS necesita ser probado a través de otro sistema como el CRP. La función del MRP es “hacer una explosión” de los requerimientos de materiales para cada producto que forma parte del MPS. En el caso de que estos requerimientos no puedan ser satisfechos por los materiales disponibles en el inventario o a través de poner órdenes de pedidos por falta de tiempo, entonces el MPS necesita ser modificado hasta cumplir con las restricciones propias de cada fábrica (Gaither, 482).

*Lista de Materiales (BOM):* Esta entrada contiene como su nombre lo dice un listado de todos los materiales y sus respectivas cantidades que son requeridas para producir una unidad de un producto; por lo tanto, cada producto del MPS tendrá una Lista de Materiales propia para el periodo de tiempo establecido (Gaither, 482). Según Bedworth, la Lista de Materiales no es sólo una simple lista donde se detalla las cantidades de materiales de un producto final, sino más bien es proceso de descomposición de un producto, el cual se lo puede ver como a un árbol donde el tronco viene a ser el producto final. Posteriormente viene el primer nivel de ramas que representa los ensamblajes mayores; el segundo nivel de ramas son los ensamblajes secundarios; y de esta forma se continua descomponiendo hasta llegar al último nivel que representan las partes compradas o materia prima (Elsayed, 166).

El BOM es una archivo que ingresa en el sistema computacional del MRP, el cual incluye elementos como el número de partes requeridas para hacer cada producto individual, el número de productos demandados, las unidades de medida, conversiones de ingeniería, fechas de efectividad y expiración, entre otra información (Sheikh, 116). Parte de los beneficios de manejar este archivo

electrónico es la facilidad que la que se puede actualizar la información cuando un producto es cambiado o rediseñado (Gaither, 483).

*Estado del Inventario:* Esta entrada es parte de un sistema que se lo utiliza para mantener actualizado el nivel de inventario de cada material que es incluido en la Lista de Materiales. Por lo tanto, el ajuste de esta entrada se la debe realizar diariamente o en base a tiempos reales con el fin de cometer la menor cantidad de errores cuando se planifica, tanto el manejo de inventarios como la producción de la fábrica (Elsayed, 168).

El documento del Estado del Inventario es un archivo computarizado que contiene un registro completo de cada material que se mantiene en inventario. Cada material, sin importar en el nivel que se encuentre, tiene un solo registro, el cual incluye el código del nivel inferior, el inventario en mano, los materiales que han sido ordenados, y los órdenes del cliente para ese material. Estos registros se mantienen actualizados mediante ciertas transacciones operativas como el ingreso de recibos de compras, el envío de órdenes, desembolsos, material desechado, etc. (Gaither, 483)

### **2.3.2 Salidas del Sistema MRP**

De acuerdo Bedworth (1987), las salidas del sistema MRP se resumen en la obtención de planes maestros para la fabricación, compas, despachos, transporte, y abastecimiento. (Bedworth, 168) Según Gaither (2002), La salida principal del sistema MRP es el plan de materiales que define la cantidad de cada material necesario para cumplir con el MPS y que servirá de guía durante el tiempo de planeación. Este plan tiene dos salidas principales que son el calendario de órdenes planificadas, y un reporte de cambios en etas mismas órdenes. (Gaither, 484)

El calendario de órdenes planificadas contiene la cantidad de cada material que será ordenada en cada periodo de tiempo dentro del horizonte de planeación. Este calendario es por lo tanto utilizado por el departamento de compras para hacer los pedidos a los proveedores, y también por el departamento de producción para iniciar la fabricación de partes o ensamblajes. Por otro lado, el

reporte de cambios indica las modificaciones de órdenes previas ya que es común en cualquier empresa que se cambien, se cancelen, se restrasen las órdenes que fueron anteriormente planeadas (Gaither, 484).

### **2.3.3 Implementación de un Sistema MRP**

Existen en el mercado empresarial varios programas MRP que proveen los resultados de un sistema MRP descritos anteriormente. La mayoría de estos softwares cumplen con las dos funciones principales de un MRP que son la planeación de requerimientos tanto de materiales como de otros elementos propios de la fábrica. (Elsayed, 203)

A pesar de la simplicidad del sistema MRP, este programa contiene un gran potencial para aportar con grandes contribuciones en el mejoramiento de la productividad, que incluso permite a pequeñas empresas competir en mercados internacionales. Esto conllevó a los autores Barber y Hollier (1986) a realizar una investigación que ayude a entender el gran impacto que pueden causar estos sistemas de control de producción computarizados. Sin embargo, se pudieron dar cuenta que muchas empresas pequeñas por el afán de corregir muchos años de desorden, se apresuran a introducir sistemas MRP con la expectativa de que instantáneamente se solucionen los problemas. Estas decisiones han desencadenado que los gerentes pasen de alto uno de los aspectos más importantes de cualquier sistema MRP, que es su implementación. (Petroni, 329)

De acuerdo a Petroni (2002), los sistemas MRP deben ser implementados en su totalidad y con todas las funciones que éste posee. La instalación de ciertas partes del programa provocan que la adquisición del sistema MRP no sea exitosa puesto que el sistema no podrá aportar completamente a conseguir las mejoras propias de cualquier MRP. Con este tipo de casos lo que sucede normalmente es que el sistema MRP se convierte como una "Isla" dentro de la operación de la empresa, y deja de ser un habilitante para mejorar la planificación y control de la producción. Por lo tanto, existen factores críticos en la implementación de un sistema MRP que no pueden ser desatendidos para conseguir resultados satisfactorios. Algunos de los factores más importantes son: Experiencia y

conocimiento dentro de la empresa acerca del sistema MRP, cantidad de entrenamiento del personal involucrado, liderazgo durante el proyecto, resistencia del personal al cambio, capacidad tecnológica disponible, entre otras. (Petroni, 331)

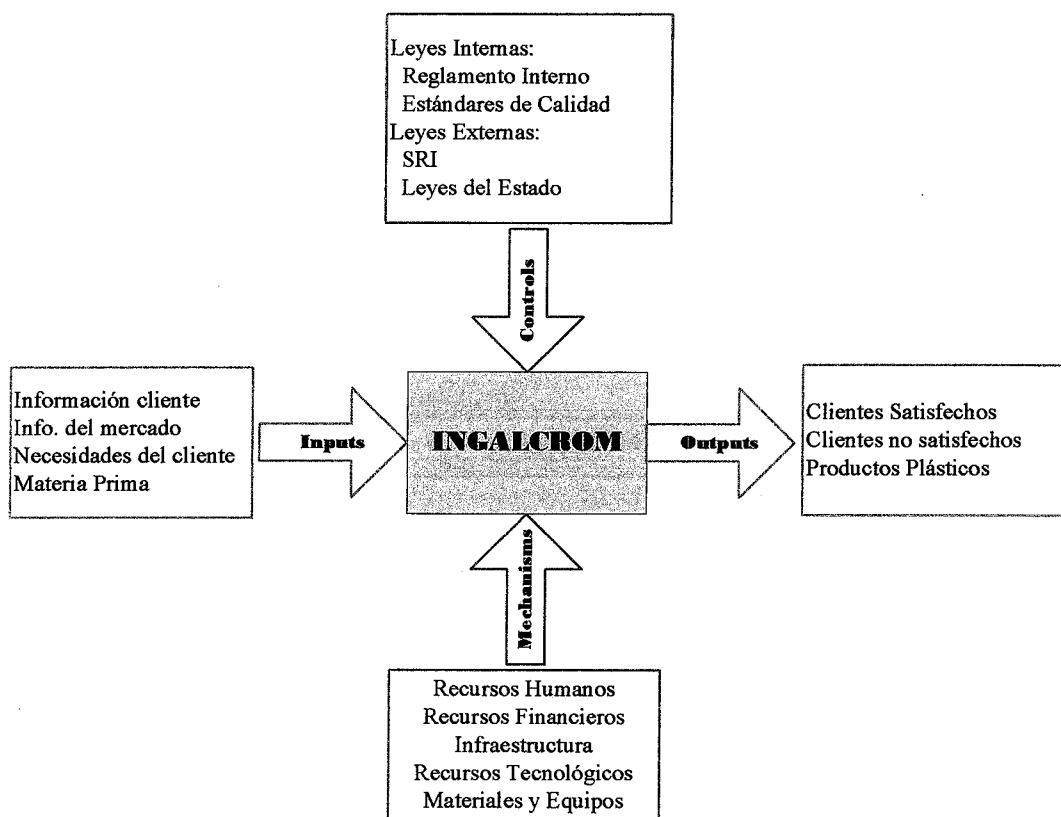
El Licenciado Diego Ferrero, en su artículo “¿Por qué fallan las implementaciones?” menciona que proyectos como la implementación de un sistema MRP fracasan por tres razones principales: Falta de compromiso de la dirección, falta de capacitación, y falta de visión en lo que se quiere. Por lo tanto, este autor hace énfasis en que es mejor no realizar ninguna implementación en el caso de que alguna de estas tres razones no ha podido ser superada.



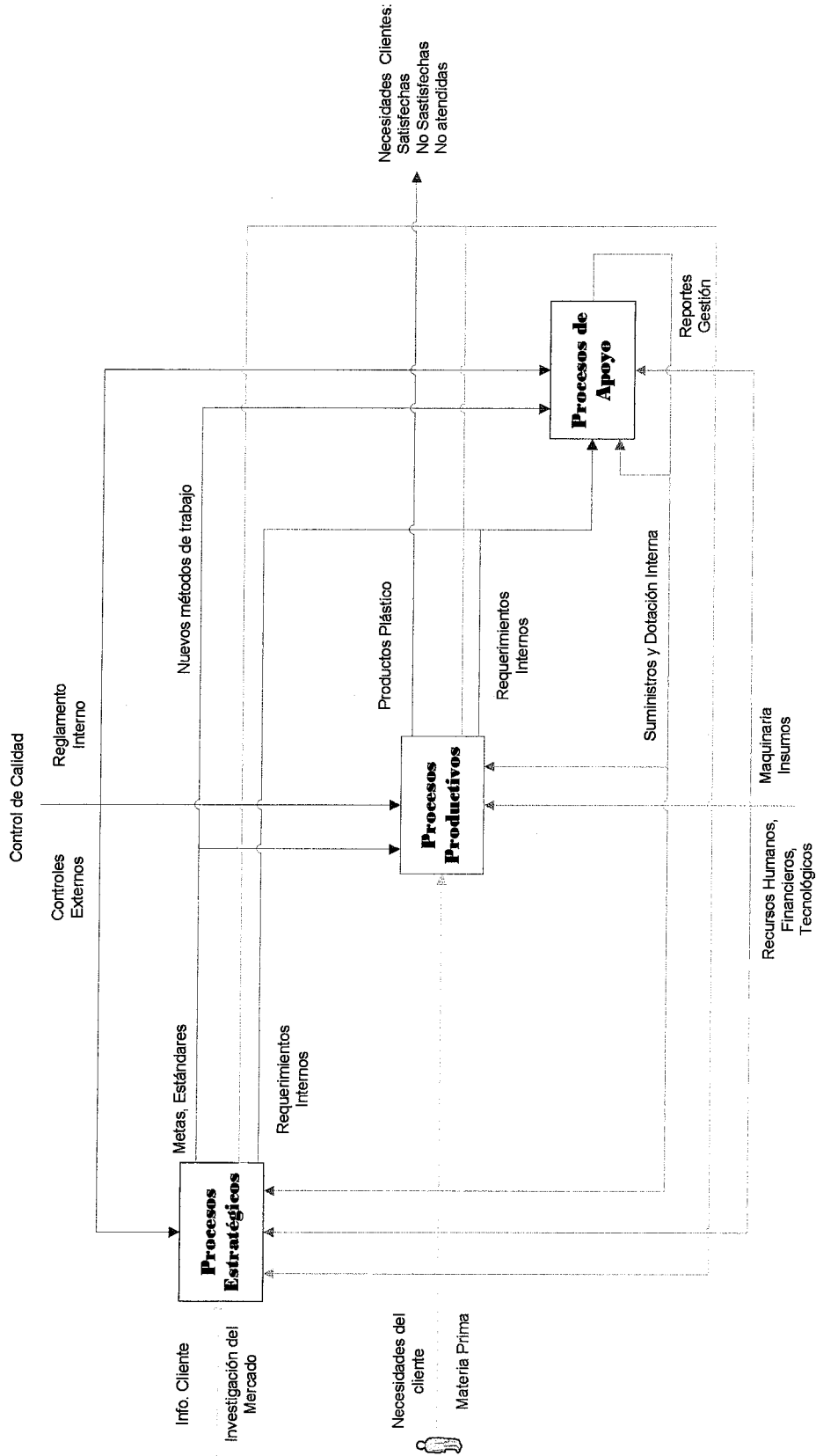
### 3. ANÁLISIS DE PROCESOS

Para empezar con el análisis de la planeación y control de la producción de la Empresa INGALCROM es importante tener una idea general del funcionamiento de toda la empresa. Para tal efecto, en el **Gráfico No. 3** se presenta las entradas, salidas, controles y mecanismos principales de esta empresa; y además se muestra en el Gráfico No. 4 la relación que existe entre los procesos estratégicos, productivos y de apoyo.

**Gráfico No. 3: ICOMs INGALCROM Nivel 0**



**Gráfico No. 4: ICOMs INGALCROM Nivel 1**



### 3.1 Levantamiento del Proceso Actual

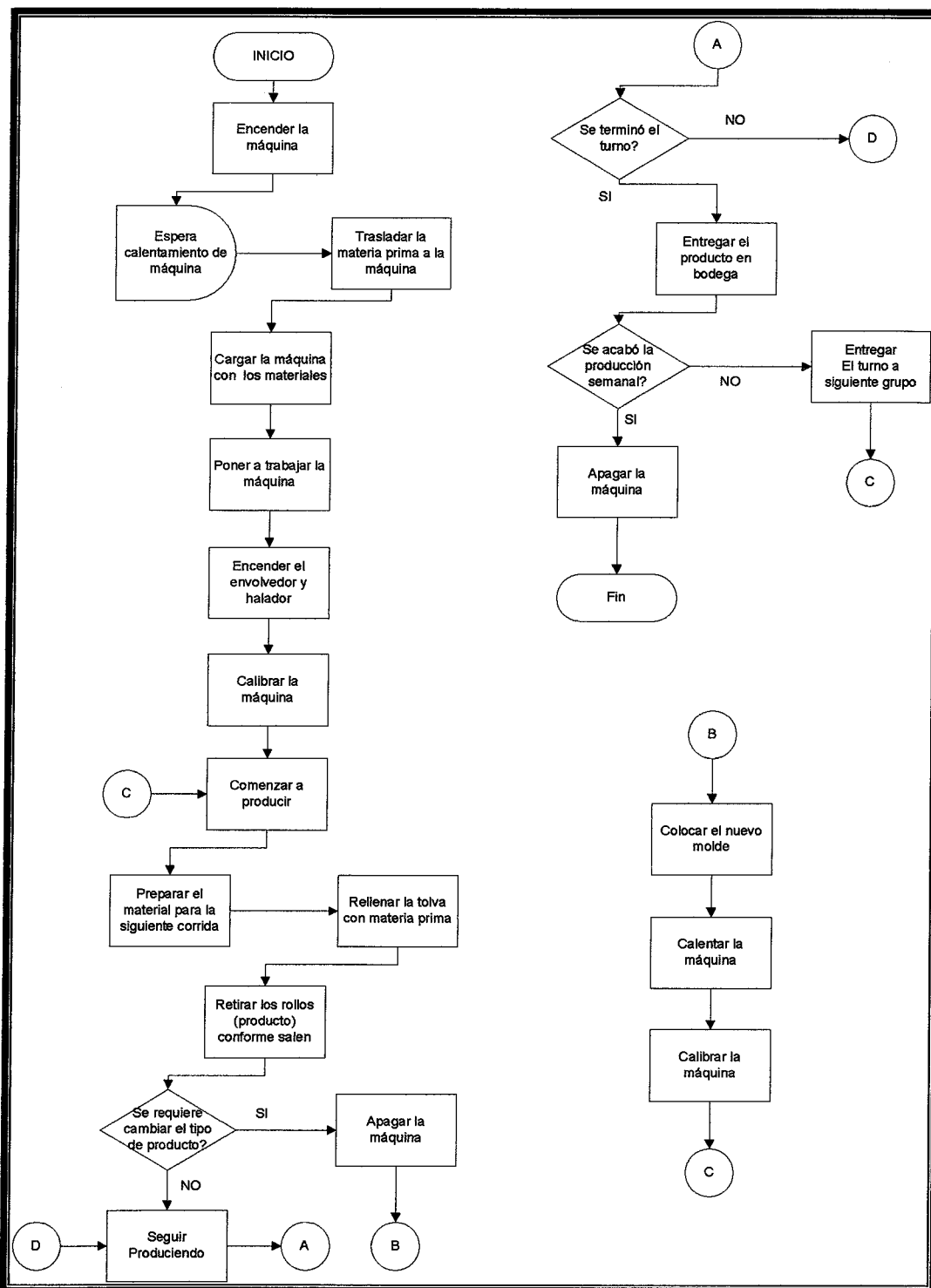
El presente proyecto tiene como objetivo mejorar la planificación y el control de producción de los tres principales productos en la empresa INGALCROM. Por esta razón, se empezará con el análisis del proceso de producción de estos tres productos que son los zunchos, los empaques de PVC y las cintas de polietileno. Las actividades para obtener la producción es el mismo para los tres tipos de plásticos, lo único que varía es la tipo de máquina y la materia prima que se utiliza en cada producto. (Comunicación Directa con Gerente de INGALCROM) En el Gráfico No. 5 se muestra el respectivo diagrama de flujo del proceso de producción.

Este proceso se lleva a cabo en la planta de producción de INGALCROM de lunes a sábado, tanto de día como de noche, por lo que la producción no se detiene durante toda la semana. El diagrama de flujo de este proceso muestra todas las actividades que se realizan diariamente; sin embargo existen actividades que se ejecutan una vez por semana, actividades que se ejecutan en paralelo a la producción, y otras actividades que tienen mayor influencia en la eficiencia de la producción. A continuación se detalla estas actividades:

Las dos primeras actividades del flujograma (Encender la máquina y esperar que se caliente) se las realiza una sola vez el lunes en el primer turno de la mañana. De igual forma, la entrega de producto terminado en la bodega solo ocurre cuando existe un cambio de turno ya sea el de la mañana o el de la noche. (Gustavo Martinez, Supervisor de Producción)

Otra característica importante del proceso es que la fabricación como tal de los productos plásticos es una actividad que se la lleva a cabo automáticamente a través de las máquinas. Una vez que se da comienzo a la producción, esta no para hasta el final de la semana o cuando es necesario hacer un cambio en el tipo de producto. Por lo tanto, ciertas actividades como trasladar las materias primas, colocar los materiales en la tolva, envolver el producto, y cambiar el molde se las realiza al mismo tiempo que las máquinas están produciendo, y en consecuencia no afectan significativamente mucho al ritmo de producción.

**Gráfico No. 5: Diagrama de Flujo del Proceso de Producción de Plásticos**



Fuente: INGALCROM, Elaboración Propia

Las únicas actividades que dependen del trabajador y que influyen directamente en la eficiencia de producción son la calibración de la máquinas y los cambios de en las especificaciones del producto. Durante estas dos actividades existe desperdicio tanto de material como en el tiempo de producción (Comunicación directa con Gustavo Martinez, Supervisor de Producción)

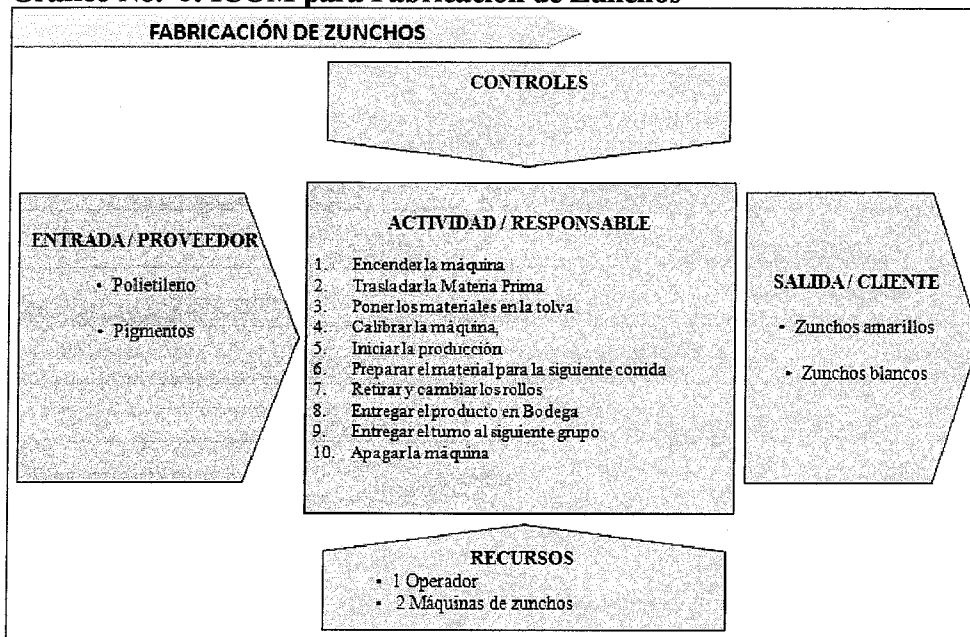
Además, es importante mencionar que en la actividad “Envolver el Material”, ésta se la realiza manualmente sólo cuando se trata del producto de empaques de PVC; para los dos productos restantes la máquina respectiva se encarga de envolver el producto automáticamente. Otra diferencia en la producción del empaque de PVC se trata del material que se coloca en la tolva. En el caso del zuncho y de la cinta de polietileno, la materia prima que se coloca viene directamente desde un proveedor. En cambio, en el caso del empaque de PVC, el material que se coloca en la tolva es procesado con anterioridad en la misma fábrica. La materia prima de este producto ingresa en una mezcladora para formar el compuesto del PVC y posteriormente ingresa en la máquina que forma el producto final.

La producción de cintas de polietileno contiene una estación de trabajo más que no está considerada en el proceso descrito anteriormente. La máquina de polietileno fabrica rollos grandes que tiene de 50 cm a 80 cm de ancho y que pesan de 50 a 60 kilos. Sin embargo, estos rollos pasan por una máquina estrusora para hacer rollos más pequeños o cintas, las cuales se empacan en cajas de 40 unidades cada una. (Gustavo Martinez, Supervisor de Producción)

Cada tipo de producto tiene sus propias entradas, salidas, controles y mecanismos. A continuación se muestra estas diferencias mediante la representación gráfica de cada proceso:

**Zunchos**

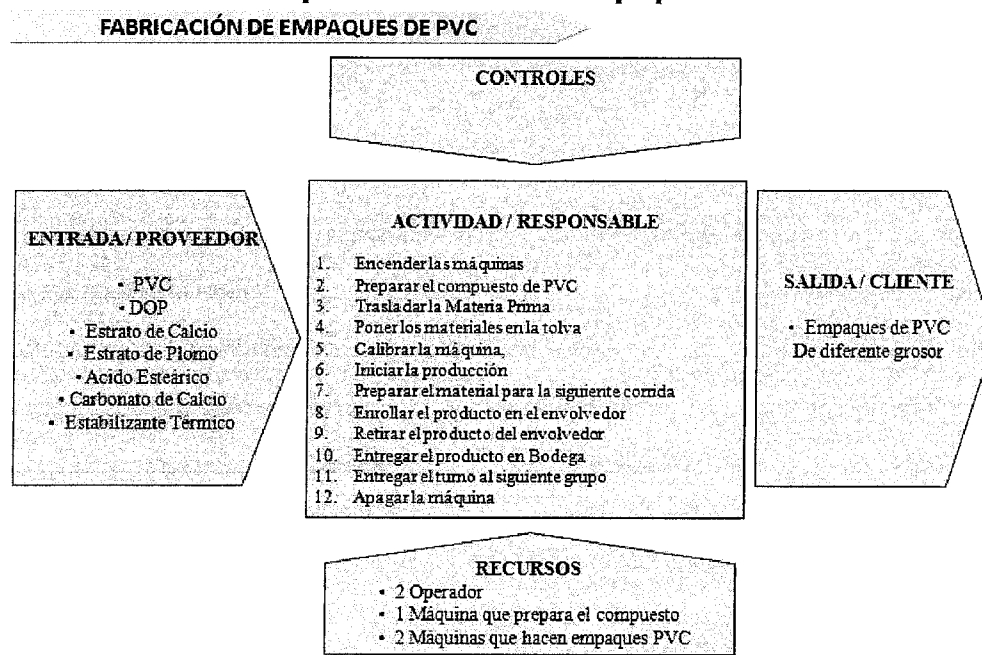
**Gráfico No. 6: ICOM para Fabricación de Zunchos**



Fuente: INGALCROM, Elaboración Propia

**Empaques de PVC**

**Gráfico No. 7: ICOM para Fabricación de Empaques de PVC**



Fuente: INGALCROM, Elaboración Propia

## Cintas de Polietileno

**Gráfico No. 8: ICOM para Fabricación de Cintas de Polietileno**



Fuente: INGALCROM, Elaboración Propia

Con respecto al proceso de planificación de la producción, esta empresa no cuenta con un proceso definido o establecido. La forma de planificar su producción se basa netamente en los pedidos de los clientes. Cada pedido tiene una fecha de entrega específica, entonces la producción se programa de acuerdo al pedido que más temprano haya que entregar. En consecuencia esta política ha desembocado en muchos paros de producción para cambiar los parámetros de las máquinas, muchos incumplimientos con los clientes, y también en altos niveles de inventario. (Comunicación directa con Edwin Vejar, Gerente INGALCROM)

### **3.2 Matriz de Valor Agregado**

El objetivo de analizar el proceso de producción de plásticos es observar si existen oportunidades de mejorar u optimizar dicho proceso, puesto que no serviría de mucho mejorar la planificación y el control de la producción si antes no se ha verificado que la producción se la está realizando de una manera eficiente. La planeación depende de la capacidad de la producción de la planta,

por lo tanto es necesario verificar que la operación de la planta esté trabajando en condiciones normales y óptimas, y de esta forma obtener una planificación más real y significativa. (Gaither, 362)

A pesar de que el proceso de producción para los tres tipos de productos es prácticamente el mismo, el análisis del proceso se lo va a realizar por separado puesto que los tiempos de cada actividad varían para cada producto. Para este propósito se va a utilizar la Matriz de Valor Agregado, de acuerdo a lo descrito en la sección 2.1, y se va a calcular los índices respectivos.

**Proceso Producción Zunchos:**

A continuación en la Tabla No. 1 se muestra la matriz de valor agregado para el proceso de producción de los zunchos. Cabe señalar que en el respectivo análisis no se toma en cuenta el tiempo de calentamiento de la máquina, puesto que ésta se la realiza sólo una vez por semana. El tiempo de calentamiento de la máquina para la producción de zunchos es de 3 horas.

**Tabla No. 1: Matriz de Valor Agregado. Proceso: Producción de Zunchos**

#	Actividad	Operación	Inspección	Demora	Bodega	Transporte	t (min)
		●	■	◐	▼	➔	
1	Encender la máquina	●					0,5
2	Esperar el calentamiento de la máquina			◐			
3	Trasladar la materia prima					➔	2,5
4	Cargar la máquina con los materiales	●					1
5	Poner a trabajar la máquina	●					0,5
6	Encender el envolvedor y halador	●					0,5
7	Calibrar la máquina		■				2
8	Comenzar a producir	●					18
9	Preparar el material para la siguiente corrida					➔	2,5
10	Rellenar la tolva con materia prima	●					1
11	Envolver el producto (empaqué PVC)	●					0
12	Retirar los rollos y cambiar el molde	●					1
13	Apagar la máquina para cambiar tipo prod.			◐			3

**Cálculo de Indicadores**

$$IVA(\#act) = \frac{\#act(O)}{total\_act} \times 100$$

$$IVA(\#act) = \frac{8}{13} \times 100 = 61.5\%$$



$$IVA(t_{act}) = \frac{\sum t_{act}(O)}{tiempo_{total}} \times 100$$

$$IVA(t_{act}) = \frac{22,5}{32,5} \times 100 = 69,23\%$$

### Proceso Producción Empaques de PVC:

Para la producción de empaques de PVC tampoco se toma en cuenta el tiempo de calentamiento de máquina porque esta actividad se realiza una vez por semana. En la Tabla No. 2 se muestra la matriz de valor agregado para este proceso.

**Tabla No. 2: Matriz de Valor Agregado. Proceso: Producción Empaques PVC**

#	Actividad	Operación	Inspección	Demora	Bodega	Transporte	t (min)
		●	■	◐	▼	➔	
1	Encender la máquina	●					0,5
2	Esperar el calentamiento de la máquina			◐			
3	Trasladar la materia prima					➔	1,5
4	Cargar la máquina con los materiales	●					1
5	Poner a trabajar la máquina	●					1
6	Encender el envolvedor y halador	●					0
7	Calibrar la máquina		■				3
8	Comenzar a producir	●					25
9	Preparar el material para la siguiente corrida					➔	1
10	Rellenar la tolva con materia prima	●					1
11	Envolver el producto (empaque PVC)	●					2
12	Retirar los rollos y cambiar el molde	●					1
13	Apagar la máquina para cambiar tipo prod.			◐			4

### **Cálculo de Indicadores**

$$IVA(\#act) = \frac{\#act(O)}{total_{act}} \times 100$$

$$IVA(\#act) = \frac{8}{13} \times 100 = 61,5\%$$

$$IVA(t_{act}) = \frac{\sum t_{act}(O)}{tiempo_{total}} \times 100$$

$$IVA(t_{act}) = \frac{31,5}{41} \times 100 = 76,83\%$$

### 3.3 Resultados del Análisis de Procesos

Los análisis de valor agregado que se llevaron cabo muestran que el proceso de producción de plásticos tiene un alto nivel de eficiencia debido a que los indicadores calculados superan el 60%. Si se toma en cuenta que la mayor parte de este proceso opera de forma automática, como se explicó en la sección 3.1, entonces se puede concluir que el resultado obtenido está relacionado con este hecho. La producción como tal de los productos se la realiza por sí sola en las máquinas respectivas, y esta actividad es la que toma mayor tiempo en todo el proceso, por lo tanto la eficiencia del proceso depende más de la velocidad de las máquinas que del trabajo manual de los operarios. Además, el resto de actividades se las realiza en paralelo mientras el producto está siendo fabricado, por lo que la producción por lo regular casi no se detiene por otras actividades. Inclusive, los operarios tienen tiempo libre para realizar actividades de inspección de calidad del producto mientras se está produciendo.

Como se puede observar, las máquinas son las que marcan el ritmo de producción, por lo tanto si se quisiera optimizar o mejorar sustancialmente el tiempo de producción, habrá que hacer un trabajo exclusivamente mecánico para mejorar la eficiencia de las máquinas. Sin embargo hay dos actividades que si se podrían mejorar y que no dependen de la capacidad de las máquinas; estas son la calibración y la suspensión de la máquina para cambiar de producto, como se explicó en la sección 3.1.

El tiempo de calibración se sugiere que se lo reduzca a través de un diseño de experimentos, que ayude a determinar los parámetros necesarios para obtener las especificaciones de calidad del producto desde que se inicia la máquina, y no al tanteo como se lo realiza actualmente; no obstante esto no es objetivo de esta tesis. Por otro lado, como resultado de una mejor planificación en la producción, se ayudará a rebajar el número de veces que se deba suspender las máquinas para cambiar el producto o las características del mismo.

#### 4. PLANIFICACIÓN AGREGADA

##### 4.1 Pronóstico de la Demanda

El primer paso para llevar a cabo la planificación agregada es hacer un pronóstico de la demanda de los tres productos que se están analizando. Estas estimaciones se las realizará en base a las ventas que se obtuvieron desde enero del 2008 hasta julio del 2009. En la Tabla No. 3 se muestra las ventas respectivas para cada producto y durante el periodo antes mencionado.

**Tabla No. 3: Ventas Mensuales de los productos de INGALCROM**

Mes	Cantidad		
	Zunchos (Kg)	Empaques PVC (Kg)	Rollos de Polietileno (U)
ene-08	25942,00	20544,30	4983,00
feb-08	20849,00	18091,38	1639,00
mar-08	15098,00	20001,04	3910,00
abr-08	21606,00	18374,72	4370,00
may-08	15014,00	15052,02	4651,00
jun-08	15080,00	30045,02	5735,00
jul-08	25313,00	20775,13	5290,00
ago-08	22330,00	12074,91	7475,00
sep-08	18627,00	23833,73	7418,00
oct-08	23630,00	14916,14	4498,00
nov-08	22200,00	20288,71	7163,00
dic-08	17780,00	16231,11	6670,00
ene-09	26363,00	19291,95	8370,00
feb-09	27048,00	9819,46	7790,00
mar-09	37495,00	20627,00	8690,00
abr-09	22053,00	9650,35	2660,00
may-09	13145,00	13519,01	3670,00
jun-09	12250,00	22107,00	8160,00
jul-09	11205,00	15329,74	7440,00

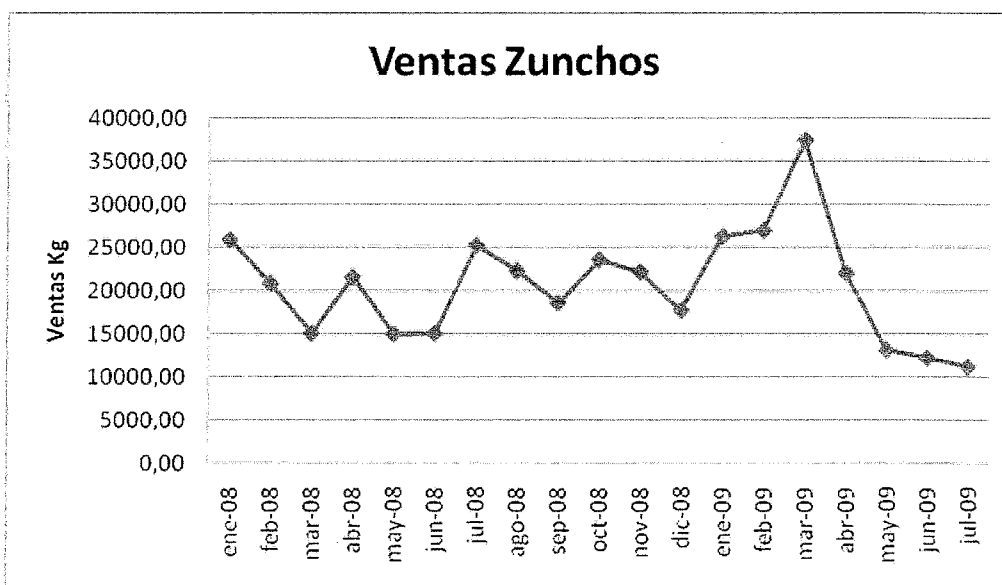
Para determinar el método de pronóstico más adecuado es necesario en primer lugar observar una gráfica de las ventas con respecto al tiempo, para luego hacer el análisis respectivo y finalmente escoger el método que mejor se ajuste a los requerimientos establecidos. A continuación se va a realizar este proceso para cada producto por separado.

#### 4.1.1 Pronóstico de la Demanda de Zunchos

Los zunchos es un producto que se vende por rollos; sin embargo, en la planta de producción de INGALCROM, este producto es manejado por kilogramos. Por ejemplo, cuando se realiza la entrega de un turno, el operario no reporta la cantidad de rollos que produjo, sino la cantidad en kg que se produjo. Por esta razón, la cantidad vendida en cada mes también se la calcula en kg. En el

**Gráfico No. 9** se muestra las ventas de este producto vs el tiempo predefinido.

**Gráfico No. 9: Ventas de Zunchos.**



En esta gráfica se puede observar que las ventas de los zunchos durante el periodo de enero 2008 a julio 2009 no sigue un patrón específico. Desde enero 2008 hasta febrero 2009 la cantidad de la venta fluctúa aleatoriamente entre 15000 hasta 26000 kg. En el mes de marzo de 2009 se alcanza la venta máxima que supera los 35000 kg, y en seguida se produce una caída significativa hasta el último mes, donde la venta alcanza un valor aproximado de 11000 kg.

Para este tipo de caso, en el cual los datos no tienen una tendencia ni estacionalidad significativa, los métodos que se podrían utilizar son el “promedio móvil” y el “suavizamiento exponencial simple”. (Elsayed, 33)

**Promedio Móvil:**

Este método de pronóstico asume que los datos generados son constantes, es decir, se mantienen con un valor igual conforme avanza el tiempo; pero al mismo tiempo, contiene un ruido aleatorio en la información obtenida. Con estas características, la mejor manera de estimar dichos pronósticos es a través del cálculo del promedio de las observaciones pasadas. (Elsayed, 26)

Un promedio general de todos los datos implicaría que el proceso analizado no cambia durante el periodo establecido. Sin embargo, esta suposición es muy irreal puesto que por naturaleza los procesos varían conforme pasa el tiempo; por lo tanto, este modelo puede ser ajustado cuando se calcula el pronóstico considerando solamente las observaciones más recientes. (Elsayed, 27) La cantidad de datos que se van a utilizar para realizar el promedio ( $n$ ) se seleccionan en base a una experimentación, es decir, a través de intentar con varios valores hasta encontrar el que mejor funcione para el caso. (Sheikh, 296)

En la Tabla No. 4 se muestra el cálculo de los pronósticos con el método "Promedio Móvil" para valores de  $n$  igual a 2, 3 y 4. Además, en el Anexo No. 1 se compara varios casos con más valores de  $n$ , y su respectiva medida de error.

Según los resultados obtenidos, el promedio móvil de 2 observaciones es el que tiene menor error de las tres opciones analizadas. Además, se puede observar que en los últimos periodos la suma de error cuadrático se incrementa notablemente debido a que en esos periodos hay cambios radicales, lo cual no es conveniente para este método de pronóstico. El resultado obtenido de esta tabla se lo comparará con los resultados del siguiente método que se va a analizar.

**Tabla No. 4: Pronósticos de ventas de Zunchos - Promedio Móvil**

Año	Mes	Ventas	MA (2)	SSE	MA (3)	SSE	MA (4)	SSE
2008	1	25.942,00						
	2	20.849,00						
	3	15.098,00	23.395,50	6,88E+07				
	4	21.606,00	17.973,50	1,32E+07	20.629,67	9,53E+05		
	5	15.014,00	18.352,00	1,11E+07	19.184,33	1,74E+07	20.873,75	3,43E+07
	6	15.080,00	18.310,00	1,04E+07	17.239,33	4,66E+06	18.141,75	9,37E+06
	7	25.313,00	15.047,00	1,05E+08	17.233,33	6,53E+07	16.699,50	7,42E+07
	8	22.330,00	20.196,50	4,55E+06	18.469,00	1,49E+07	19.253,25	9,47E+06
	9	18.627,00	23.821,50	2,70E+07	20.907,67	5,20E+06	19.434,25	6,52E+05
	10	23.630,00	20.478,50	9,93E+06	22.090,00	2,37E+06	20.337,50	1,08E+07
	11	22.200,00	21.128,50	1,15E+06	21.529,00	4,50E+05	22.475,00	7,56E+04
	12	17.780,00	22.915,00	2,64E+07	21.485,67	1,37E+07	21.696,75	1,53E+07
2009	13	26.363,00	19.990,00	4,06E+07	21.203,33	2,66E+07	20.559,25	3,37E+07
	14	27.048,00	22.071,50	2,48E+07	22.114,33	2,43E+07	22.493,25	2,07E+07
	15	37.495,00	26.705,50	1,16E+08	23.730,33	1,89E+08	23.347,75	2,00E+08
	16	22.053,00	32.271,50	1,04E+08	30.302,00	6,80E+07	27.171,50	2,62E+07
	17	13.145,00	29.774,00	2,77E+08	28.865,33	2,47E+08	28.239,75	2,28E+08
	18	12.250,00	17.599,00	2,86E+07	24.231,00	1,44E+08	24.935,25	1,61E+08
	19	11.205,00	12.697,50	2,23E+06	15.816,00	2,13E+07	21.235,75	1,01E+08
Suma				8,72E+08		8,45E+08		9,24E+08
MSE				5,13E+07		5,28E+07		6,16E+07

**Suavizamiento Exponencial Simple:**

El método de suavizamiento exponencial simple es útil cuando los datos no siguen una tendencia o algún patrón predefinido, y las observaciones varían dentro de un mismo rango. Este método está basado en la técnica del promedio móvil, pero la diferencia radica en que el pronóstico para cualquier periodo contiene información de todas las observaciones pasadas. Esto se debe a que el método en cuestión no solo considera a la demanda actual de los últimos periodos, sino que también incluye al último pronóstico exponencial. (Sheikh, 297)

Además, en este método se añade un factor que controla la característica lisa o suave del modelo; este factor se lo representa con el siguiente símbolo:  $\alpha$  (factor de suavizamiento). El valor alfa puede tomar valores entre 0 y 1, y el propósito de este factor es poder establecer un mayor énfasis en la información reciente cuando se calcule el pronóstico. (Elsayed, 33)

La formula básica para el primer pronóstico exponencial es la siguiente: (Sheikh, 297)

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)F_t$$

Donde,

$F_{t+1}$  = Pronóstico exponencial para periodo  $(t + 1)$

$\alpha$  = Factor de suavizamiento

$A_t$  = Demanda Actual periodo  $t$

$F_t$  = Pronóstico exponencial para periodo  $(t)$

El valor adecuado de  $\alpha$  se lo determina usualmente a través de la técnica de prueba y error; sin embargo, los valores de  $\alpha$  por lo general caen dentro del rango entre 0,01 a 0,3. El método más común es intentar con varios valores de  $\alpha$ , calcular los pronósticos, compararlos con la información histórica obtenida, y escoger el valor de  $\alpha$  que minimize el promedio del error. (Sheikh, 298)

En la Tabla No. 5 se muestra el desarrollo del método descrito anteriormente para escoger el mejor valor de  $\alpha$ :

**Tabla No. 5: Pronóstico Ventas Zunchos – Suavizamiento Exponencial Simple**

Año	Mes	Ventas	SE ( $\alpha=0,01$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,05$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,1$ )	SSE
2008	1	25.942,00	20.685,68	2,76E+07	20685,68	2,76E+07	20685,68	2,76E+07
	2	20.849,00	20.738,25	1,23E+04	20948,50	9,90E+03	21211,32	1,31E+05
	3	15.098,00	20.739,35	3,18E+07	20943,53	3,42E+07	21175,08	3,69E+07
	4	21.606,00	20.682,94	8,52E+05	20.651,25	9,12E+05	20.567,38	1,08E+06
	5	15.014,00	20.692,17	3,22E+07	20.698,99	3,23E+07	20.671,24	3,20E+07
	6	15.080,00	20.635,39	3,09E+07	20.414,74	2,85E+07	20.105,51	2,53E+07
	7	25.313,00	20.579,84	2,24E+07	20.148,00	2,67E+07	19.602,96	3,26E+07
	8	22.330,00	20.627,17	2,90E+06	20.406,25	3,70E+06	20.173,97	4,65E+06
	9	18.627,00	20.644,20	4,07E+06	20.502,44	3,52E+06	20.389,57	3,11E+06
	10	23.630,00	20.624,02	9,04E+06	20.408,67	1,04E+07	20.213,31	1,17E+07
	11	22.200,00	20.654,08	2,39E+06	20.569,73	2,66E+06	20.554,98	2,71E+06
	12	17.780,00	20.669,54	8,35E+06	20.651,25	8,24E+06	20.719,48	8,64E+06
2009	13	26.363,00	20.640,65	3,27E+07	20.507,68	3,43E+07	20.425,54	3,53E+07
	14	27.048,00	20.697,87	4,03E+07	20.800,45	3,90E+07	21.019,28	3,63E+07
	15	37.495,00	20.761,37	2,80E+08	21.112,83	2,68E+08	21.622,15	2,52E+08
	16	22.053,00	20.928,71	1,26E+06	21.931,94	1,47E+04	23.209,44	1,34E+06
	17	13.145,00	20.939,95	6,08E+07	21.937,99	7,73E+07	23.093,79	9,90E+07
	18	12.250,00	20.862,00	7,42E+07	21.498,34	8,55E+07	22.098,91	9,70E+07
	19	11.205,00	20.775,88	9,16E+07	21.035,92	9,66E+07	21.114,02	9,82E+07
Suma				7,53E+08		7,80E+08		8,05E+08
MSE				3,97E+07		4,10E+07		4,24E+07

De los tres valores de  $\alpha$  propuestos, según el tamaño del error, el más conveniente es un  $\alpha$  igual a 0,01, por lo que se seleccionaría la primera opción del

suavizamiento exponencial. En el Anexo No. 2 se muestra una tabla con los pronóstico de las ventas aplicando otros valores de  $\alpha$ , y en la cual se confirma que  $\alpha = 0,01$  es el factor más reduce el error del pronóstico.

A continuación se va comparar el resultado obtenido con la mejor opción del método anterior, que fue el promedio móvil de 2 observaciones. Para obtener este objetivo, se hará uso de varias medidas de error que se utilizan en el cálculo de pronósticos como son el MSE, MAD, MAPE, y Señal de Rastreo (TS). Cada una de estas medidas tiene una función particular: (Sheikh, 299)

- El MSE mide el promedio del cuadrado de los errores de cada pronóstico.
- El MAD calcula el promedio del valor absoluto del error en cada pronóstico.
- EL MAPE mide el error de cada pronóstico como un porcentaje de los datos actuales totales.
- El TS es un mecanismo que ayuda a controlar al método de pronóstico para que las estimaciones obtenidos mantegan una cierta estabilidad. Por lo tanto, se hace uso de uno límites de control de  $\pm 6$ . (Sheikh, 299)

En la Tabla No. 6 se muestra los resultados de las medidas de error tanto para el promedio móvil de 2 observaciones como para el suavizamiento exponencial con  $\alpha$  igual a 0,01. Además, en el Anexo No. 3 se muestra los gráficos de la Señal de Rastreo para los dos métodos.

**Tabla No. 6: Medidas de Error para Pronósticos de Zunchos**

Medida Error	Promedio Móvil (n=2)	Suavizamiento Exponencial ( $\alpha=0,01$ )
MSE <sub>19</sub>	51.268.655,09	39.655.063,81
MAD <sub>19</sub>	5.957,53	4.998,31
MAPE <sub>19</sub>	31,86%	27,37%

El calculo de las medidas de error nos indica que para los métodos propuestos la magnitud del error es grande puesto que el porcentaje del MAPE es elevado. Sin embargo, el método de suavizamiento exponencial simple tiene medidas de error significativamente menores que las medidas del método promedio movil. Entonces,



el mejor método para pronosticar la demanda de los zunchos es el suavizamiento exponencial simple con alfa igual a 0,01.

En base a este resultado, a continuación se calcula el pronóstico para el mes de agosto 2009:

$$Ventas_{(Ago\_2009)} = (0,01 \times 11.205) + ((1 - 0,01) \times 20.775,88)$$

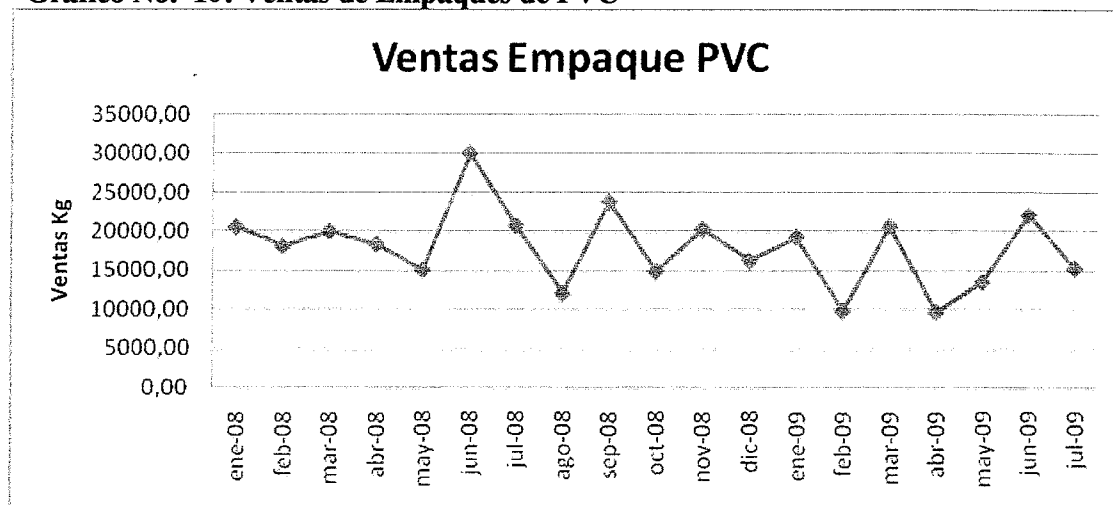
$$Ventas_{(Ago\_2009)} = 20.680,17kg.$$

Este pronóstico se mantendrá constante durante el tiempo de planificación puesto que el método escogido no ofrece ninguna fórmula para el cálculo de pronósticos posteriores.

#### 4.1.2 Pronóstico de la Demanda de Empaques de PVC

El producto de empaques de PVC se produce en varias presentaciones que dependen del molde que se coloca en la parte inicial de la máquina, el cual define la forma final de empaque. Para efecto de esta tesis, se considerará al empaque de PVC como único producto ya que el proceso y la cantidad de materiales que se usan para fabricar cada tipo de empaque son los mismos. Con respecto a la unidad con la que se maneja este producto, el empaque de PVC también se lo vende en el mercado en paquetes o rollos de diferente peso; sin embargo, la unidad que se utiliza para toda operación dentro de la fábrica es el kilogramo. En el Gráfico No. 10 se muestra la ventas obtenidas para este producto durante el periodo enero 2008 – julio 2009.

**Gráfico No. 10: Ventas de Empaques de PVC**



En la gráfica se puede observar que las ventas mensuales de los empaques de PVC se mantienen localmente constantes dentro de un rango aproximado de 15000 a 25000 kg, es decir, los datos no siguen ningún tipo de tendencia ni estacionalidad. Existen ciertos puntos atípicos como en el mes de junio 2008 (30000 kg.) y en los meses de febrero y abril 2009 (menos de 10000 kg.). Con estas características, los modelos de pronóstico que mejor se ajustan son el “promedio móvil” y el “suavizamiento exponencial simple”, y se procederá como en el caso de los zunchos puesto que coinciden los mismos modelos.

#### Promedio Móvil:

En el Anexo No. 4 se muestra una tabla donde se calcula los pronósticos de las ventas de Empaques de PVC utilizando varios números de observaciones ( $n$ ). De esta tabla se observó que los promedios móviles con  $n = 6$  y  $n = 7$  son los que más reducen la magnitud del error. Entonces, en la Tabla No. 7 se muestra un resumen del cálculo del promedio móvil con 3, 6 y 7 observaciones.

**Tabla No. 7: Pronóstico Ventas Empaque de PVC – Promedio Móvil**

Año	Mes	Ventas	MA (3)	SSE	MA (6)	SSE	MA (7)	SSE
2008	1	20.544,30						
	2	18.091,38						
	3	20.001,04						
	4	18.374,72	19.545,57	1,37E+06				
	5	15.052,02	18.822,38	1,42E+07				
	6	30.045,02	17.809,26	1,50E+08				
	7	20.775,13	21.157,25	1,46E+05	20.351,41	1,80E+05		
	8	12.074,91	21.957,39	9,77E+07	20.389,89	6,91E+07	20.411,94	6,95E+07
	9	23.833,73	20.965,02	8,23E+06	19.387,14	1,98E+07	19.202,03	2,15E+07
	10	14.916,14	18.894,59	1,58E+07	20.025,92	2,61E+07	20.022,37	2,61E+07
	11	20.288,71	16.941,59	1,12E+07	19.449,49	7,04E+05	19.295,95	9,86E+05
	12	16.231,11	19.679,53	1,19E+07	20.322,27	1,67E+07	19.569,38	1,11E+07
2009	13	19.291,95	17.145,32	4,61E+06	18.019,96	1,62E+06	19.737,82	1,99E+05
	14	9.819,46	18.603,92	7,72E+07	17.772,76	6,33E+07	18.201,67	7,03E+07
	15	20.627,00	15.114,17	3,04E+07	17.396,85	1,04E+07	16.636,57	1,59E+07
	16	9.650,35	16.579,47	4,80E+07	16.862,40	5,20E+07	17.858,30	6,74E+07
	17	13.519,01	13.365,60	2,35E+04	15.984,76	6,08E+06	15.832,10	5,35E+06
	18	22.107,00	14.598,79	5,64E+07	14.856,48	5,26E+07	15.632,51	4,19E+07
	19	15.329,74	15.092,12	5,65E+04	15.835,80	2,56E+05	15.892,27	3,16E+05
Suma				5,27E+08		3,19E+08		3,31E+08
MSE				3,29E+07		2,45E+07		2,75E+07

Con los resultados obtenidos, se puede observar que el promedio móvil de 6 observaciones tiene la medida de error más baja. Sin embargo, es importante

mencionar que en el promedio móvil de 3 a 5 observaciones se observa que el sexto mes es donde se produce la mayor cantidad de error debido a que en ese mes se produce un incremento drástico en la cantidad de las ventas; en cambio desde el promedio móvil con  $n = 6$  ya no se toma en cuenta al sexto mes para el cálculo del error, lo cual es una de las razones para que desde ese promedio móvil se reduzca la medida de error. A continuación se analizará el siguiente método de pronóstico.

### Suavizamiento Exponencial Simple

En este método se analizarán nuevamente algunos valores de  $\alpha$ , cuyos cálculos se muestran en el Anexo No. 5. De todas las opciones analizadas, la que contenga menor cantidad de error se comparará con el mejor del promedio móvil. En la Tabla No. 8 se muestra el resumen de los cálculos de los pronósticos con sus respectivas medidas de error:

**Tabla No. 8: Pronósticos de Ventas Empaques de PVC – Suavizamiento Exponencial Simple**

Año	Mes	Ventas	SE ( $\alpha=0,01$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,05$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,1$ )	SSE
2008	1	20.544,30	17.924,88	6,86E+06	17924,88	6,86E+06	17924,88	6,86E+06
	2	18.091,38	17.951,07	1,97E+04	18055,85	1,26E+03	18186,82	9,11E+03
	3	20.001,04	17.952,48	4,20E+06	18057,63	3,78E+06	18177,28	3,33E+06
	4	18.374,72	17.972,96	1,61E+05	18.154,80	4,84E+04	18.359,65	2,27E+02
	5	15.052,02	17.976,98	8,56E+06	18.165,79	9,70E+06	18.361,16	1,10E+07
	6	30.045,02	17.947,73	1,46E+08	18.010,11	1,45E+08	18.030,25	1,44E+08
	7	20.775,13	18.068,70	7,32E+06	18.611,85	4,68E+06	19.231,72	2,38E+06
	8	12.074,91	18.095,77	3,63E+07	18.720,02	4,42E+07	19.386,06	5,35E+07
	9	23.833,73	18.035,56	3,36E+07	18.387,76	2,97E+07	18.654,95	2,68E+07
	10	14.916,14	18.093,54	1,01E+07	18.660,06	1,40E+07	19.172,83	1,81E+07
	11	20.288,71	18.061,77	4,96E+06	18.472,86	3,30E+06	18.747,16	2,38E+06
	12	16.231,11	18.084,04	3,43E+06	18.563,65	5,44E+06	18.901,31	7,13E+06
2009	13	19.291,95	18.065,51	1,50E+06	18.447,03	7,14E+05	18.634,29	4,33E+05
	14	9.819,46	18.077,77	6,82E+07	18.489,27	7,52E+07	18.700,06	7,89E+07
	15	20.627,00	17.995,19	6,93E+06	18.055,78	6,61E+06	17.812,00	7,92E+06
	16	9.650,35	18.021,51	7,01E+07	18.184,34	7,28E+07	18.093,50	7,13E+07
	17	13.519,01	17.937,80	1,95E+07	17.757,64	1,80E+07	17.249,18	1,39E+07
	18	22.107,00	17.893,61	1,78E+07	17.545,71	2,08E+07	16.876,17	2,74E+07
	19	15.329,74	17.935,74	6,79E+06	17.773,78	5,97E+06	17.399,25	4,28E+06
Suma				4,53E+08		4,67E+08		4,80E+08
MSE				2,38E+07		2,46E+07		2,53E+07

En base a los resultados obtenidos, el suavizamiento exponencial simple con  $\alpha$  igual a 0,01 es la opción que menor error contiene; sin embargo, la diferencia con las otras opciones inmediatas no es muy distante, por lo que será necesario realizar

una prueba de hipótesis para ver si realmente existe una diferencia significativa entre los valores de  $\alpha$ . Entonces, en primer lugar se realizará una prueba t pareada de los errores cuadrados (SSE) entre  $\alpha = 0,01$  y  $\alpha = 0,05$ .

La prueba t pareada se la utiliza para realizar una prueba de hipótesis de la diferencia media entre las observaciones pareadas de una población. Esta prueba asume que los datos de las dos muestras son dependientes, lo cual coincide con este caso puesto que las dos muestras de errores surgen de los mismos datos de ventas para los empaques de PVC (Montgomery, 403). La prueba t pareada se la realiza mediante el programa Minitab®, y a continuación se presenta los resultados:

**Tabla No. 9: Salida del Programa Minitab – Prueba t pareada No. 1**

IC y Prueba T pareada: alfa 0,01. alfa 0,05				
T pareada para alfa 0,01 - alfa 0,05				
				Media del
				Error
	N	Media	Desv.Est.	estándar
alfa 0,01	19	23820935	36335049	8335832
alfa 0,05	19	24554623	36935318	8473543
Diferencia	19	-733688	3074404	705317
IC de 95% para la diferencia media:: (-2215503. 748127)				
Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -1,04 Valor P = 0,312				

En la

**Tabla No. 9** se observa que en el intervalo de confianza (IC) del 95% el cero está incluido, lo que sugiere que no existe una diferencia. Además, el valor P de la prueba t pareada es mayor al nivel de confianza; lo cual indica que no existe una diferencia en el error del método de suavizamiento exponencial cuando se utiliza un  $\alpha = 0,01$  o un  $\alpha = 0,05$ .

A continuación se verificará a través de la misma prueba si existe una diferencia en este método de pronóstico cuando se aplica un  $\alpha$  de 0,01 o un  $\alpha$  de 0,1.

**Tabla No. 10: Salida del Programa Minitab – Prueba t Pareada No. 2**

IC y Prueba T pareada: alfa 0,01. alfa 0,1				
T pareada para alfa 0,01 - alfa 0,1				
				Media del
				Error
	N	Media	Desv.Est.	estándar
alfa 0,01	19	23820935	36335049	8335832
alfa 0,1	19	25255255	37408927	8582196
Diferencia	19	-1434320	6101675	1399820
IC de 95% para la diferencia media:: (-4375233. 1506593)				
Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -1,02 Valor P = 0,319				

Con los resultados obtenidos se observa que en este caso también el intervalo de confianza incluye al cero y que el valor P es mayor al nivel de significancia; por lo tanto, se puede afirmar que no existe una diferencia en el error del método de suavizamiento exponencial cuando se utiliza un  $\alpha = 0,01$  o un  $\alpha = 0,1$ .

A pesar de que no existe una diferencia significativa entre las tres opciones analizadas, se escogerá el suavizamiento exponencial con  $\alpha = 0,01$  para compararlo con la mejor opción del método promedio móvil.

Para analizar las dos últimas opciones, es necesario calcular las medidas de error para cada caso, y finalmente escoger el método que tenga menor cantidad de error. En la Tabla No. 11 se muestra los resultados de las medidas de error tanto para el promedio móvil de 6 observaciones como para el suavizamiento exponencial simple con  $\alpha$  igual a 0,01. Además, en el Anexo No. 6 se muestra los gráficos de la Señal de Rastreo para los dos métodos.

**Tabla No. 11: Medidas de Error para Pronósticos de Empaques de PVC**

Medida Error	Promedio Móvil (n=6)	Suavizamiento Exponencial ( $\alpha=0,01$ )
<b>MSE<sub>19</sub></b>	24.528.364,65	23.820.934,81
<b>MAD<sub>19</sub></b>	4.085,79	3.881,10
<b>MAPE<sub>19</sub></b>	29,65%	25,01%

En base a los resultados obtenidos el mejor método para hacer el pronóstico es suavizamiento exponencial con  $\alpha$  igual a 0,01 puesto que todas las medidas de error son más bajas que el promedio móvil.

Entonces, a continuación se calcula el pronóstico para el mes de agosto 2009:

$$Ventas_{(Ago\_2009)} = (0,01 \times 15.330) + (1 - 0,01) \times 17.935,74$$

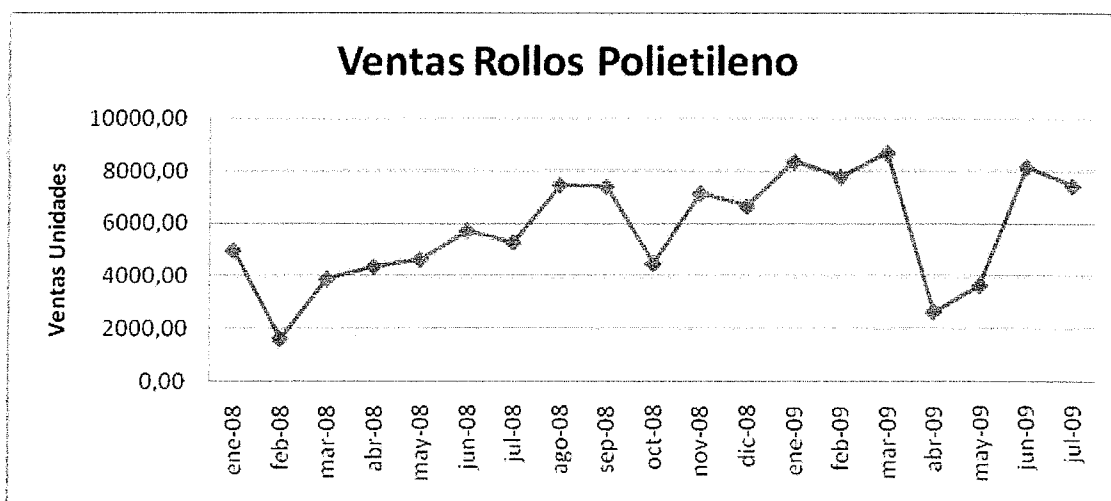
$$Ventas_{(Ago\_2009)} = 17.909,68kg.$$

Este pronóstico se mantendrá constante durante el tiempo de planeación el tiempo de planeación puesto que el método escogido no ofrece ninguna fórmula para el cálculo de pronósticos posteriores.

#### 4.1.3 Pronóstico de la Demanda de Cintas de Polietileno

Las cintas de polietileno es un producto plástico que se utiliza generalmente para la fabricación de fundas de plástico. Este producto es vendido en el mercado precisamente por cintas, es decir, la unidad que se maneja tanto comercialmente como dentro de la producción es la cinta. Una unidad de este producto pesa aproximadamente 0,65 kg., y lo único que varía entre cinta y cinta es el color del mismo. Entonces, la cantidad de ventas de este producto se lo contabiliza por cintas. En el Gráfico No. 11 se muestra las ventas mensuales para las cintas de polietileno:

**Gráfico No. 11: Ventas Cintas de Polietileno**



En la gráfica se observa una ligera tendencia positiva desde febrero del 2008 hasta marzo 2009; sin embargo, luego de ese periodo, ocurre una caída significativa en las ventas de los dos meses siguientes. La causa para que se produzca esta baja significativa en las ventas de las cintas puede venir de una fuente externa al mercado. Según el Gerente de INGLACROM, la pérdida de ventas en los meses de abril y mayo del 2009 se debe a la pérdida de alguno de los clientes principales que adquiriría este producto. No obstante, en los siguientes meses la cantidad de las ventas de las cintas se recupera al nivel que se mantenía antes de abril 2009.

La forma de la gráfica es muy compleja para escoger pocos modelos adecuados. Se puede notar una ligera tendencia positiva de los datos si no se toma en cuenta los datos de abril y mayo del año 2009. Lo que sí se puede asegurar es que las observaciones no se mantienen constantes en una región determinada, ni tampoco tienen presentan ningún tipo de estacionalidad. Por lo tanto, se realizará varias pruebas con dos métodos que se aplican cuando existe tendencia en los datos, para luego escoger el mejor a través de un análisis de las medidas de error. Los dos métodos son: Suavizamiento exponencial doble y regresión simple. Adicionalmente, se aplicará también el suavizamiento exponencial simple para comparar la magnitud del error con un método que no considera tendencia.

#### Suavizamiento Exponencial Doble

El modelo exponencial que se analizó anteriormente da buenos resultados cuando se aplica a una serie de datos que no contienen componentes de tendencia ni estacionalidad. Sin embargo, este modelo tiene una extensión que se ajusta de mejor manera cuando los datos muestran tendencias o estacionalidad. La nueva versión del modelo contempla un conjunto de ecuaciones que se las presenta a continuación (Ballou, 299):

$$S_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)(S_t + T_t)$$

$$T_{t+1} = \beta(S_{t+1} - S_t) + (1 - \beta)T_t$$

$$F_{t+1} = S_{t+1} + T_{t+1}$$

Donde,

$F_{t+1}$  = pronóstico con tendencia corregida para el periodo  $t + 1$

$S_t$  = Pronóstico Inicial para el periodo  $t$

$T_t$  = Tendencia para el periodo  $t$

$\alpha$  = constante de ajuste exponencial

$\beta$  = constante de ajuste de tendencia

$A_t$  = Demanda en el periodo  $t$

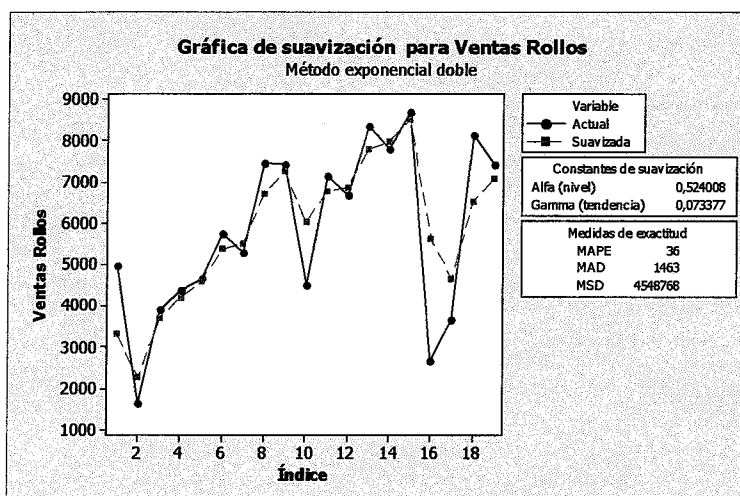
Los valores que se sugieren tanto de  $\alpha$  como  $\beta$  están dentro de un rango entre 0,01 a 0,3. El valor óptimo para estas constantes se lo puede obtener a través de una técnica iterativa que pruebe varios valores hasta encontrar la combinación que corresponda al menor promedio de los errores. (Elsayed, 39)

Para ejecutar este modelo con la información de las ventas de los cintas, se hará uso del programa Minitab®, el cual a más de calcular los pronósticos respectivos, obtiene la mejor combinación de las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  que reducen en mayor medida el error. A continuación se presenta un resumen de los resultados que otorga este programa:

**Tabla No. 12: Salida Programa Minitab – Suavizamiento Exponencial Doble**

Suavización exponencial doble para Ventas de Cintas				
Datos	Ventas Cintas			
Longitud	19			
<u>Constantes de suavización</u>				
Alfa (nivel)	0,524008			
Gamma (tendencia)	0,073377			
<u>Medidas de exactitud</u>				
MAPE	36			
MAD	1463			
MSD	4548768			
	Ventas			
Tiempo	Cintas	Suavizar	Predecir	Error
1	4983	3303,58	1454,76	3528,24
2	1639	2254,44	2931,95	-1292,95
3	3910	3681,91	3430,82	479,18
4	4370	4199,21	4011,18	358,82
5	4651	4599,25	4542,27	108,73
6	5735	5359,68	4946,49	788,51
7	5290	5502,88	5737,24	-447,24
8	7475	6707,82	5863,25	1611,75
9	7418	7280,99	7130,16	287,84
10	4498	6028,98	7714,40	-3216,40
11	7163	6770,65	6338,72	824,28
12	6670	6880,43	7112,08	-442,08
13	8370	7815,40	7204,86	1165,14
14	7790	7977,84	8184,63	-394,63
15	8690	8519,55	8331,90	358,10
16	2660	5624,18	8887,37	-6227,37
17	3670	4661,29	5752,57	-2082,57
18	8160	6517,63	4709,60	3450,40
19	7440	7087,10	6698,61	741,39



**Gráfico No. 12: Grafica de Suavización para Ventas de Cintas**

### Regresión Simple:

La regresión simple es una técnica estadística para modelar e investigar la relación entre dos variables. (Montgomery, 431) Según Greene, la regresión simple es un método que intenta “establecer una relación numérica entre dos grupos de observaciones correspondientes, para que la información sobre la una nos permita deducir el valor de la otra”. Entonces, este modelo maneja dos tipos de variables: La variable dependiente, la cual es la que se va a predecir; y la variable independiente. Estas variables juntamente con otros coeficientes de la regresión forman una ecuación que se la utiliza para calcular los pronósticos que se requieran. A continuación se presenta la forma de esta ecuación (Greene, 155):

$$Y = a + bX$$

Donde,

$Y$  = variable dependiente

$X$  = variable independiente

$a$  y  $b$  = coeficientes de regresión

El método de regresión simple hace uso de una técnica, que se conoce como el método de los mínimos cuadrados, para ajustar al máximo la ecuación de regresión a los datos que se utilizarán para obtener el pronóstico. Esta técnica de los mínimos cuadrados consiste en obtener una ecuación que grafique una línea entre los datos,

de tal forma que la sumatoria de los cuadrados de las desviaciones de cada dato hacia la línea se minimice (Greene, 157).

Por otro lado, este modelo de regresión requiere que se cumplan varios supuestos para que su aplicación sea válida. Por ejemplo, la estimación de los coeficientes de regresión requiere el supuesto de que los errores sean variables aleatorias no correlacionadas con media cero y varianza constante. También se requiere que los errores sigan una distribución normal y que la relación entre las variables se comporte en realidad de manera lineal. (Montgomery, 461)

Por lo tanto, para observar el cumplimiento de estos supuestos se hace uso de ciertas gráficas o indicadores, las cuales se explican a continuación:

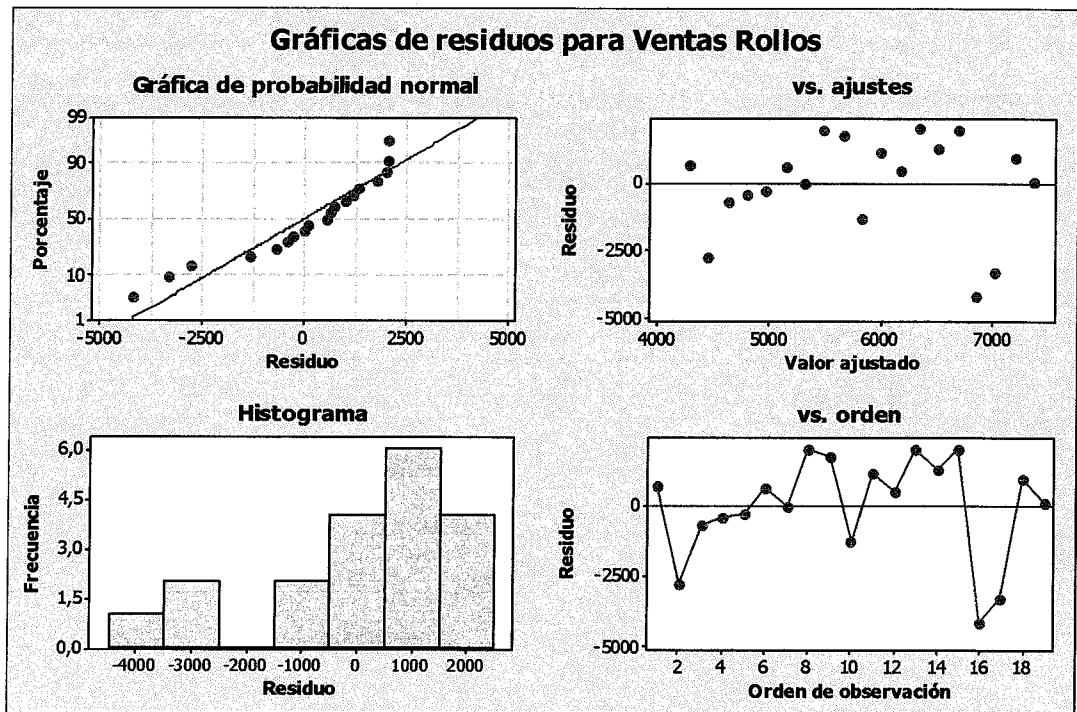
- Gráfica de Probabilidad Normal de residuos: Indica si los errores están normalmente distribuidos si los puntos de la gráfica forman una línea recta
- Histograma de los residuos: Esta gráfica muestra características generales de los datos como valores atípicos, dispersión y forma de la distribución.
- Residuos versus Ajustes: Esta gráfica trata de determinar que la media de los errores se aproxime a cero. Por esta razón, los puntos en la gráfica deben mostrar un patrón de residuos aleatorio en ambos lados de cero.
- Residuos versus Orden: En esta gráfica se coloca todos los errores en el orden que se colectaron los datos y se la utiliza para hallar errores no aleatorios. (Ayuda de Minitab®)

Entonces, se utilizará el programa Minitab® para calcular la ecuación de regresión, los pronósticos respectivos, las medidas de error para este modelo y las gráficas para comprobar los supuesto del modelo de regresión. A continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos:

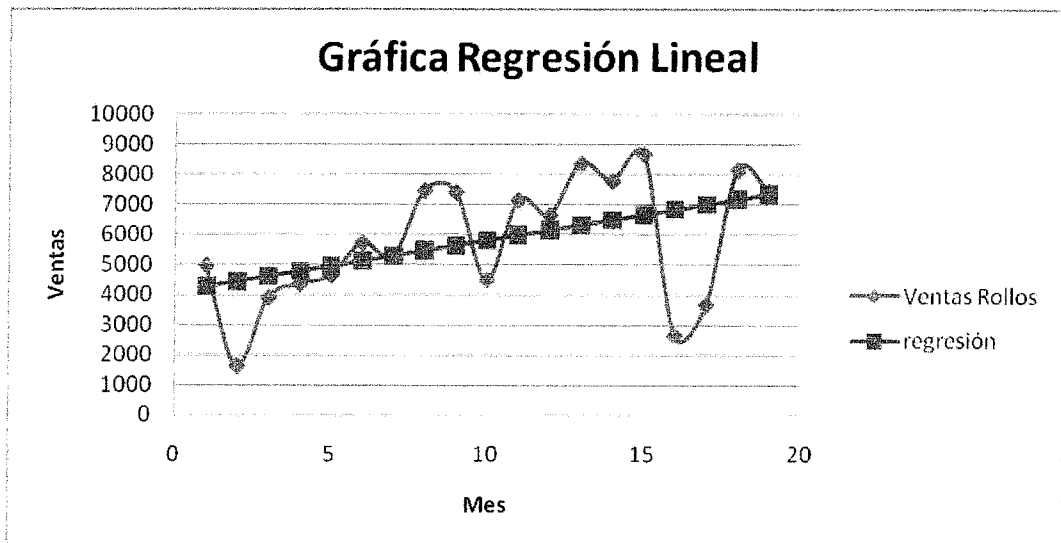
**Tabla No. 13: Salida del Programa Minitab® - Análisis de Regresión.**

Análisis de regresión: Ventas Cintas vs. Mes						
<u>La ecuación de regresión es</u>						
Ventas Cintas = 4099 + 172 Mes						
		Coef.				
Predictor	Coef	de EE	T	P		
Constante	4098,5	894,1	4,58	0,000		
Mes	172,16	78,42	2,20	0,042		
S = 1872,20 R-cuad. = 22,1% R-cuad.(ajustado) = 17,5%						
<u>Análisis de varianza</u>						
Fuente	GL	SC	MC	F	P	
Regresión	1	16894199	16894199	4,82	0,042	
Error residual	17	59587279	3505134			
Total	18	76481478				
Obs	Mes	Ventas Cintas	Ajuste	Ajuste SE	Residuo	Residuo estándar
1	1,0	4983	4271	826	712	0,42
2	2,0	1639	4443	760	-2804	-1,64
3	3,0	3910	4615	697	-705	-0,41
4	4,0	4370	4787	637	-417	-0,24
5	5,0	4651	4959	582	-308	-0,17
6	6,0	5735	5131	532	604	0,34
7	7,0	5290	5304	490	-14	-0,01
8	8,0	7475	5476	457	1999	1,10
9	9,0	7418	5648	437	1770	0,97
10	10,0	4498	5820	430	-1322	-0,73
11	11,0	7163	5992	437	1171	0,64
12	12,0	6670	6164	457	506	0,28
13	13,0	8370	6337	490	2033	1,13
14	14,0	7790	6509	532	1281	0,71
15	15,0	8690	6681	582	2009	1,13
16	16,0	2660	6853	637	-4193	-2,38R
17	17,0	3670	7025	697	-3355	-1,93
18	18,0	8160	7197	760	963	0,56
19	19,0	7440	7370	826	70	0,04
R denota una observación con un residuo estandarizado grande.						
<u>Medidas de Exactitud</u>						
MAPE	34,73					
MAD	1381,32					
MSD	3136174,58					

**Gráfico No. 13: Salida Programa Minitab® - Gráfica de Residuos**



**Gráfico No. 14: Gráfica de la Regresión Lineal para la Venta de Cintas**



A pesar de que en los resultados obtenidos de la regresión lineal se puede observar que los coeficientes de la regresión y la regresión como tal son significantes, el valor de R-cuadrado, el cual es un factor que mide que tan bien se ajusta el modelo a los datos (Montgomery, 464), tiene un valor demasiado bajo de

22,1%. Esta situación se debe principalmente, a los puntos atípicos que se mencionaron al inicio de esta sección. Además, en el **Gráfico No. 13** se puede observar que el modelo de regresión obtenido no cumple ciertos supuestos; por ejemplo, en la grafica de residuos vs. ajustes y vs. orden no se observa un patrón aleatorio, y en el histograma se observa que la función de distribución de los errores no es normal puesto que tiene un sesgo al lado derecho. Por lo tanto, no es un modelo muy adecuado debido a la complejidad de las observaciones; sin embargo, se mantendrá a este modelo como alternativa para analizarlo con el otro modelo aplicado.

#### Suavizamiento Exponencial Simple:

Para esta opción, se realiza el pronóstico con varios valores de  $\alpha$  y se obtiene la cantidad de error respectiva para cada alternativa. En la Tabla No. 14 se muestra el resumen de los cálculos de los pronósticos para  $\alpha$  igual a 0,01, 0,1, y 0,3 con sus respectivas medidas de error:

**Tabla No. 14: Pronósticos de Ventas de Cintas – Suavizamiento Exponencial Simple**

Año	Mes	Ventas	SE ( $\alpha=0,01$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,1$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,3$ )	SSE
2008	1	4.983,00	5.820,11	7,01E+05	5820,11	7,01E+05	5820,11	7,01E+05
	2	1.639,00	5.811,73	1,74E+07	5736,39	1,68E+07	5568,97	1,54E+07
	3	3.910,00	5.770,01	3,46E+06	5326,66	2,01E+06	4389,98	2,30E+05
	4	4.370,00	5.751,41	1,91E+06	5.184,99	6,64E+05	4.245,99	1,54E+04
	5	4.651,00	5.737,59	1,18E+06	5.103,49	2,05E+05	4.283,19	1,35E+05
	6	5.735,00	5.726,73	6,84E+01	5.058,24	4,58E+05	4.393,53	1,80E+06
	7	5.290,00	5.726,81	1,91E+05	5.125,92	2,69E+04	4.795,97	2,44E+05
	8	7.475,00	5.722,44	3,07E+06	5.142,33	5,44E+06	4.944,18	6,41E+06
	9	7.418,00	5.739,97	2,82E+06	5.375,59	4,17E+06	5.703,43	2,94E+06
	10	4.498,00	5.756,75	1,58E+06	5.579,83	1,17E+06	6.217,80	2,96E+06
	11	7.163,00	5.744,16	2,01E+06	5.471,65	2,86E+06	5.701,86	2,13E+06
	12	6.670,00	5.758,35	8,31E+05	5.640,79	1,06E+06	6.140,20	2,81E+05
2009	13	8.370,00	5.767,46	6,77E+06	5.743,71	6,90E+06	6.299,14	4,29E+06
	14	7.790,00	5.793,49	3,99E+06	6.006,34	3,18E+06	6.920,40	7,56E+05
	15	8.690,00	5.813,46	8,27E+06	6.184,70	6,28E+06	7.181,28	2,28E+06
	16	2.660,00	5.842,22	1,01E+07	6.435,23	1,43E+07	7.633,90	2,47E+07
	17	3.670,00	5.810,40	4,58E+06	6.057,71	5,70E+06	6.141,73	6,11E+06
	18	8.160,00	5.788,99	5,62E+06	5.818,94	5,48E+06	5.400,21	7,62E+06
	19	7.440,00	5.812,70	2,65E+06	6.053,04	1,92E+06	6.228,15	1,47E+06
Suma				7,72E+07		7,93E+07		8,05E+07
MSE				4,06E+06		4,17E+06		4,24E+06

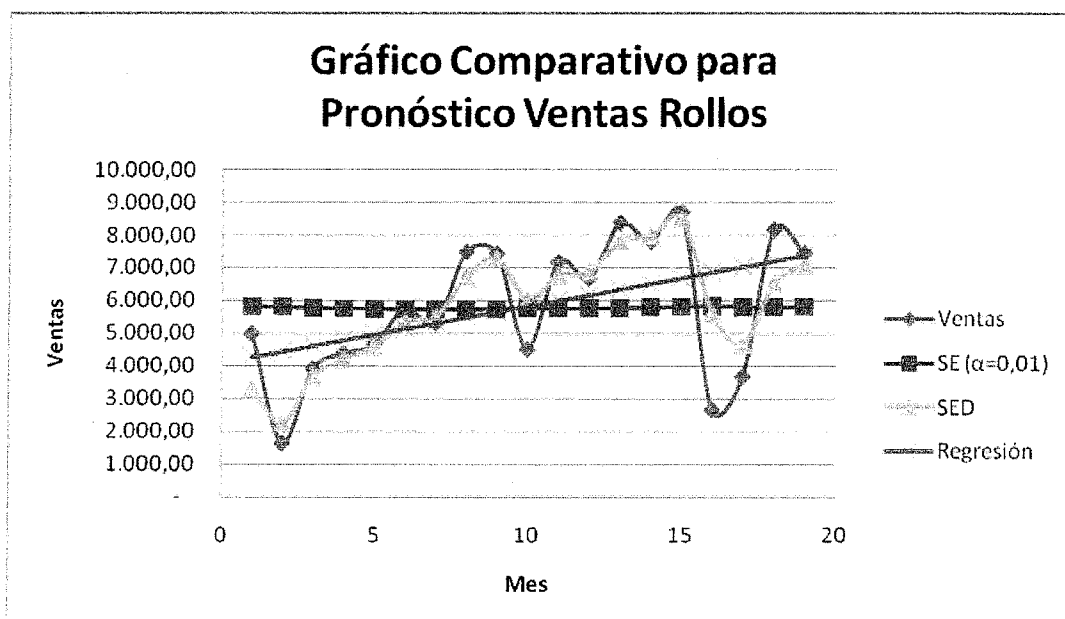
En base a los resultados obtenidos, el suavizamiento exponencial simple con  $\alpha$  igual a 0,01 es la opción que menor error contiene, y se la comparará con los otros modelos.

#### Comparación entre los Modelos:

La comparación entre los modelos de suavizamiento exponencial doble y regresión simple se lo va a realizar a través de las medidas de error como el MAPE, MAD y el MSE. En la Tabla No. 15 se muestra los resultados de las medidas de error para los dos métodos, y en el

**Gráfico No. 15** se muestra la gráfica para cada modelo de pronóstico en comparación con las ventas actuales.

**Gráfico No. 15: Comparación Gráfica entre los Modelos de Pronóstico**



Donde,

SE = Suavizamiento Exponencial Simple

SED = Suavizamiento Exponencial Doble

**Tabla No. 15: Medidas de Error para Pronósticos de Cintas**

Medida Error	Regresión Simple	Suavizamiento Exponencial Doble	Suavizamiento Exponencial Simple
MSE	3.136.174,58	4.548.768,00	4.062.062,15
MAD	1.381,32	1.463,00	1.768,38
MAPE	34,73%	36,00%	42,56%

En base a los resultados obtenidos, se observa que el porcentaje de error es alto para los tres métodos analizados, y que la diferencia de las medidas de error entre los dos primeros métodos es mínima. Entonces, debido a que el método de regresión simple no cumplió con las suposiciones respectivas y a que el modelo exponencial se ajusta mejor gráficamente a las observaciones, el método escogido para hacer el pronóstico es el Suavizamiento Exponencial Doble. Se continuará observando el desempeño del modelo elegido usando la señal de rastreo. Ver Anexo No. 7.

Entonces, a continuación se calcula el pronóstico para el mes de agosto 2009:

$$Ventas_{(Ago\_2009)} = 7296\_Unidades$$

Para calcular el pronóstico de los siguientes periodos que se toman en cuenta para la planificación de la producción, se aplicará la fórmula encontrada en el modelo de suavizamiento exponencial doble.

#### 4.2 Análisis del Estado Actual del Inventario

La fábrica de producción de INGALCROM mantiene un inventario de los siguientes elementos: materia prima, piezas para maquinaria, y producto terminado. No existe un inventario de material en proceso debido a que la producción no recorre por varias máquinas o estaciones de trabajo, es decir, no existe una producción en línea sino en paralelo, donde cada máquina recibe materia prima, la procesa y entrega directamente el producto final. Solo en la producción de los empaques de PVC se prepara el compuesto del PVC en una máquina aparte, para

luego llevar este material a la máquina que hace los empaques; no obstante este compuesto no se lo puede almacenar puesto que tiene que ser usado ese mismo día.

En consecuencia, el análisis se va a enfocar en el inventario de producto final y materia prima. En la

**Tabla No. 16** se muestra un resumen de las cantidades de inventario de los tres productos finales que se están analizando y de sus materias primas respectivas, actualizado hasta el 31 de Julio del 2009.

**Tabla No. 16: Inventario de Producto Final, Componentes y Materia Prima**

<b>INVENTARIO AL 31 - JUL - 2009</b>		
<b>Producto Final</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Zunchos	17.629,50	Kg
Empaques de PVC	9.263,50	Kg
Cintas de Polietileno	2.018,00	U
<b>Componentes</b>		
Material PVC	-	Kg
Rollos de Polietileno	12,00	U
<b>Materia Prima</b>		
Polipropileno Virgen	800,00	Kg
Polipropileno Peletizado	10.000,00	Kg
Pigmentos	400,00	Kg
Resina PVC	3.100,00	Kg
D.O.P.	2.600,00	Kg
Ácido Esteárico	25,00	Kg
Esterato de Calcio	50,00	Kg
Estabilizante Térmico	100,00	Kg
Esterato de Plomo	500,00	Kg
Carbonato de Calcio	1.500,00	Kg
Polietileno	4.000,00	Kg

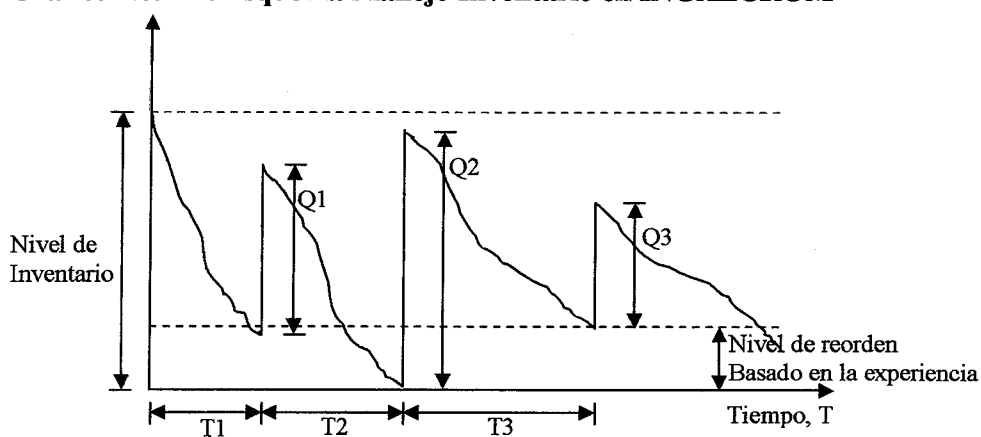
Con respecto a la política de inventario para la materia prima, INGALCROM no maneja una política de inventario específica debido a que no aplican ningún procedimiento estandarizado para revisar el nivel del inventario y para poner una orden de reabastecimiento. (Edwin Vejar, Gerente INGALCROM). Sin embargo, si se toma en cuenta el mecanismo que siguen los empleados para reabastecer a la fábrica de materia prima, se puede afirmar que su procedimiento se asemeja a una política de revisión continua.



La política de revisión continua consiste en monitorear permanentemente el nivel del inventario, de tal forma que en el momento que la cantidad de inventario alcance o sobrepase un nivel mínimo, conocido como nivel de reorden, se haga un pedido de una cantidad específica (Q) al proveedor respectivo. Por lo tanto, una característica importante de esta política es que el periodo de tiempo para colocar una orden no es constante, sino que varía según el nivel del consumo del material que se esté monitoreando. (Elsayed,68)

En el caso de la fabrica DE INGALCROM, no se maneja un nivel de reorden que haya sido establecido formalmente, no obstante los empleados si se mantienen revisando constantemente la cantidad de la materia prima hasta que en base a su experiencia determinan que existe poco material (2 a 3 unidades), y avisan al supervisor de producción para que tramite el pedido correspondiente. Además, tampoco el tamaño del pedido es un cantidad igual para cada ocasión que hay un reabastecimiento puesto que esta cantidad es determinada por el gerente de la empresa según su criterio. La única característica de la política de revisión continua que se cumple a cabalidad es el hecho de que las órdenes de pedido pueden ser colocadas cada vez que sea necesario. A continuación se presenta en el **Gráfico No. 16** el mecanismo de cómo se maneja los inventarios:

**Gráfico No. 16: Esquema Manejo Inventario en INGALCROM**



#### Determinación de los Costos de Inventario:

Como se explicó en la sección 2.1.2, existen por lo general tres tipos de costos que son: el costo de ordenar materiales, el costo de mantener inventario, y el costo

de faltante de existencias. A continuación se presenta una descripción de cada uno y la estimación respectiva:

*Costos de Ordenar:* Este costo toma en cuenta todos los gastos que son necesarios para emitir una orden de producción, cuando los materiales deben ser fabricados, o para poner una orden de compra, cuando los materiales deben ser entregados por un proveedor externo. (García, 251) Las actividades que se realizan en ambos casos son distintas, sin embargo, por cuestiones prácticas, no es posible determinar costos particulares para cada caso, y en consecuencia, se deberá escoger costos que sean representativos tanto para una orden de fabricación como un orden de compra. (Salvendy, 597)

Para el caso de INGALCROM, las órdenes de compra son las que predominan al momento de adquirir material necesario para la producción, por lo que se pondrá mayor énfasis en este caso. A continuación, se muestra las actividades que incluyen el costo de ordenar:

- Trámites con proveedores
- Preparación de las requisiciones de compra
- Recepción de los materiales, e inspección de calidad.
- Muestreo para control de calidad
- Costeo de la orden de compra
- Devolver los artículos defectuosos, etc. (García, 252)

Un método que se aplica comúnmente para calcular este tipo de costo es estimar el costo total mensual del departamento de compras, donde se incluye al personal, materiales y equipo, y se lo divide para el número total de pedidos procesados en un mes. Si es necesario, se puede agrupar los pedidos de materiales similares con el fin de que cada grupo obtenga un costo único de ordenar, y luego se obtiene el promedio de estos. (Salvendy, 597)

En la fábrica INGALCROM, existe una persona encargada de hacer los pedidos de materia prima y otros materiales que son necesarios para la producción. Este empleado se demora en promedio unos 15 minutos en realizar todas las actividades mencionadas anteriormente, y gestiona 9 pedidos cada semana, lo cual

significa aproximadamente 40 pedidos por mes. Además, el encargado de hacer los pedidos tiene un sueldo mensual de 350 dólares, valor que incluye todos los beneficios de ley. (Edwin Vejar, Gerente INGALCROM). Con esta información se procede a continuación a calcular el costo por ordenar:

$$\text{Tiempo\_Ordenar} = 0,25h \times 40 = 10 \text{ _horas _mensuales}$$

$$\text{Costo\_Ordenar} = \frac{10h \times \$350}{168h} = \$20,83$$

Entonces, el costo por poner hacer un pedido es 20,83 dólares.

*Costo de Mantener Inventario:* Son los gastos que están relacionados a la inversión, almacenamiento y manejo de los inventarios. Por lo general este costo se lo expresa en porcentaje, y sus componentes dependen del nivel de inventario. (García, 250) A continuación se muestra algunos elementos principales de este tipo de costo:

- Costo capital invertido en inventario.
- Costos de los almacenes, su operación, y su mantenimiento.
- Costo de los seguros de los artículos y los almacenes.
- Costo de obsolescencia
- Costo del deterioro, daño, o robo, etc. (Salvendy, 599)

El costo de mantener inventario (CM) se puede desglosar de dos factores que son el costo en dinero del artículo almacenado (C), y un factor de recargo que se lo expresa como porcentaje por unidad de tiempo (I). Entonces, la fórmula sería la siguiente:  $CM = C \times I$ . (Salvendy, 599)

Esta fórmula se respalda en el supuesto de que el costo de manejo de inventario por unidad de tiempo mantiene una relación directa con el costo por unidad del artículo. Además, se puede suponer que el porcentaje I es constante para todos los artículos debido a que el costo de capital es constante, y por lo general este domina sobre los otros costos mencionados.

En la Tabla No. 17 se muestra el cálculo del recargo por manejo del inventario en la planta de INGALCROM.

**Tabla No. 17: Cálculo del Costo de Mantener Inventario**

<i>Costos relacionados con el inventario</i>	<i>Desembolso (por año)</i>
Operación y Mantenimiento del almacén	8.000,00
Manejo de materiales y equipos	2.000,00
Seguros	5.400,00
Deterioros, daños, y robo	3.000,00
Obsolescencia	3.500,00
Costos de administración	<u>2.500,00</u>
	\$ 24.000,00
Inventario anual Promedio	\$350.000,00
Costo de Capital	20% / año
Cargo anual por manejo de inventario:	$0,2+(24000/350000)\times 100 = 27\%$

*Costos de faltantes:* Este costo consiste en el costo que se produce cuando un cliente hace un pedido, y no hubo producto disponible. En este caso puede ocurrir dos situaciones: Que el cliente acepte que se haga la entrega algún tiempo después, o que el cliente no acepte ninguna oferta y acuda a la competencia. En el primer caso, se puede incurrir en costos por cambiar el programa de producción, retraso en las otras entregas, etc. En cambio, en el segundo se debe considerar los costos por la pérdida de la venta, la pérdida de reputación de la empresa en el mercado, las ventas futuras que se podían haber realizado con ese cliente, entre otros. (Salvendy, 601)

También se puede considerar la falta de existencias de materias primas u otros materiales necesarios para la producción. En este caso, se podría incurrir en más altos costos debido a esfuerzos administrativos especiales para abastecer de material, al tiempo ocioso de los trabajadores, al tiempo ocioso de equipo y maquinaria, al tiempo extra de trabajo, etc. (García, 252).

El costo por falta de existencias es sumamente difícil de medir puesto que la mayoría de elementos analizados anteriormente son totalmente subjetivos por lo que habrá una variación significativa entre una empresa y otra. Además, es importante

recalcar que los datos contables estándar, comúnmente son de muy poca ayuda para estas evaluaciones. (Salvendy, 601)

De acuerdo a información otorgada por el gerente de INGALCROM, la empresa no tiene productos en existencia aproximadamente un 15% de ocasiones en el mes. De este porcentaje, se presume que el 5% son ventas totalmente pérdidas, mientras que el otro 10% son ventas que se logran posponer. Por lo tanto, un estimado del costo de faltantes es \$1,50 por unidad y por mes.

### **4.3 Modelo de Programación**

#### **4.3.1 Obtención de datos**

La planificación agregada implica el desarrollo de una función matemática que mida el costo total de producir en cualquier fábrica. Este costo trata de involucrar los costos principales de producción como inventario, mano de obra, subcontratación, tiempo extra, faltante de producto terminado, entre otros. El objetivo de generar esta función, la cual puede ser lineal o no lineal, es encontrar la cantidad óptima de ciertas variables como nivel de inventarios, fuerza de trabajo, faltantes, etc. de tal modo que se minimice el gasto total por producir la demanda que fue anteriormente anticipada. (Elsayed, 135)

Por lo tanto, para llevar a cabo la planificación agregada es necesario en primer lugar calcular los siguientes datos operacionales para todo tiempo el planeación escogido: (Chopra, 219)

- Capacidad de las máquinas: Número de unidades producidas por unidad de tiempo.
- Tasa de producción: Número de unidades que se producen en la fábrica por unidad de tiempo.
- Costo de Materiales
- Fuerza de Trabajo: Costo de tiempo regular, costo de tiempo extra, costo por contratar o despedir un empleado, tiempo de trabajo por unidad producida.
- Tiempo de trabajo extra permitido: La cantidad de tiempo extra que se tiene planeado.
- Capacidad que se requiere subcontratar

- Costo de Inventario y faltantes
- Nivel de faltantes deseado: Demanda no satisfecha en un cierto periodo, pero que se la puede arrastrar en periodos futuros.
- Inventario actual: El nivel de inventario que se planea tener durante los periodos del tiempo de planeación.

Antes de calcular esta información, primero se debe definir el tiempo de planeación. Según Chopra (2007), la planeación agregada es una herramienta útil que ayuda a la alta gerencia a tomar decisiones estratégicas a mediano plazo, es decir aproximadamente entre 3 a 18 meses. Entonces, tomando en cuenta esta información y el resultado de porcentaje de error obtenido en el cálculo de los pronósticos de la demanda, se decide que el horizonte de planeación sea de 6 meses puesto que el nivel de error no fue lo suficientemente bajo en el pronóstico de la demanda de los tres productos. Por lo tanto, no sería prudente planificar para un periodo de tiempo más largo puesto que existe mucha variedad e incertidumbre en las ventas de los tres productos en cuestión. Finalmente, se establece que cada periodo del horizonte de planeación tendrá una duración de un mes debido a que el pronóstico de la demanda es mensual.

A continuación se va a obtener los datos operacionales antes mencionados:

#### Capacidad de las máquinas:

La Capacidad de una máquina se refiere a la cantidad de producción de la máquina por unidad de tiempo cuando la máquina está funcionando en su ritmo normal de trabajo; por lo tanto no se considera tiempos de calentamiento, paros etc. (Chopra, 219) Para calcular la capacidad de las máquinas, se tomó el tiempo que se demoraba cada máquina en producir una unidad terminada, y luego se obtuvo el peso de este producto. Solo en el caso del zuncho no se midió el peso del producto; sin embargo, se utilizará el peso promedio de cada tipo de zuncho para obtener capacidad respectiva. A continuación se presenta un resumen de las mediciones obtenidas y de los cálculos respectivos para obtener la capacidad de las tres diferentes máquinas en cada producto.

**Zunchos:** Para la producción de zunchos se dispone de dos máquinas que fueron especialmente diseñadas para producir este producto. Cada máquina tiene dos envolvedores, por lo que en un mismo intervalo de tiempo se obtienen dos paquetes de zunchos. En la máquina # 1 se tomó el tiempo del Zuncho de 12 mm (grosor), y en la máquina # 2 para el Zuncho de 6 mm. En la **Tabla No. 18** se muestra las mediciones del tiempo que se demora en producir un paquete de zunchos en las diferentes máquinas:

**Tabla No. 18: Mediciones Capacidad de las Máquinas de Zunchos**

Máquina 1 (Zuncho de 12 - 15 kg)				Máquina 2 (Zuncho de 7 - 8 kg)			
Envolvedor 1		Envolvedor 2		Envolvedor 1		Envolvedor 2	
Hora	Tiempo	Hora	Tiempo	Hora	Tiempo	Hora	Tiempo
0:02:45		0:11:50		0:00:00		0:04:00	
0:23:40	0:20:55	0:32:17	0:20:27	0:14:54	0:14:54	0:18:50	0:14:50
0:44:30	0:20:50	0:54:50	0:22:33				
1:06:15	0:21:45	1:15:32	0:20:42	0:25:40		0:29:27	
1:27:02	0:20:47	1:35:55	0:20:23	0:41:19	0:15:39	0:43:53	0:14:26
1:48:54	0:21:52	1:57:24	0:21:29	0:57:09	0:15:50	0:59:20	0:15:27
2:09:10	0:20:16	2:18:07	0:20:43	1:12:08	0:14:59	1:14:54	0:15:34
				1:27:58	0:15:50	1:28:59	0:14:05
0:05:45		0:00:00		1:43:10	0:15:12	1:44:11	0:15:12
0:26:12	0:20:27	0:20:45	0:20:45	1:58:49	0:15:39	1:59:23	0:15:12
0:47:13	0:21:01	0:40:12	0:19:27	2:13:25	0:14:36	2:14:05	0:14:42
1:07:40	0:20:27	1:01:20	0:21:08	2:29:02	0:15:37	2:30:01	0:15:56
1:28:19	0:20:39	1:22:01	0:20:41	2:44:22	0:15:20	2:44:58	0:14:57
1:48:30	0:20:11	1:42:43	0:20:42	2:59:31	0:15:09	3:00:27	0:15:29
Tiempo Promedio	0:20:50		0:20:49		0:15:20		0:15:05
Varianza	1,46E-07		2,80E-07		8,10E-08		1,41E-07

Para obtener la capacidad total de las máquinas, se calculará primero las capacidades individuales de cada máquina, y luego se obtendrá el promedio de las dos máquinas. La capacidad individual resulta de dividir el peso promedio de los paquetes de zunchos para el tiempo promedio de fabricación en la máquina, lo cual está reflejado en la siguiente expresión:

$$C_{Mi} = \frac{P_i}{(\bar{t}_{iA} + \bar{t}_{iB})/4} \quad (4.3.1)$$

Donde,

$C_{Mi}$  = Capacidad de la máquina i

$P_i$  = Peso del paquete del Zuncho que se produjo en la máquina  $i$

$t_{iA}$  = Tiempo promedio de producción en la máquina  $i$  y envolver A.

$t_{iB}$  = Tiempo promedio de producción en la máquina  $i$  y envolver B.

Por lo tanto, se hace uso de (4.3.1) para los cálculos respectivos, que se presentan a continuación:

$$C_{M1} = \frac{P_1}{(\bar{t}_{1A} + \bar{t}_{1B})/4}$$

$$C_{M1} = \frac{15kg}{(20,83min + 20,816min)/4} = 1,44 kg/min$$

$$C_{M2} = \frac{P_2}{(\bar{t}_{2A} + \bar{t}_{2B})/4}$$

$$C_{M2} = \frac{8kg}{(15,33min + 15,083min)/4} = 1,052 kg/min$$

Capacidad Promedio ( $C_p$ ):

$$C_p = \frac{1,44 + 1,052}{2} = 1,246 kg/min$$

Entonces, la capacidad promedio de producción de una máquina de zunchos es 1,246 kilogramos por minuto.

**Empaque de PVC:** A diferencia de los zunchos, para las mediciones en las máquinas se tomó el peso y el tiempo de cada paquete que se producía con el fin de tener mayor precisión en los datos. A continuación, en la **Tabla No. 19** se presenta los tiempos que se demora la máquina en producir un paquete de empaques de PVC y su respectivo peso. Al final, estos tiempos son promediados, al igual que los pesos, con el fin de obtener la capacidad individual de cada máquina.



**Tabla No. 19: Mediciones Capacidad de las Máquinas de Empaques de PVC**

Máquina 1 (Empaque 26-11)			Máquina 2 (Empaque 26-7)		
Hora	Tiempo	Peso (kg)	Hora	Tiempo	Peso (kg)
4:50:00			5:15:00		
5:35:34	0:45:34	23,69	6:12:38	0:57:38	27,92
6:21:12	0:45:38	24,65	7:10:58	0:58:20	28,54
7:06:41	0:45:29	24,13	8:11:02	1:00:04	30,15
4:15:00			3:30:00		
5:01:34	0:46:34	25,17	4:31:12	1:01:12	30,34
5:46:04	0:44:30	23,57	5:28:33	0:57:21	28,23
6:31:44	0:45:40	24,37	6:27:09	0:58:36	29,30
3:45:00			3:00:00		
4:31:48	0:46:48	25,01	3:57:45	0:57:45	27,95
5:15:55	0:44:07	23,91	4:58:11	1:00:26	30,56
6:00:12	0:44:17	24,05	5:56:58	0:58:47	28,45
6:46:08	0:45:56	25,27	6:56:32	0:59:34	29,47
Promedio	0:45:27	24,38		0:58:58	29,09
Varianza	4,0E-07	0,38		8,1E-07	1,02

Para calcular la capacidad se tomará en cuenta el tiempo promedio de producción por paquete, y el peso promedio de cada paquete; y al final se promediará la capacidad real de cada máquina. Para este cálculo, se utilizará la siguiente expresión:

$$\text{Fórmula No. 1: } C_{Mi} = \frac{P_i}{\bar{t}_i} \quad (4.3.2)$$

Donde,

$C_{Mi}$  = Capacidad de la máquina i

$P_i$  = Peso del paquete de empaque PVC que se produjo en la máquina i

$t_i$  = Tiempo promedio de producción en la máquina i

$C_p$  = Capacidad promedio

A continuación, haciendo uso de (4.3.2) se presenta los cálculos respectivos:

$$C_{M1} = \frac{P_1}{\bar{t}_1}$$

$$C_{M1} = \frac{24,38 \text{ kg}}{(45,45 \text{ min})} = 0,536 \text{ kg/min}$$

$$C_{M2} = \frac{P_2}{t_2}$$

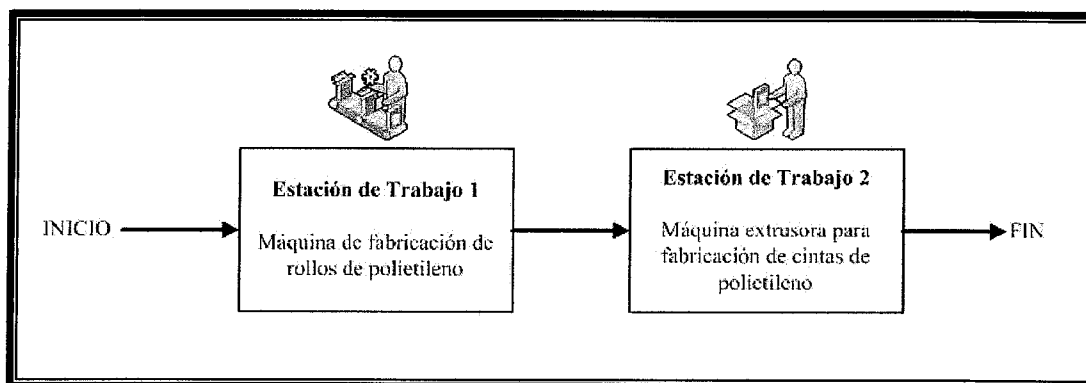
$$C_{M2} = \frac{29,09kg}{(58,97 \text{ min})} = 0,493 \text{ kg/min}$$

$$C_P = \frac{0,536 + 0,493}{2} = 0,5145 \text{ kg/min}$$

Por lo tanto, la capacidad promedio de una máquina de Empaques de PVC es 0,5145 kilogramos por minuto.

**Cintas de Polietileno:** En el caso de las cintas de polietileno, la capacidad depende de las dos máquinas que se utilizan para fabricar este producto. En el **Gráfico No. 17** se muestra brevemente cómo funciona la línea de producción de las cintas de polietileno:

**Gráfico No. 17: Producción Cintas de Polietileno**



En la estación de trabajo No. 1 se produce rollos de polietileno grandes, los cuales pueden pesar entre 50 a 90 kilos. Según información otorgada por el supervisor de la producción, Gustavo Martínez, la fabricación de un rollo de 50 kilogramos se demora aproximadamente 2,5 horas. Entonces, la estimación de la capacidad de la primera máquina es de 20 kilogramos por hora.

En la estación de trabajo No. 2 se reciben los rollos grandes, y en la máquina extrusora se los procesa para obtener pequeños rollos o cintas de polietileno, las cuales tienen un peso de 0,65 kilogramos por unidad. Cada parada en esta máquina dura aproximadamente 15 minutos y se fabrican 34 cintas, es decir, 22,1

kilogramos por parada. A parte el operario se demora 5 minutos más para cambiar de moldes en las máquinas y comenzar a empacar las cintas que se acabaron de producir. Por lo tanto, en una hora se pueden producir cerca de 102 cintas, lo cual representa 66,3 kilogramos por hora. (Gustavo Martínez, Supervisor de Producción).

Mediante este análisis del proceso de producción de las cintas de polietileno, se puede concluir que la primera estación de trabajo se convierte en el cuello de botella o es la estación que determina la velocidad de fabricación de estos productos puesto que la capacidad de su máquina es menor a la capacidad de la máquina extrusora de la estación No. 2. Por lo tanto, la capacidad promedio de la línea de producción de las cintas de polietileno es de 20 kilogramos por hora.

#### Tasa de Producción:

La capacidad de las máquinas obtenidas en la sección anterior no considera factores como el tiempo de calentamiento de las máquinas, tiempos de calibración, etc.; por lo tanto, para tener una medida más real de la capacidad potencial de la fábrica es necesario calcular otra medida que se la conoce como la tasa de producción potencial de la fábrica. Esta medida consiste en la cantidad de producto final que se fabrica en un periodo de tiempo determinado tomando en cuenta que se trabaja bajo condiciones normales en la fábrica. (Chopra, 219). En este caso, la unidad de tiempo escogida para calcular este parámetro es una semana debido a que las máquinas se apagan semanalmente, es decir, la producción es continua de lunes a viernes. La hora de ingreso el día lunes es a las 8 a.m., y la hora de salida el viernes es a las 6 p.m. También se puede trabajar los sábados dependiendo de la cantidad de pedidos que existan en la semana; sin embargo, esta decisión es variable y no se la tomará en cuenta para el cálculo respectivo. Por lo tanto, las horas fijas que se disponen para producir semanalmente son 106 horas.

La tasa de producción en INGALCROM depende principalmente de la capacidad de las máquinas puesto que el proceso en su mayor parte es automático y la mano de obra no influye de manera significativa en el ritmo de producción. Sin embargo, se debe considerar también otros factores como el número de máquinas disponibles, los tiempos de calentamiento de las máquinas, el tiempo de paros en la

producción por cambio de tipo de productos, el tiempo perdido por daños mecánicos u otros imprevistos, y tiempos de calibración. En consecuencia, se calculará la tasa de producción para cada producto porque los datos antes mencionados difieren para cada caso.

### Zunchos

La información requerida para calcular la tasa de producción de los zunchos se la describe a continuación: (Gustavo Martínez, Supervisor de Producción)

- Existen 2 máquinas de zunchos funcionando actualmente.
- La capacidad de producción promedio de las máquinas es 1,246 kg/min.
- El calentamiento de las máquinas ocurre una vez a la semana (lunes en la mañana), y tiene una duración de 3 horas.
- El tiempo de calibración para una máquina de zunchos es de 10 minutos. La máquina debe ser calibrada cada vez que existe un cambio de especificación en el producto o por un paro de la máquina debido a imprevistos.
- El número promedio de ocasiones que se para la máquina de zunchos por cambio de especificaciones en los productos es de 10 veces por semana.
- Los imprevistos en la producción ocurren principalmente por daños mecánicos. Entonces, el número de imprevistos promedio en la producción semanal de zunchos es de 3 ocasiones.
- El tiempo de reparación de estos imprevistos es aproximadamente de 15 minutos.
- La máquina de zunchos se la detiene también a la hora del almuerzo por 45 minutos, por lo tanto, en la semana se pierde 3,75 horas a la semana de producción.

Para hacer el cálculo respectivo, se obtendrá primero el tiempo total de pérdida de producción, y a este valor se lo restará del tiempo disponible para producir semanalmente. Finalmente, el tiempo neto de producción se lo multiplicará por la capacidad de las máquinas. A continuación se presenta estos cálculos:

$$T_{perdido} = 3h + 0,167 \times 18 + 0,25 \times 3 + 3,75h$$

$$T_{perdido} = 10,5 \text{ _horas / semana}$$

$$T_{neto} = 106 - 10,5 = 95,5 \text{ _horas / semana}$$

$$P = \frac{1,246\text{kg}}{1\text{min}} \times \frac{60\text{min}}{1\text{h}} \times \frac{95,5\text{h}}{1\text{semana}} \times 2 = 14.279,16 \text{ kg/semana}$$

### Empaques de PVC

La información requerida para calcular la tasa de producción de los empaques de PVC se la describe a continuación: (Gustavo Martínez, Supervisor de Producción)

- Existen 3 máquinas de empaques de PVC funcionando actualmente.
- La capacidad de producción promedio de las máquinas es 0,5145 kg/min.
- El calentamiento de las máquinas ocurre una vez a la semana (lunes en la mañana), y tiene una duración de 2 horas.
- El tiempo de calibración para una máquina de empaques de PVC es de 10 minutos. La máquina debe ser calibrada cada vez que existe un cambio de especificación en el producto o por un paro de la máquina debido a imprevistos.
- El número promedio de ocasiones que se paran las máquinas de PVC por cambio de moldes o matrices es 15 veces por semana.
- El tiempo promedio que se emplea para cambiar los moldes es 30 minutos.
- Los imprevistos en la producción ocurren principalmente por daños mecánicos. Entonces, el número de imprevistos promedio en la producción semanal de PVC es de 4 ocasiones.
- El tiempo de reparación de estos imprevistos es aproximadamente de 15 minutos.
- La producción se detiene 45 minutos en la hora del almuerzo. Por lo tanto, semanalmente se pierde 3,75 horas en la producción.

La tasa de producción de los empaques de PVC se lo obtiene de la misma forma que se aplicó para el caso de los zunchos: A continuación se presenta estos cálculos:

$$T_{\text{perdido}} = 2\text{h} + 0,167 \times 24 + 0,5 \times 15 + 0,25 \times 4 + 3,75$$

$$T_{\text{perdido}} = 18,26 \text{ _horas / semana}$$

$$T_{\text{neto}} = 106 - 18,26 = 87,74 \text{ _horas / semana}$$

$$P = \frac{0,5145\text{kg}}{1\text{min}} \times \frac{60\text{min}}{1\text{h}} \times \frac{87,74\text{h}}{1\text{semana}} \times 3 = 8.125,60 \text{ kg/semana}$$

### Cintas de Polietileno

La información requerida para calcular la tasa de producción de las cintas de polietileno se la describe a continuación: (Gustavo Martínez, Supervisor de Producción)

- La capacidad de la máquina es 20 kg/hora.
- El calentamiento de la máquina ocurre una vez a la semana (lunes en la mañana), y tiene una duración de 2 horas.
- El tiempo de calibración para una maquina de polietileno es de 15 minutos. La máquina debe ser calibrada después de cualquier tipo de paro.
- El número promedio de ocasiones que se para la máquina de polietileno por cambio de especificaciones en los productos es 5 veces por semana.
- Los imprevistos en la producción ocurren principalmente por daños mecánicos. Entonces, el número de imprevistos promedio en la producción semanal de polietileno es de 2 ocasiones.
- El tiempo de reparación de estos imprevistos es aproximadamente de 20 minutos.

Con esta información, se procede a realizar los cálculos respectivos:

$$T_{\text{perdido}} = 2h + 0,25 \times 7 + 0,333 \times 2$$

$$T_{\text{perdido}} = 4,4 \text{ _horas}$$

$$T_{\text{neto}} = 106 - 4,4 = 101,6 \text{ _horas}$$

$$P = \frac{20\text{kg}}{1h} \times \frac{101,6h}{1\text{semana}} = 2.032,0 \text{ kg/semana}$$

### Costo de Materiales

En la **Tabla No. 20** se muestra el cálculo del costo de materiales para cada producto que se está analizando. Debido a que la demanda de estos tres productos se la está agregando, el costo final de materiales será un promedio de cada costo.

**Tabla No. 20: Cálculo de Costo de material**

Producto Final	Material	Cantidad (kg)	Costo Unitario (\$/kg)	Costo Material
Zuncho (1 kg)	Polipropileno Virgen	0,5	\$ 1,45	\$ 0,73
	Polipropileno Peletizado	0,25	\$ 1,00	\$ 0,25
	Pigmentos	0,01	\$ 4,50	\$ 0,05
<b>Costo Total Zuncho:</b>				<b>\$ 1,02</b>
Empaque PVC (1 kg)	Resina PVC	0,5	\$ 1,25	\$ 0,63
	D.O.P.	0,096	\$ 1,70	\$ 0,16
	Ácido Esteárico	0,004	\$ 2,30	\$ 0,01
	Estereato de Calcio	0,001	\$ 3,50	\$ 0,00
	Estabilizante Térmico	0,012	\$ 3,30	\$ 0,04
	Estereato de Plomo	0,002	\$ 1,20	\$ 0,00
	Carbonato de Calcio	0,1	\$ 0,21	\$ 0,02
<b>Costo Total Empaque PVC:</b>				<b>\$ 0,86</b>
Rollos de Polietileno (1 kg)	Polietileno	1	\$ 1,05	\$ 1,05
	Pigmentos	0,02	\$ 4,50	\$ 0,09
<b>Costo Total Rollo de Polietileno:</b>				<b>\$ 1,14</b>
<b>COSTO PROMEDIO DE MATERIAL</b>				<b>\$ 1,01</b>

Fuerza de Trabajo:

En la fábrica de producción de INGALCROM trabajan 12 obreros en total. En el turno de la mañana trabajan 8 empleados: Un operario para cada máquina (zunchos, empaques de PVC y cintas de polietileno), un trabajador que prepara el compuesto del PVC, un trabajador que prepara la materia prima, un bodeguero, y dos trabajadores que están en el área de reciclado. En cambio, en el turno de la noche solo laboran 4 empleados, quienes principalmente operan las máquinas antes descritas. (Edwin Vejar, Gerente INGALCROM)

El salario mensual de los operarios es igual al sueldo básico, es decir aproximadamente \$218,00 dólares. Sin embargo, si se toma en cuenta todos los pagos extras que pide la ley, un operario le cuesta a la empresa aproximadamente \$310,00 dólares mensuales. Entonces, el costo laboral por tiempo regular es \$1,76 cada hora tomando en cuenta todos los beneficios de la ley. Por otro lado, el costo por horas extras es de \$1,86 cada hora.

Con respecto a los costos por despedir o contratar personal para la planta de producción, la ley del código de trabajo estipula que cuando se despide a un empleado, la empresa debe pagar el valor a 3 salarios mensuales más el 25% por año del trabajador en la compañía. Por lo tanto, si se toma en cuenta que el tiempo de permanencia en la empresa es de 1 año, el costo por despedir un operario es de \$ 708,50 dólares. En cambio, el costo de contratar a un nuevo operario toma en consideración el nuevo sueldo, el tiempo que se emplea en la contratación y el tiempo de entrenamiento del nuevo trabajador. Según el Gerente de INGALCROM, el tiempo de entrenamiento para un nuevo operario dura en promedio unos 15 días. Entonces, el costo por contratar un nuevo trabajador es aproximadamente \$360,00 dólares.

Tiempo de trabajo extra permitido:

La ley de código de trabajo tiene dos tipos de horas extras: Las horas suplementarias y las horas extraordinarias. Un trabajador por ley puede trabajar máximo por tiempo extra 20 horas al mes. Sin embargo, pasado las primeras 12 horas extras o suplementarias, se debe pagar al trabajador con la tarifa de las horas extraordinarias que es doble del sueldo normal. Por lo tanto, es deseo de la gerencia mantener un máximo de 12 horas extras por trabajador para no incurrir en mayores gastos de personal.

Capacidad que se requiere subcontratar:

El gerente de INGALCROM manifiesta que subcontratar mayor capacidad no es una opción en esta empresa porque la fábrica posee la capacidad suficiente para cumplir con la demanda. Por lo tanto, no se considerará en el modelo de programación lineal ningún aspecto sobre subcontratación de capacidad extra.

Costo de Inventario y faltantes:

Los costos de inventarios y faltantes se los calculó en la sección 4.2. El cargo que se obtuvo por mantener inventario es del 27%. Entonces, para obtener el costo de mantener inventario se hará uso de la siguiente fórmula:

$$CM = C \times I \quad (4.3.3)$$

Donde,

CM = El costo de mantener inventario



C = Costo en dinero del artículo almacenado

I = Recargo por mantener inventario

Entonces, el costo por mantener inventario es el siguiente:

$$CM = \$4,49 \times 27\%$$

$$CM = \$1,21 \text{ /unidad/mes}$$

Finalmente, el costo por faltantes es de \$1,50 /unidad/mes.

Nivel de faltantes deseado:

Es deseo del gerente de la empresa INGALCROM mejorar el nivel de servicio de la misma. Por lo tanto, se definió que el porcentaje de nivel de faltantes se reduzca al 5%, el cual contempla tanto las ventas pérdidas como las ventas postergadas.

Pronóstico de la Demanda:

El pronóstico de la demanda de los zunchos para los 6 siguientes meses es de 20680,17 kg por mes. En cambio, el pronóstico de la demanda de los empaques de PVC para todo el horizonte de planeación es de 17909,68 kg cada mes. En el caso de las cintas de polietileno, se utilizará la siguiente fórmula del Suavizamiento Exponencial Doble para calcular el pronóstico de la demanda:

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)(S_t + T_t) + \beta(S_{t+1} - S_t) + (1 - \beta)T_t$$

$$F_{t+1} = 0,524A_t + (1 - 0,524)(S_t + T_t) + 0,073(S_{t+1} - S_t) + (1 - 0,073)T_t$$

Esta fórmula fue encontrada con la ayuda del programa Minitab®, y continuación se presenta los pronósticos obtenidos en este programa:

<i>Pronósticos Cintas de Polietileno</i>			
Período	Pronóstico	Inferior	Superior
20 Ago	7296,59 U	3711,19	10882,0
21 Sep	7506,07 U	3393,05	11619,1
22 Oct	7715,56 U	3020,54	12410,6
23 Nov	7925,04 U	2611,52	13238,6
24 Dic	8134,52 U	2177,33	14091,7
25 Ene	8344,01 U	1725,32	14962,7

Estos pronósticos deben ser agregados en una sola demanda para toda la fábrica; para esto, se transformó las unidades de los cintas de polietileno a

kilogramos para que puedan ser añadidos con las estimaciones de la demanda de los otros dos productos. A continuación, en la

Tabla No. 21 se presenta un cuadro de resumen de los pronósticos de la demanda de cada producto, y la respectiva demanda agregada:

**Tabla No. 21: Pronósticos de la Demanda Agregada**

Mes	Producto			Demanda
Pronosticado	Zuncho (kg)	Empaque PVC (kg)	Rollo Polietileno (kg)	Agregada (kg)
ago-09	20.680,17	17.909,68	4.742,78	43.332,63
sep-09	20.680,17	17.909,68	4.878,95	43.468,80
oct-09	20.680,17	17.909,68	5.015,11	43.604,96
nov-09	20.680,17	17.909,68	5.151,28	43.741,13
dic-09	20.680,17	17.909,68	5.287,44	43.877,29
ene-10	20.680,17	17.909,68	5.423,61	44.013,46

#### 4.3.2 Elaboración del Modelo

La planeación agregada busca determinar los niveles óptimos de inventario, fuerza de trabajo y cantidad de producción en cada periodo, para que se minimice el costo total de producción. Para obtener estos resultados, existen varios métodos matemáticos que pueden ser aplicados; sin embargo, en esta tesis se utilizará la *programación lineal* para resolver este tipo de problemas. Esta herramienta tiene la capacidad de encontrar una solución que alcance la mayor ganancia financiera, al mismo tiempo que cumple satisface las restricciones que enfrenta la empresa. (Chopra, 222)

La programación lineal necesita de la construcción de un modelo matemático donde todas las ecuaciones sean de primer orden o lineales. Este modelo de planificación agregada está compuesto básicamente por una función objetivo y varias restricciones que dependen de las necesidades y políticas de la fábrica. No obstante, antes de establecer estas ecuaciones es necesario identificar primero claramente las variables de decisión que van a formar parte del modelo. (Chopra, 224) Para la planificación agregada de INGALCROM, las variables de decisión son las siguientes:

$W_t$  = Tamaño de fuerza laboral para mes  $t$ , para  $t = 1, 2, \dots, 6$

$H_t$  = # de empleados contratados al inicio del mes  $t$ , para  $t = 1, 2, \dots, 6$

$L_t$  = # de empleados despedidos al inicio de mes  $t$ , para  $t = 1, 2, \dots, 6$

$P_t$  = # de unidades producidas en mes  $t$ , para  $t = 1, 2, \dots, 6$

$I_t$  = Inventario al final de mes  $t$ , para  $t = 1, 2, \dots, 6$

$S_t$  = # de unidades faltantes (retrasadas) al final de mes  $t$ , para  $t = 1, 2, \dots, 6$

$O_t$  = # de horas trabajadas en tiempo extra en mes  $t$ , para  $t = 1, 2, \dots, 6$

Una vez que se definen las variables de decisión, el siguiente paso es obtener la función objetivo. Para esto, se presenta a continuación en la **Tabla No. 22** un resumen de los costos calculados en secciones anteriores:

**Tabla No. 22: Resumen de Costos – Planificación Agregada**

Item	Costo
Materiales	\$1,01/unidad
Costo Mantener Inventario	\$1,21/unidad/mes
Costo Marginal de un Retraso	\$1,50/unidad/mes
Costos de Contratar y Entrenar	\$360,00/trabajador
Costo de Despedir	\$708,50/trabajador
Costo de Tiempo Regular	\$1,76/hora - \$310,00/mes
Costo de Tiempo Extra	\$1,86/hora

La función objetivo quedaría de esta forma:

$$MinZ = \sum_{t=1}^6 310W_t + \sum_{t=1}^6 1,86O_t + \sum_{t=1}^6 360H_t + \sum_{t=1}^6 708,50L_t + \sum_{t=1}^6 1,21I_t + \sum_{t=1}^6 1,50S_t + \sum_{t=1}^6 1,01P_t \quad (4.3.4)$$

A continuación se detalla las restricciones del modelo de programación lineal conforme a la situación actual de la planta de producción de INGALCROM.

**Capacidad:** Esta restricción controla que la producción en cada periodo no sobrepase la capacidad de producción disponible en la fábrica, la cual está determinada en base a las horas laborables ya sea del tiempo regular de trabajo y de las horas extras permitidas. Para esto es necesario conocer la cantidad tiempo que se debe emplear en personal/maquinaria para producir una unidad de producto. Como se mencionó anteriormente, la producción depende mayoritariamente de la capacidad de las máquinas y no tanto del personal; sin embargo, la fórmula de esta restricción toma como variable de decisión a la cantidad de fuerza de trabajo.

Entonces, como en las secciones anteriores se obtuvo la tasa de producción potencial para cada producto, se va a pasar esta medida en base a la cantidad de gente que trabaja en cada línea de producción.

En la producción de zunchos se necesita todo el tiempo un operador para cada máquina tanto en el turno de día como en el turno de noche. Para el caso de los empaques de PVC, existen tres máquinas y una estación de trabajo adicional donde se prepara la materia prima, entonces actualmente se tiene 2 obreros para que realicen este trabajo durante el primer turno; en el turno de la noche solo trabajo un obrero. Finalmente, la producción de cintas de polietileno la realiza un solo operador para cada turno. En la **Tabla No. 23** se presenta la capacidad disponible en la planta de producción en base al personal.

**Tabla No. 23: Capacidad en base a la fuerza de Trabajo**

Área de Producción	Tasa de Producción Potencial Semanal	Tasa de Producción Potencial Mensual	Número de trabajadores	Tasa de Producción por Trabajador
Zunchos	14.279,16 kg/semana	62.828,30 kg/mes	4	15.707,07 kg/mes
Empaques de PVC	8.125,60 kg/semana	35.752,64 kg/mes	3	11.917,55 kg/mes
Cinas de Polietileno	2.032,0 kg/semana	8940,8 kg/mes	2	4.470,40 kg/mes
<b>Capacidad Agregada por Trabajador por Mes</b>				<b>32.095,02 kg/mes</b>
<b>Capacidad Agregada por Trabajador por Hora</b>				<b>68,81 kg/hora</b>

Entonces, la restricción de capacidad queda de la siguiente forma:

$$32.095,02W_t + 68,81O_t - P_t \geq 0 \text{ _para } t = 1, \dots, 6 \quad (4.3.5)$$

**Fuerza de trabajo:** Esta restricción hace referencia a que la fuerza de trabajo en cualquier periodo, debe ser igual a la fuerza de trabajo del periodo anterior más los empleados que se contraten y menos los que se despidan. A continuación se presenta la respectiva restricción:

$$W_t - W_{t-1} - H_t + L_t = 0 \text{ _para } t = 1, \dots, 6 \quad (4.3.6)$$

donde  $W_0 = 9$

**Balance de Inventario:** Esta restricción controla que el inventario al final de cada periodo este balanceado, lo cual está representado en la ecuación (4.3.7). El inventario agregado inicial es de 28.204,7 kg:

$$I_{t-1} + P_t - D_t - S_{t-1} - I_t + S_t = 0 \text{ _ para } t = 1, \dots, 6 \quad (4.3.7)$$

donde  $I_0 = 28.204,7; S_0 = 0$

$D_t$  está definida conforme al siguiente cuadro:

T	Demanda
1	43.332,63
2	43.468,80
3	43.604,96
4	43.741,13
5	43.877,29
6	44.013,46

**Límite de tiempo extra:** Esta restricción responde a la necesidad de la gerencia de tener como máximo 12 horas extras por trabajador en el mes. Entonces, la restricción queda de la siguiente manera:

$$12W_t - O_t \geq 0 \text{ _ para } t = 1, \dots, 6 \quad (4.3.8)$$

**Inventario de Seguridad:** Es deseo de la gerencia mantener un inventario en cada periodo para evitar faltantes debido a incrementos o imprevistos en la demanda pronosticada. Entonces, en cada periodo será necesario mantener un inventario mayor o igual que al 10% de la demanda pronosticada.

$$I_t \geq 0,10 \times D_t \text{ _ para } t = 1, \dots, 6 \quad (4.3.9)$$

**No negatividad:** Esta restricción es necesaria puesto que ninguna variable que se considera en el modelo puede ser negativa.

$$W_t, S_t, P_t, I_t, O_t, H_t, L_t \geq 0 \text{ _ para } t = 1, \dots, 6 \quad (4.3.10)$$

Una vez definidas las restricciones, se procede a resolver el modelo de programación lineal con la ayuda del programa Solver, que es parte de Microsoft Excel. A continuación se presenta el resumen del modelo:

$$\text{Min}Z = \sum_{t=1}^6 310W_t + \sum_{t=1}^6 1,86O_t + \sum_{t=1}^6 360H_t + \sum_{t=1}^6 708,50L_t + \sum_{t=1}^6 1,21I_t + \sum_{t=1}^6 1,50S_t + \sum_{t=1}^6 1,01P_t$$

Sujeto a:

- $34.838,73W_t + 74,70O_t - P_t \geq 0$  \_ para  $t = 1, \dots, 6$
- $W_t - W_{t-1} - H_t + L_t = 0$  \_ para  $t = 1, \dots, 6$   
donde  $W_0 = 9$
- $I_{t-1} + P_t - D_t - S_{t-1} - I_t + S_t = 0$  \_ para  $t = 1, \dots, 6$   
donde  $I_0 = 28.204,7; S_0 = 0$
- $12W_t - O_t \geq 0$  \_ para  $t = 1, \dots, 6$
- $I_t \geq 0,10 \times D_t$  \_ para  $t = 1, \dots, 6$
- $W_t, S_t, P_t, I_t, O_t, H_t, L_t \geq 0$  \_ para  $t = 1, \dots, 6$

En la **Tabla No. 24** se muestra el plan agregado que se obtuvo para la planta de INGALCROM, y en el ANEXO No. 8 se muestra la formulación del problema de programación lineal que se realizó en Excel® para obtener el plan agregado de producción.

**Tabla No. 24: Plan Agregado para la Producción de INGALCROM**

Periodo	Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt	Demanda
0	0,00	0,00	9,00	0,00	28.204,70	0,00	0,00	0,00	
1	0,00	7,00	2,00	0,00	1.680,88	0,00		16.808,81	43.332,63
2	0,00	0,00	2,00	0,00	4.643,10	0,00		46.431,02	43.468,80
3	0,00	0,00	2,00	0,00	4.329,10	0,00		43.290,95	43.604,96
4	0,00	0,00	2,00	0,00	4.379,11	0,00		43.791,15	43.741,13
5	0,00	0,00	2,00	0,00	4.388,69	0,00		43.886,86	43.877,29
6	0,00	0,00	2,00	0,00	4.402,75	0,00		44.027,53	44.013,46

Ganancia = 115273,424

En este plan agregado se observa que la mayoría del inventario inicial se lo ocupa en el primer periodo, para luego en el segundo periodo producir por encima de la demanda requerida para mantener el stock de seguridad. En base a esta observación, se analiza la opción de cambiar la restricción (4.3.9) por la restricción (4.3.11) en el modelo para reducir el inventario inicial gradualmente en cada periodo de planeación. El objetivo de esta nueva restricción es bajar los niveles de inventario de forma progresiva hasta llegar a obtener un inventario de seguridad determinado en el último periodo de planificación. El plan que se obtuvo se lo muestra en la **Tabla No. 25**.

**Nueva restricción Inventario:**

$$P_t \geq 38.973 \text{ para } t = 1, \dots, 6 \quad (4.3.11)$$

**Tabla No. 25: Plan Agregado para la producción – alternativa 2**

Periodo	Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt	Demanda
0	0,00	0,00	9,00	0,00	28.204,70	0,00	0,00	0,00	
1	0,00	7,79	1,21	0,00	23.845,07	0,00		38.973,00	43.332,63
2	0,00	0,00	1,21	0,00	19.349,27	0,00		38.973,00	43.468,80
3	0,00	0,00	1,21	0,00	14.717,31	0,00		38.973,00	43.604,96
4	0,00	0,00	1,21	0,00	9.949,18	0,00		38.973,00	43.741,13
5	0,00	0,00	1,21	0,00	5.044,89	0,00		38.973,00	43.877,29
6	0,00	0,00	1,21	0,00	4,43	0,00		38.973,00	44.013,46
								Ganacia =	61091,8932

En este segundo plan se puede observar cómo el inventario inicial no se consume todo en el primer periodo, y se lo va utilizando gradualmente en cada periodo. Además, la cantidad de producción se reduce y es constante para cada periodo. Sin embargo, la ganancia total también se reduce de 115.000 a 61000 aproximadamente, y esto se debe a los altos costos de inventario. Entonces, se concluye que el primer plan agregado de producción es el más conveniente puesto que existe la capacidad para producir más en cada periodo de planeación y produce mayores ganancias.

**4.3.3 Resultados de la Planificación Agregada**

El plan agregado de producción escogida muestra los siguientes resultados:

1. La cantidad de producción en cada periodo de planeación será casi igual a la demanda del mismo periodo, con excepción del primer y segundo periodo.
2. Para inicio del periodo 1, se deberá despedir a 7 empleados, para mantener el resto de tiempo con 2 empleados.
3. En cada periodo se mantendrá un inventario de seguridad aproximado de 4.000 kg.
4. Finalmente, según el plan no es necesario mantener inventario durante el resto del horizonte de planeación, no habrá faltantes, ni tampoco horas extras.

### Análisis de los Resultados:

El plan agregado de producción obtenido parece simple a primera vista, sin embargo hay ciertas consideraciones que se deben tomar en cuenta para entender los resultados que se consiguieron con el modelo matemático.

En primer lugar, con los cálculos de capacidad de la fábrica se puede notar que ésta supera significativamente a la demanda de cada periodo. El modelo que se utiliza para realizar el plan agregado de producción no considera la capacidad real de la fábrica sino la capacidad potencial, es decir, el modelo toma en cuenta todos los recursos, máquinas y personal disponible en la fábrica para generar el plan de producción. Por ejemplo, actualmente no se utiliza todas las máquinas de PVC para la producción de empaques, sin embargo, se debe considerar estas máquinas en el modelo puesto que son parte de la capacidad de la fábrica.

En la sección 4.3 se mencionó que la producción dependía mayoritariamente de la velocidad de las máquinas y no de las personas; sin embargo, el modelo requiere que la capacidad se la exprese en términos de los trabajadores; por ejemplo, en este caso se necesitaba obtener cuántos kilogramos de producto tiene la capacidad de producir un trabajador en un mes o en una hora. Debido a este requerimiento, se transformó la capacidad en horas-máquina a horas-trabajador. Por lo tanto, cuando el plan obtenido sugiere que se despidan 7 trabajadores, no necesariamente implica que hay siete trabajadores de sobra, sino más bien este resultado indica que existe más capacidad de la requerida, principalmente en la cantidad de máquinas que se disponen en la fábrica.

No obstante, este resultado requiere de un análisis más profundo porque según el plan agregado de producción, la relación de capacidad sobrante es de 7 a 9, es decir existe 77,7% de capacidad sin utilizar, y este es un indicar que no refleja la realidad en su totalidad. Es verdad que no todas las máquinas disponibles funcionan el 100% del tiempo, incluso hay algunas que no se utilizan por meses, sin embargo existen otros factores que influyen en este resultado, los cuales son:

- No existe un sistema de información que asegure que todas las ventas sean registradas: Durante la ejecución del proyecto se pudo constatar que la



forma de registrar las ventas es susceptible a errores y pérdida de información puesto que ésta se la realiza a mano en su mayor parte. Además existen ventas ocasionales de materiales o sub-productos que no se incluyen en la demanda total del producto respectivo. Por ejemplo, en las ventas de cintas de polietileno no se considera ciertas ventas de rollos enteros de polietileno, donde cada rollo representa aproximadamente 120 cintas.

- Fabricación de otros productos: Existen otros productos plásticos que se producen en la fábrica y que no están considerados en este análisis por no disponer información histórica sobre la venta estos productos. Como resultado de esta situación, existe tiempo tanto de las máquinas como de la mano de obra que no se considera en el análisis. Por ejemplo, en las máquinas de empaques de PVC, se produce un material que se lo utiliza para la fabricación de suelas de zapatos.

En consecuencia, al no disponer de mayor información real que facilite obtener un plan adecuado de producción para la fábrica de INGALCROM, el resultado obtenido no será tan efectivo para la planificación de su producción. Sin embargo, se procederá con el resto del análisis puesto que con esta base y la implementación de un buen sistema de información se podrá en un futuro cercano hacer un uso real de esta metodología para planificar y controlar la producción en la fábrica de INGALCROM.

## 5. PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES

### 5.1 Desagregación del Plan Agregado

La desagregación de un plan agregado es importante puesto que en la mayoría de fábricas no es posible llevar a cabo una producción simultánea de todos los productos que se incluyeron en la planificación. (Elsayed, 139) Esto ocurre especialmente cuando los diferentes productos comparten la misma línea de producción o las mismas estaciones de trabajo. Por ejemplo, la desagregación es necesaria cuando para producir un producto B es necesario parar la producción del producto A y realizar el respectivo cambio de materiales, configuración de las máquinas, etc. (Elsayed, 139). No obstante, este no es el caso de la planta de producción de INGALCROM puesto que cada producto analizado tiene su propia línea de producción. Es decir, se puede producir los zunchos, los empaques de PVC y las cintas de polietileno al mismo tiempo. Por lo tanto, la desagregación en este caso no requiere de la aplicación de un modelo de optimización que reduzca el número de cambios de producción, sino simplemente se desagregará la producción a través de dividir proporcionalmente la cantidad obtenida en el plan para los tres tipos de productos.

Cada periodo de planeación tiene su pronóstico de demanda para cada producto, los cuales fueron sumados para agregar la demanda. Con esta información, que se encuentra en la

**Tabla No. 21**, se obtiene la proporción para desagregar la producción dividiendo la demanda de cada producto para la demanda agregada. En la **Tabla No.26** se muestra el resumen de las proporciones para cada producto y para cada periodo de planeación.

**Tabla No.26: Cuadro de Proporciones para Desagregar el Plan de Producción**

Proporción para Desagregar					
No.	Periodo Planificación	Producto			Producción Planificada
		Zuncho (kg)	Empaque PVC (kg)	Cintas Polietileno (kg)	
1	ago-09	0,48	0,41	0,11	16.808,81
2	sep-09	0,48	0,41	0,11	46.431,02
3	oct-09	0,47	0,41	0,12	43.290,95
4	nov-09	0,47	0,41	0,12	43.791,15
5	dic-09	0,47	0,41	0,12	43.886,86
6	ene-10	0,47	0,41	0,12	44.027,53

Entonces, para obtener el plan maestro de producción de los productos finales (Zunchos, Empaques PVC y Cintas de Polietileno), se debe multiplicar la producción planificada por el factor de proporción de cada periodo. En la **Tabla No. 27** se muestra el Plan Maestro de Producción de los productos finales.

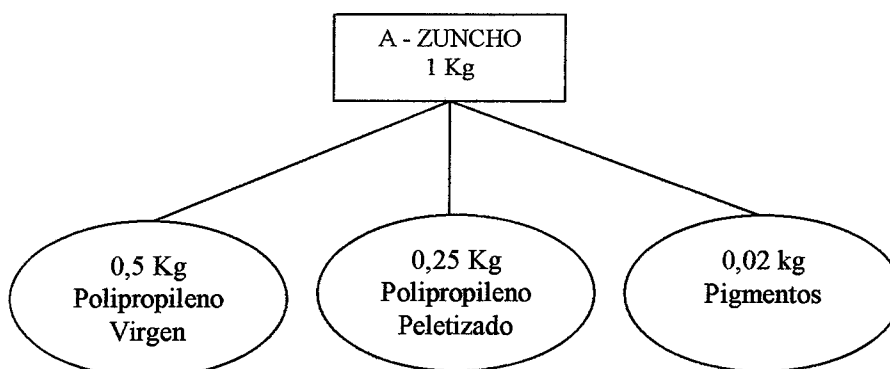
**Tabla No. 27: Plan Maestro de Producción**

Producto	Producción en cada Periodo (kg)					
	ago-09	sep-09	oct-09	nov-09	dic-09	ene-10
Zunchos	8.021,88	22.089,44	20.531,25	20.703,82	20.684,68	20.686,78
Empaques PVC	6.947,20	19.130,15	17.780,71	17.930,16	17.913,59	17.915,41
Cintas Polietileno	1.839,73	5.211,43	4.979,00	5.157,17	5.288,59	5.425,34

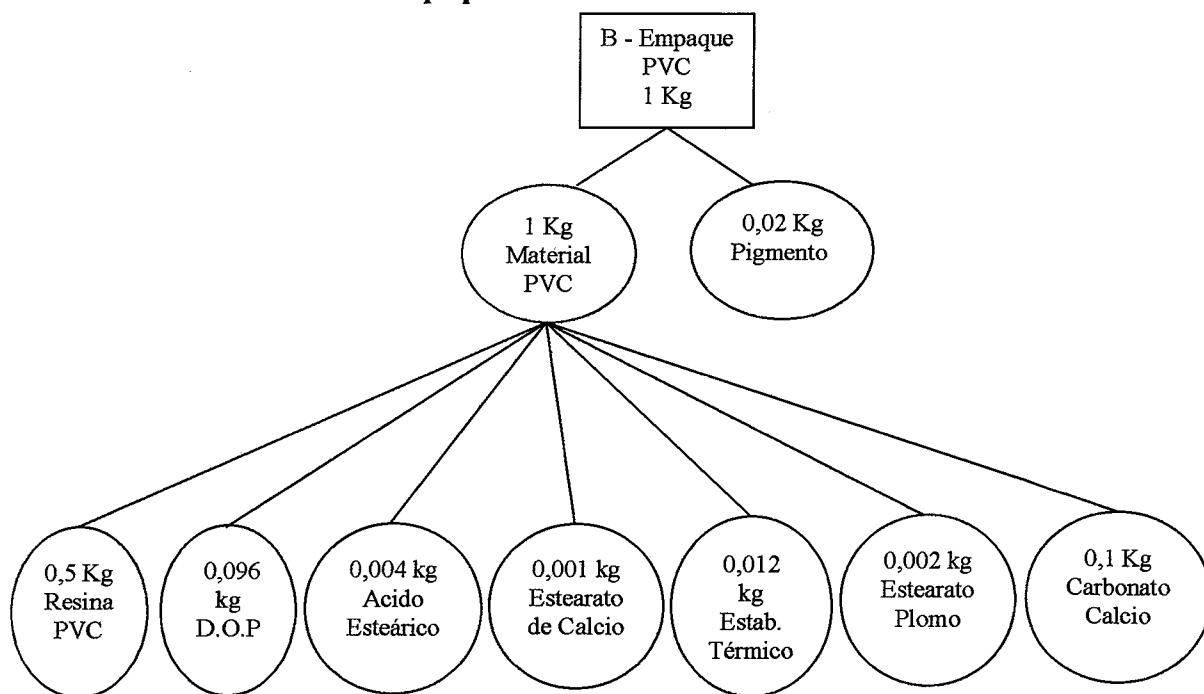
## 5.2 Requerimientos de la Explosión de Partes

Una vez determinado el plan maestro de producción, el análisis de la planificación de la producción se debe dirigir hacia el problema de producir u obtener ensambles, partes, componentes, materia prima, etc. de tal forma que la producción de productos finales se consiga conforme al plan antes mencionado. Por lo tanto, lo primero que se necesita realizar es convertir eficientemente el plan de maestro de producción en requerimientos de partes o ensambles que pueden ser comprados o producidos; y a esto se le conoce como el desarrollo de la *Explosión de Partes*. (Elsayed, 181) Para esto se realiza una Lista de Materiales (BOM), la cual especifica las partes o ensambles que contiene un producto final. Entonces, en los Gráficos No. 18, 19 y 20 se muestra la estructura del BOM para el zuncho, el empaque de PVC y la cinta de polietileno respectivamente:

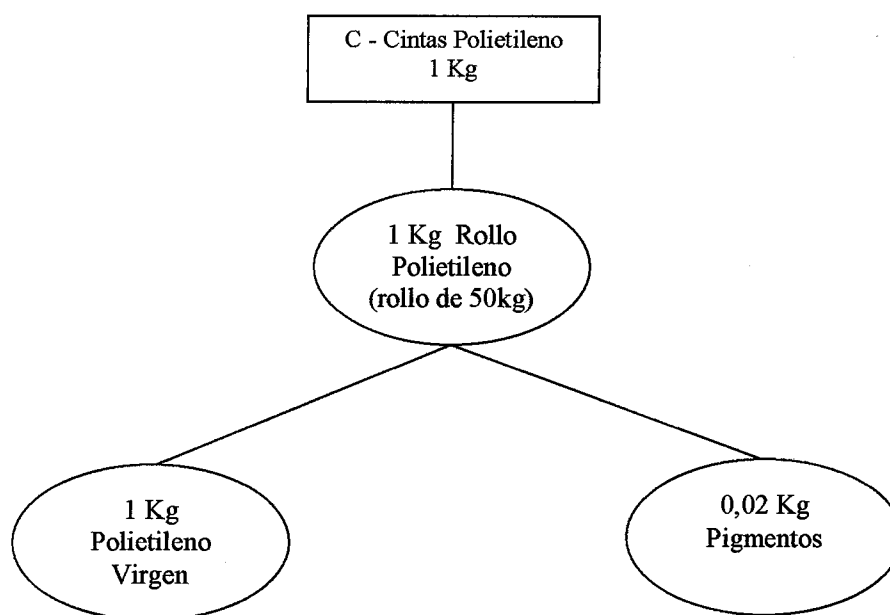
**Gráfico No. 18: BOM: Zunchos**



**Gráfico No. 19: BOM: Empaques de PVC**



**Gráfico No. 20: BOM: Cintas de Polietileno**



En la Lista de Materiales también es importante identificar el nivel que ocupa cada material en la formación de los productos finales. En este caso, solo se tienen dos niveles que son: El Nivel 1 que son los materiales que se producen dentro de la

fábrica, y el Nivel 2 que está formado por la materia prima que es abastecida por diferentes proveedores. En la **Tabla No. 28** se muestra muestra la matriz del BOM en la cual se puede identificar a los materiales en sus respectivos niveles.

**Tabla No. 28: Matriz de la Lista de Materiales (BOM)**

	Productos Finales			Nivel 1		Nivel 2												
	A	B	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
A - Zunchos						0,5	0,25	0,02										
B - Empaques PVC				1				0,02										
C - Cintas Polietileno					1													
1 - Material PVC									0,5	0,096	0,004	0,001	0,012	0,002	0,1			
2 - Rollos Polietileno								0,02									1	
3 - Polipropileno V.																		
4 - Polipropileno P.																		
5 - Pigmentos																		
6 - Resina																		
7 - DOP																		
8 - Ácido estearico																		
9 - Estereato Calcio																		
10 - Estab. Térmico																		
11 - Estereato Plomo																		
12 - Carbonato Calcio																		
13 - Polietileno Virgen																		

Las filas de la matriz indican como están constituidos los productos o ensamblés. En cambio las columnas de la matriz señalan como es utilizado cada elemento de las lista de materiales (Elsayed, 182). Por ejemplo, en la primera fila se observa que el producto A está constituido por los componentes 3, 4 y 5. Por otro lado, en la columna 5 del nivel 2 se observa que tal componente es utilizado en el producto A, en el producto B, y en el subensamble 2. Este componente representa al pigmento, y es el único en la matriz que se utiliza en varios productos. El resto de materia prima o componentes se los utiliza en un solo producto.

### 5.3 Planificación de Requerimientos de Materiales

El sistema de planificación de requerimientos de materiales determina las necesidades de todos los componentes para cada artículo final de acuerdo a la información obtenida en el plan maestro de producción y en la lista de materiales (Salvendy, 651). En consecuencia, es necesario calcular la demanda total para cada componente en cada periodo de planeación. La demanda de los ensamblés o materia prima es dependiente de la demanda de los tres productos finales A, B y C. Solo en el caso de los rollos de polietileno, que es un sub-ensamble de las cintas de polietileno, tiene una parte de su demanda independiente; sin embargo, como no existen los registros de estas ventas, no se tomará en cuenta esa demanda.

Para obtener los requerimientos totales de cada componente se va a multiplicar la cantidad que figura en la lista de materiales por la cantidad que se va a producir en cada periodo y que está especificado en el plan maestro de producción. Esta operación es simple para la mayoría de componentes puesto que casi todos solo pertenecen a un producto final. Solo en el caso de los pigmentos se deberá realizar una suma producto de la cantidad requerida para cada producto final en cada periodo. Sin embargo, cabe señalar que existen métodos más especializados cuando la cantidad de ensambles y partes es bien grande para estar multiplicando de uno en uno. Por ejemplo, Elsayed (1994) propone un sistema de operaciones entre matrices para obtener los requerimientos totales y parciales de cualquier material. En la **Tabla No. 29** se muestra los requerimientos totales para cada producto final, para cada componente, y en cada periodo de planeación.

**Tabla No. 29: Requerimientos Totales**

Productos Finales / Componentes	REQUERIMIENTOS TOTALES					
	Periodo de Planeación					
	1	2	3	4	5	6
A - Zunchos	8.021,88	22.089,44	20.531,25	20.703,82	20.684,68	20.686,78
B - Empaques PVC	6.947,20	19.130,15	17.780,71	17.930,16	17.913,59	17.915,41
C - Cintas Polietileno	1.839,73	5.211,43	4.979,00	5.157,17	5.288,59	5.425,34
1 - Material PVC	6.947,20	19.130,15	17.780,71	17.930,16	17.913,59	17.915,41
2 - Rollos Polietileno	1.839,73	5.211,43	4.979,00	5.157,17	5.288,59	5.425,34
3 - Polipropileno V.	4.010,94	11.044,72	10.265,62	10.351,91	10.342,34	10.343,39
4 - Polipropileno P.	2.005,47	5.522,36	5.132,81	5.175,96	5.171,17	5.171,70
5 - Pigmentos	336,18	928,62	865,82	875,82	877,74	880,55
6 - Resina	3.473,60	9.565,08	8.890,35	8.965,08	8.956,79	8.957,70
7 - DOP	666,93	1.836,49	1.706,95	1.721,30	1.719,70	1.719,88
8 - Ácido estearico	27,79	76,52	71,12	71,72	71,65	71,66
9 - Estereato Calcio	6,95	19,13	17,78	17,93	17,91	17,92
10 - Estab. Térmico	83,37	229,56	213,37	215,16	214,96	214,98
11 - Estereato Plomo	13,89	38,26	35,56	35,86	35,83	35,83
12 - Carbonato Calcio	694,72	1.913,02	1.778,07	1.793,02	1.791,36	1.791,54
13 - Polietileno Virgen	1.839,73	5.211,43	4.979,00	5.157,17	5.288,59	5.425,34

Adicionalmente, para generar la planificación de requerimientos de materiales es necesario tener información acerca del estado actual del inventario y los tiempos de reposición de todos los componentes que se mencionan en la lista de materiales (Elsayed, 191). Entonces, en la **Tabla No. 30** se resume este último requerimiento:

**Tabla No. 30: Estado del Inventario y Tiempos de Reposición**

ESTADO ACTUAL DEL INVENTARIO Y TIEMPOS DE REPOSICIÓN EN PRODUCCIÓN			
Nivel	Item	Inventario	Tiempo de Reposición
0	Zunchos	0 kg	1 día
0	Empaques de PVC	0 kg	2 días
0	Cintas de Polietileno	0 kg	1 día
1	Material PVC	0,00 kg	1 día
1	Rollos Polietileno	588,50 kg	2 días
2	Polipropileno Virgen	800,00 kg	2 días
2	Polipropileno Peletizado	10.000,00 kg	1 día
2	Pigmentos	400 kg	1 día
2	Resina	3.100,00 kg	2 días
2	D.O.P.	2.600,00 kg	2 días
2	Ácido Esteárico	25,00 kg	2 días
2	Esterato de Calcio	50,00 kg	2 días
2	Estabilizante Térmico	100,00 kg	2 días
2	Esterato de Plomo	500,00 kg	2 días
2	Carbonato de Calcio	1.500,00 kg	2 días
2	Polietileno	4.000 kg	2 días

Una característica importante que se debe destacar de la información expuesta en la **Tabla No. 30** son los tiempos cortos de reposición de todos los materiales, tanto productos finales como materia prima. El gerente general de INGALCROM explica que es fácil salir de apuros cuando un proveedor no tiene un cierto material, debido a que existe una gran variedad de proveedores en esta industria que tienen la capacidad de abastecer rápidamente de cualquier producto. Por esta razón los tiempos de reposición no sobrepasan los 2 días. Sin embargo, la decisión de abastecerse rápidamente con cualquier proveedor no siempre resulta rentable puesto que los precios de los materiales pueden aumentar considerablemente. Por otro lado, el inventario inicial de los tres productos finales es cero debido a que en el cálculo de la planificación agregada, el modelo matemático ya consideró este inventario para suplir parte de demanda del primer periodo. Es por esta razón, que el primer periodo tiene una cantidad de producción menor en comparación del resto.

Además, antes de empezar a desarrollar la planificación de requerimientos de materiales, es importante conocer los elementos de esta herramienta (Bedworth, 170). En el **Gráfico No. 21** se muestra los elementos de un sistema MRP. A continuación, se explicará brevemente cada uno de ellos:

- **Necesidades Brutas (NB):** En el caso de productos finales, este elemento representa la cantidad de producción que se obtuvo en el plan maestro de producción; y con respecto a los materiales de niveles inferiores, las necesidades brutas representan las cantidades necesarias en cada periodo para asegurar el cumplimiento del plan maestro de producción. (Bedworth, 170)
- **Recepciones Programadas (RP):** Este elemento se refiere a órdenes que se programaron recibir en planificaciones anteriores. (Bedworth, 170)
- **Disponible proyectado (DP):** Es el número de artículos o productos en el inventario al inicio del periodo. Esta cantidad se la puede encontrar con la siguiente fórmula (Bedworth, 171):
 
$$(DP)_t = (DP)_{t-1} - (NB)_{t-1} + (RP)_{t-1} \quad (5.3.1)$$
- **Necesidades Netas (NN):** Este elemento indica la cantidad real que se necesita recibir o producir en un periodo en particular. La fórmula para este elemento es la siguiente (Bedworth, 171):
 
$$(NN)_t = (NB)_t - (RP)_t - (DP)_t \quad (5.3.2)$$
- **Recepciones de pedido planificado:** Este elemento representa la cantidad de artículos que deben ser recibidos o producidos para el final del periodo. (Bedworth, 171)
- **Lanzamiento de pedido planificado:** Este elemento señala cuando la requisición de compra o la orden de producción debe ser puesta para que llegue en el tiempo correcto. (Bedworth, 172)

**Gráfico No. 21: Elementos de un MRP**

<b>PROGRAMA MAESTRO DE PRODUCCION</b>			
<b>PERIODO</b>		<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Necesidades Brutas</b>		35	30
<b>Recepciones Programadas</b>		0	
<b>Disponible Proyectado</b>		35	0
<b>Necesidades Netas</b>			30
<b>Recepciones de Pedido Planif.</b>			30
<b>Lanzamiento de Pedido Planif.</b>		30	40



Los periodos de tiempo en el horizonte de planeación son claves para obtener un sistema MRP adecuado a las necesidades de la planta. Según Elsayed (1994), el horizonte de planeación debe ser dividido en intervalos de tiempo ya sea semanales, bisemanales, mensuales, etc. dependiendo del tiempo de reposición y el nivel de control que se desee implementar en la fábrica. Bethworth (1987) menciona que la práctica más común en la industria es usar periodos de una semana.

Hasta ahora, el análisis de planeación ha utilizado periodos de un mes. Sin embargo, si se toma en cuenta todos los factores mencionados anteriormente y el hecho de que el tiempo de reposición de los productos y componentes es igual o menor a 2 días, mantener un periodo tan grande de un mes no es factible para esta planificación. En consecuencia, el horizonte de planeación se dividirá en semanas, bajo las suposiciones que la demanda durante todo el mes es proporcional y equivalente. Además, se va a asumir que los tiempos de reposición para todos los productos y componentes son de máximo una semana.

Finalmente, el sistema planeación MRP requiere que se determine el tamaño del lote cada vez que exista un requerimiento de cualquier producto, componente o material (Elsayed, 194). La cantidad que se pone en el elemento *Lanzamiento de Pedido Planificado* del MRP no está determinada exclusivamente en función de las necesidades netas de materiales, sino que se debe tomar en cuenta otros factores como la disponibilidad de recursos, limitaciones de espacio para almacenamiento, economía de escalas, entre otras. No obstante, la determinación del tamaño del lote se la hace normalmente en función de minimizar los costos los costos con respecto a poner pedidos y manejar inventarios. (Salvendy, 657)

Según Salvendy (2007) existen otros factores adicionales que deben ser analizados para determinar el tamaño del lote, los cuales son:

- La variabilidad de la demanda
- El horizonte de planeación
- La duración del periodo de planeación
- La razón entre los costos de preparación de una orden y de manufactura por unidad.

En el caso de la fábrica de INGALCROM, la variabilidad de la demanda es moderada en la mayor parte de tiempo, aunque en ciertos momentos esta puede variar drásticamente. Esto se puede observar en los Gráficos No. 9, 10 y 11, donde se grafica la demanda de los tres productos con respecto al tiempo. Esta característica dificulta la determinación del tamaño de lote para métodos que asumen que la demanda es constante. Además, el horizonte de planeación no es tan extenso (6 meses) y la duración de los periodos son cortos (1 semana), lo cual ayuda a que la incertidumbre con respecto a la cantidades de producción pronosticada no sea tan elevada.

Finalmente se va a comparar los costos de poner una orden con los costos de manufactura por unidad. El costo de poner una orden se calculó en la sección 4.2, es de 20,83 dólares por orden colocada. Por otro lado, en la sección 4.3 se obtuvo que el costo promedio de la materia prima es igual a \$ 1,01 dólares, y en consecuencia, el costo por mantener inventario no es elevado. Esta relación indica que puede ser más óptimo poner menor cantidad de órdenes de pedidos y mantener mayores cantidades de inventario; sin embargo, existe un factor adicional, que es la disponibilidad de espacio para inventario, que se contrapone con el análisis anterior. Actualmente, las bodegas de INGALCROM están bastante llenas, por lo que no existe una capacidad alta para soportar pedidos de material grandes.

Los métodos más conocidos para determinar el tamaño del lote son la cantidad económica de pedido, lote fijo, o lote por lote. En la **Tabla No. 31** se presenta una descripción que hace Salvendy (2007) para algunos métodos para determinar el tamaño del lote con MRP.

El sistema MRP para INGALCROM incluye productos finales, componentes y materia prima. Los productos finales y componentes se fabrican directamente en la fábrica, por lo que en el caso de estos materiales es necesario colocar una orden de producción, y el costo de colocar estas órdenes es bajo debido a que se las hace internamente (Gustavo Martínez, Supervisor de Producción). Por esta razón, se escogerá la técnica lote por lote para los productos finales y los componentes.

**Tabla No. 31: Determinación del tamaño del lote con MRP**

<b>Técnica</b>	<b>Descripción</b>	<b>Aplicabilidad en MRP</b>	<b>Comentario</b>
Lote Económico	El lote que minimiza el costo total de ordenar y manejo de inventario. Este modelo se basa en el supuesto de una demanda continua y estable	Poca Aplicabilidad	Ineficaz de modo general en un sistema MRP, puesto que la demanda asociada con esta clase de sistemas, implica conjuntos discretos de material requerido.
Lote Fijo	Un lote especificado previamente para el sistema. La cantidad se puede basar arbitrariamente o con base en la intuición o en factores empíricos.	Mediana Aplicabilidad	
Lote por lote	Los componentes se piden periodo por periodo en las cantidades exactas especificadas por las necesidades netas.	Gran Aplicabilidad	Puede ser sumamente eficaz cuando los costos de ordenar son bajos.
Necesidades de periodo fijo	El usuario especifica anticipadamente cuántos periodos cubrirá cada periodo planeado.	Mediana Aplicabilidad	Útil cuando las necesidades después de un periodo específico son inciertas.
Lote para periodos	Igual que el método anterior, el usuario ordena lo necesario para cubrir un número específico de periodos. Sin embargo, el número de periodos se determina calculando primero el EOQ, y luego el número de pedidos por año, con base en un pronóstico de la demanda actual	Gran Aplicabilidad	Aplica la lógica clásica del lote económico, modificada para hacer frente a la demanda discreta.
Algoritmo de Wagner-Whitin	Aplica un modelo de programación dinámica a fin de determinar la estrategia óptima de pedidos para todo el programa de necesidades netas	Poca Aplicabilidad	Un tanto complejo para la mayoría de las aplicaciones MRP, Exige cálculos muy extensos.

Fuente: (Salvendy, Manual de Ingeniería Industrial, Pág. 660)

Con respecto a la materia prima, todos estos materiales se compran externamente, y en consecuencia necesitan de una orden de compra. En esta misma sección, se observó que el costo de ordenar supera significativamente al costo de mantener inventario; por lo tanto, se necesita de un método que analice la opción de hacer compras acumuladas para varios periodos y que al mismo tiempo minimice estos costos. Según estas características, de todas las técnicas descritas en la Tabla No. 30, el método de Lote para periodos es el que mejor se ajusta a esta situación.

Entonces, se comenzará calculando el lote económico (EOQ) para cada materia prima que consta en la lista de materiales (BOM).

El EOQ asume que la tasa de producción es infinita y que los faltantes no están permitidos. Estas condiciones se cumplen de cierta forma según el plan agregado de producción que se obtuvo en la sección 4.3 puesto que la capacidad de producción de la fábrica era aproximadamente 4 veces mayor que la demanda, y tampoco había faltantes permitidos en este plan. La fórmula de del EOQ es la siguiente (Elsayed, 73):

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{iC}} \quad (5.3.1)$$

Donde,

$Q^*$  = Cantidad de orden óptima

A = Costo fijo de ordenar

D = Demanda

i = Cargo anual por manejo de inventario

C = Precio de compra por unidad.

El costo fijo de ordenar se lo calculó en la sección 4.2 y es igual a \$ 20,83 dólares. De la igual forma, en la misma sección se obtuvo el cargo anual por manejo de inventario (Tabla No. 17), el cual es del 27%. La demanda de cada producto se la obtiene de la Tabla No. 28, y el precio de cada material está especificado en la Tabla No. 20. A continuación se presentará los cálculos para el primer material, y luego en la **Tabla No. 32** se presenta un resumen del tamaño de lote para toda la materia prima:

Polipropileno Virgen:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2(20,83)(112.717,85)}{(0,27)(1,45)}} = 3.463,3kg$$

$$\# \text{ pedidos } \_ \text{ por } \_ \text{ año} = \frac{D}{Q^*} = \frac{112.717,85}{3.463,3} = 32,5 \_ \text{ pedidos}$$

$$\# \_ \text{ periodos } \_ \text{ planeación } \_ \text{ anual} = 52 \_ \text{ periodos}$$

$$\text{Intevalo } \_ \text{ entre } \_ \text{ pedidos} = \frac{52}{32,5} = 1,6 \approx 2 \_ \text{ periodos / pedido}$$

Entonces, este resultado indica que el tamaño del pedido se lo determina de tal forma que cubra la demanda para 2 periodos.

**Tabla No. 32: Determinación tamaño Lote – Lote para Periodos**

Materia Prima	Demanda Anual	Costo Unit.	EOQ	No. Pedidos por año	Intervalo entre pedidos	No. Periodos
Polipropileno V.	112.717,85	1,45	3.463,30	32,55	1,60	2
Polipropileno P.	56.358,92	1,00	2.948,89	19,11	2,72	3
Pigmentos	9.529,45	4,50	571,62	16,67	3,12	3
Resina	97.617,21	1,25	3.471,25	28,12	1,85	2
DOP	18.742,51	1,70	1.304,27	14,37	3,62	4
Ácido estearico	780,94	2,30	228,89	3,41	15,24	15
Estereato Calcio	195,23	3,50	92,77	2,10	24,71	25
Estab. Térmico	2.342,81	3,30	330,97	7,08	7,35	7
Estereato Plomo	390,47	1,20	224,07	1,74	29,84	30
Carbonato Calcio	19.523,44	0,21	3.787,44	5,15	10,09	10
Polietileno Virgen	55.802,52	1,05	2.863,58	19,49	2,67	3

Una vez definidos estos parámetros, se procede a elaborar la planificación de requerimiento de materiales. En la **Tabla No. 33**, que es una parte del MRP completo, se muestra la planificación de los primeros periodos. La planificación completa de todos los productos y componentes para todos los periodos de planeación se puede observar en el ANEXO No. 9.

**Tabla No. 33: MRP - INGALCROM**

MRP		JULIO		AGOSTO				SEPTIEMBRE	
		-1	0	1	2	3	4	5	6
<b>Zunchos</b>	Requerimientos totales			2.005,47	2.005,47	2.005,47	2.005,47	4.417,89	4.417,89
	Orden planeada recepcion			2.005,47	2.005,47	2.005,47	2.005,47	4.417,89	4.417,89
	LT=1		0	0	0	0	0	0	0
	Requerimientos netos			0	0	0	0	0	0
	Orden planeada asignacion		2.005,47	2.005,47	2.005,47	2.005,47	4.417,89	4.417,89	4.417,89
<b>Empaque PVC</b>	Requerimientos totales			1.736,80	1.736,80	1.736,80	1.736,80	3.826,03	3.826,03
	Orden planeada recepcion			1.736,80	1.736,80	1.736,80	1.736,80	3.826,03	3.826,03
	LT=1		0	0	0	0	0	0	0
	Requerimientos netos			0	0	0	0	0	0
	Orden planeada asignacion		1.736,80	1.736,80	1.736,80	1.736,80	3.826,03	3.826,03	3.826,03
<b>Cintas Polietileno</b>	Requerimientos totales			459,93	459,93	459,93	459,93	1.042,29	1.042,29
	Orden planeada recepcion			459,93	459,93	459,93	459,93	1.042,29	1.042,29
	LT=1		0	0	0	0	0	0	0
	Requerimientos netos			0	0	0	0	0	0
	Orden planeada asignacion		459,93	459,93	459,93	459,93	1.042,29	1.042,29	1.042,29

Es importante resaltar que los periodos de Julio que aparecen en la **Tabla No. 33** del MRP de INGALCROM se deben a que existe un requerimiento de producto final en el primer periodo del mes de agosto, y al no disponer de inventario, es necesario comenzar a fabricar los componentes o comprar la materia prima antes de este primer periodo.

## 6. CREACIÓN DE MRP EN EXCEL®

### 6.1 Sistema de Información para Pronóstico de Demanda

En el transcurso de la investigación, hubo un cierto nivel de dificultad para obtener la información necesaria para pronosticar la demanda. Esto se debe principalmente a que no existe un sistema claro y estándar para ingresar las ventas diarias que se realizan de cada tipo de producto. El Gerente de INGALCROM maneja un cuadro Excel donde se ingresan las ventas individuales de cada producto, sin embargo, este formato no le permite obtener información rápida de ventas totales. Además, no considera las ventas de todos los productos y los sub-productos que se manejan en la fábrica, por lo que existe gran incertidumbre sobre el valor total de las ventas.

La eficacia de un sistema MRP depende directamente del pronóstico que se obtiene de la demanda de cada producto. Si el pronóstico se lo realiza de información que no es exacta (ventas), entonces el MRP arrojará resultados erróneos, y por ende, provocará que las compras o las órdenes de producción se realicen a destiempo, y a su vez esto provocará incrementos en el inventario, tiempos muertos de producción, mayor nivel de faltantes, entre otros problemas. (Bedworth, 161)

Por esta razón, se decidió iniciar creando una hoja Excel que resuelva este primer inconveniente. El objetivo es tener un formato que sea fácil de utilizar, donde se puede ingresar las ventas diarias de manera rápida, y que este enfocado en generar información para elaborar los pronósticos eficientemente. Dentro del archivo de Excel, el nombre de esta hoja es *Ventas Diarias*. En el **Gráfico No. 22** se muestra una parte de esta hoja y en el ANEXO No. 10 toda la plantilla.

La Hoja de *Ventas Diarias* tiene la capacidad de entregar información inmediata sobre la demanda semanal, mensual, y anual de cada producto en específico, de cada tipo de producto, y de cada grupo de productos. Los tres grupos de productos principales son los Zunchos, los empaques de PVC (Viniles), y los Productos de Polietileno. Dentro de cada grupo existen, varios tipos de productos; por ejemplo, en el grupo de los Zunchos existe el zuncho agrícola y el zuncho paletizado. Finalmente, la mayoría de cada tipo de producto tiene varias

especificaciones; por ejemplo, el zuncho agrícola se lo puede vender en diferentes pesos (10, 9, 8 y 7,5 Kg).

**Gráfico No. 22: Hoja “Ventas Diarias”**

		SEMANA 1							
		1	2	4	5	6	7	8	9
TIPO	PRODUCTO	VIERNE S	SÁBAD O	LUNES	MARTES	MIÉR.	JUEVES	VIERNE S	SÁBAD O
Z U N C H O	Zuncho Agrícola de 10 Kg								
	Zuncho Agrícola de 9 Kg								
	Zuncho Agrícola de 8 Kg								
	Zuncho Agrícola de 7,3 Kg								
	Zuncho Peletizado de 15 Kg								
	Zuncho Peletizado de 12 Kg								
	Zuncho Peletizado de 10 Kg								
V I N I L E S	Viniles Negros de 5 Kg								
	Viniles Negros de 25 Kg								
	Viniles Negros de 100 m								
	Viniles Blancos de 5 Kg								
	Viniles Blancos de 25 Kg								
	Viniles Blancos de 100 m								
	Viniles Gris de 5 Kg								
	Viniles Gris de 25 Kg								
	Viniles Gris de 100 m								
	Viniles Café de 5 Kg								
	Viniles Café de 25 Kg								

as Diarias    Cálculo Pronóstico Zunchos    Cálculo Pronóstico Viniles    Cálculo Pronóstico Cintas    Agre

Con esta información se puede hacer pronósticos de la demanda por semana o por mes. Para el sistema MRP, es mejor obtener un pronóstico para cada semana debido a que la duración del periodo de planeación que mejor se ajusta a las condiciones de la fábrica es una semana (Ver sección 5.3). La hoja de *Ventas Diarias* alimenta a otras tres hojas que calculan los pronósticos de los productos principales. Tanto los zunchos, los empaques de PVC como las cintas de polietileno tienen su propio método de pronóstico, el mismo que se lo determinó en la sección 3. Es importante indicar que el método de pronóstico puede quedar obsoleto conforme avanza el tiempo; por lo tanto, en cada hoja Excel donde se realiza el pronóstico para cada producto se incluyó un gráfico que se le conoce como la “Señal de Rastreo” (*Tracking Signal*), el cual indica la validez del modelo. En el **Gráfico No. 23** se muestra una parte de la hoja *Cálculo Pronóstico Zuncho*, y en el ANEXO No. 11 se muestra el formato completo.

Gráfico No. 23: Hoja "Cálculo Pronóstico Zunchos"

		SE - $\alpha = 0,01$							
Semana	Ventas	$\alpha(X_t)$	$(1 - \alpha) X_{t-1}$	F	E	A	E2	MAD	E/D
1	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
2	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
3	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
4	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
5	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
6	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
7	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
8	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
9	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
10	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
11	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
12	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
13	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
14	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
15	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
16	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
17	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!

Las Diarias    Cálculo Pronóstico Zunchos    Cálculo Pronóstico Viniles    Cálculo Pronóstico Cintas    Agregación

## 6.2 Sistema para Plan Agregado de Producción

Una vez obtenido el pronóstico de la demanda para cada producto, es necesario agregar estos datos para desarrollar el plan agregado de producción. Para lo cual se hará una nueva hoja de Excel con el nombre *Agregación – Desagregación*, donde se obtenga la demanda agregada de cada producto tomando los datos de las hojas *Cálculo Pronóstico* de cada producto. Además, se configurará que el horizonte de planeación sea de 6 meses, por lo tanto, se obtendrá la demanda agregada para 26 periodos de planeación.

Esta información de la demanda agregada a continuación necesita ser introducida en el modelo de programación lineal que se elaboró en la sección 4. Este modelo está desarrollado en una otra hoja Excel (*Modelo Programación Lineal*), la cual se alimentará automáticamente de los datos de que se generen en la Hoja de *Agregación - Desagregación*. Cabe señalar que el modelo también es susceptible a cambios en el futuro. En el caso que cambien los costos de producción, costos de mano de obra, costos de inventarios, capacidad de la planta, las restricciones u otros factores del modelo será necesario hacer las respectivas correcciones. Parte de las hojas de *Agregación - Desagregación* y *Modelo*



*Programación Lineal* se encuentran en el **Gráfico No. 24** y el **Gráfico No. 25** respectivamente. En los ANEXOS No. 12 y 13 se muestra las completas.

**Gráfico No. 24: Hoja “Desagregación y Agregación”**

Pronósticos de la Demanda Agregada					Proporción para Desagregar			
					<h2 style="text-align: center;">AGREGACIÓN - DESAGREGACIÓN</h2>			
Semana	Producto			Demanda	Periodo	Producto		
Pronosticada	Zuncho (kg)	Empaque PVC (kg)	Cintas Polietileno (kg)	Agregada (kg)	Planificación	Zuncho (kg)	Empaque PVC (kg)	Polietileno (kg)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	1	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
2	0,00	0,00	0,00	0,00	2	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
3	0,00	0,00	0,00	0,00	3	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
4	0,00	0,00	0,00	0,00	4	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
5	0,00	0,00	0,00	0,00	5	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
6	0,00	0,00	0,00	0,00	6	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
7	0,00	0,00	0,00	0,00	7	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
8	0,00	0,00	0,00	0,00	8	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
9	0,00	0,00	0,00	0,00	9	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
10	0,00	0,00	0,00	0,00	10	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
11	0,00	0,00	0,00	0,00	11	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
12	0,00	0,00	0,00	0,00	12	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
13	0,00	0,00	0,00	0,00	13	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

**Gráfico No. 25: Hoja “Modelo Programación Lineal”**

Variables de Decisión del Plan Agregado									
Periodo	Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt	Demanda
0	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1									0,00
2									0,00
3									0,00
4									0,00
5									0,00
6									0,00
7									0,00
8									0,00
9									0,00
10									0,00

### 6.3 Sistema para Planeación de Requerimiento de Materiales

El resultado principal del plan agregado de producción es la cantidad que se va a producir en cada periodo de planeación; sin embargo, un MRP necesita esta información desagregada para cada grupo o producto final. Por lo tanto, en la misma hoja *Agregación - Desagregación* se incluirá la desagregación para el plan de producción de acuerdo a lo explicado en la sección 5.1.

Finalmente, se tiene la Hoja de Excel "MRP" donde se elabora todo el sistema de planeación de requerimiento de materiales. Esta hoja se alimenta de la información obtenida en la hoja *Agregación - Desagregación* y de la hoja *Matriz BOM*, en la cual se especifica la lista de materiales con las respectivas cantidades de cada material. El programa calculará automáticamente las necesidades brutas de todos los componentes y materia prima de acuerdo a lo desarrollado en el capítulo 5.3. En el **Gráfico No. 26** y en el **Gráfico No. 27** se muestra una parte de la hoja *Matriz BOM* y *MRP* respectivamente. En el ANEXO No. 14 y 15 se muestran los formatos completos.

**Gráfico No. 26: Hoja "Matriz BOM"**

INGALCROM S.A.		MATRIZ BOM											
BOM	Productos Finales			Nivel 1		Nivel 2							
	A	B	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A - Zunchos						0,5	0,25	0,02					
B - Empaques PVC				1				0,02					
C - Cintas Polietileno					1								
1 - Material PVC									0,5	0,096	0,004	0,001	0,012
2 - Rollos Polietileno								0,02					
3 - Polipropileno V.													
4 - Polipropileno P.													
5 - Pigmentos													
6 - Resina													
7 - DOP													
8 - Ácido estearico													
9 - Estereato Calcio													
10 - Estab. Térmico													

Calculo Pronóstico Cintas Agregación-Desagregación Modelo Programación Lineal Matriz BOM MRP

**Gráfico No. 27: Hoja "MRP"**

INGALCROM S.A.		SISTEMA MRP									
MRP		JULIO			AGOSTO					SEPTIEMBRE	
		-2	-1	0	1	2	3	4	5		
Zunchos	Requerimientos totales				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
	Orden planeada recepción				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
	Inventario esperado				0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
# Per. LZ	Requerimientos netos				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
	Orden planeada asignación				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
Empaque PVC	Requerimientos totales				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
	Orden planeada recepción				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
	Inventario esperado				0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
# Per. LZ	Requerimientos netos				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
	Orden planeada asignación				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
Cintas Polietileno	Requerimientos totales				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
	Orden planeada recepción				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
	Inventario esperado				0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
# Per. LZ	Requerimientos netos				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
	Orden planeada asignación				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
Materia	Requerimientos totales				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	

Calculo Pronóstico Cintas Agregación-Desagregación Modelo Programación Lineal Matriz BOM MRP

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

- En la actualidad, INGALCROM S.A. no planifica la producción de sus tres productos (zunchos, empaques de PVC y cintas de polietileno) en base a un análisis técnico de su demanda. Así mismo, tampoco existe un proceso de planificación organizado y definido para la compra y la producción de materia prima y de componentes que forman parte de estos tres productos finales. La forma de planificar se basa netamente en los pedidos de los clientes.
- El proceso de producción para los tres productos consta casi en su totalidad de las mismas actividades. La mayor parte de actividades dependen directamente de la velocidad de las máquinas, por lo tanto la productividad de este proceso depende más de la maquinaria que la mano de obra.
- La tasa de producción de las cintas de polietileno no está determinada por la máquina que fabrica este producto, como sucede en los otros dos productos. En este caso, la producción depende de una máquina que se encuentra en la estación de trabajo anterior, la cual fabrica un subproducto que es el rollo de polietileno.
- El análisis de valor agregado muestra que el proceso de producción de plásticos tiene una eficiencia superior al 60%. Esto se debe a que el proceso opera la mayor parte del tiempo de forma automática. Sin embargo, este indicador puede ser mejorado si se reducen los paros de producción por cambios en el producto o en sus especificaciones.
- El mejor método de pronóstico para estimar la demanda tanto de los zunchos y los empaques de PVC fue el suavizamiento exponencial simple con un valor de  $\alpha$  igual a 0,01.
- En el caso de las cintas de polietileno, el mejor método para pronosticar su demanda fue el suavizamiento exponencial doble con un valor de  $\alpha$  igual a 0,524, y un valor de  $\beta$  igual a 0,073. Cabe resaltar que los datos históricos de ventas tanto de los zunchos como de las cintas fueron los que presentaron más variabilidad y cambios drásticos a lo largo del tiempo.

- INGALCROM no maneja tampoco una política de inventario específica, sin embargo el mecanismo que utilizan actualmente para reabastecer a la fábrica de materia prima se asemeja a una política de revisión continua.
- A través del análisis de la planificación agregada se confirma el exceso de capacidad de producción de la planta con respecto a la demanda pronosticada. Este programa sugiere la despida de 7 trabajadores de 9 operarios que se incluyeron en el modelo. Este resultado no está directamente relacionado a los trabajadores puesto que la capacidad de la fábrica de INGALCROM está determinada por su maquinaria. Entonces, en este caso no es tan sencillo acogerse a la sugerencia de este plan debido a que la única forma de reducir capacidad sería quitando o eliminando las máquinas de la fábrica, lo cual no es una opción factible para la gerencia de la empresa.
- Para dar un tratamiento especial al elevado inventario inicial se obtuvieron dos modelos de programación lineal. El primero ocupaba todo en inventario en el primer mes y luego se mantenía un stock de seguridad, mientras que el segundo reducía gradualmente el inventario entre los 6 periodos de planeación. El plan de producción del primer modelo fue el escogido porque las ganancias totales eran mayores que en el segundo plan de producción.
- El exceso de capacidad con respecto a la demanda también se explica con otros factores como el hecho de que no existe un sistema de información que asegure que todas las ventas sean registradas; y también que existen otros productos que se fabrican en la planta de producción, pero los recursos que se ocupan por estas actividades no se toman en cuenta en el modelo matemático.
- Otra característica importante de la planta de producción es el hecho de tener líneas de producción independientes para cada tipo de producto puesto que facilitó la desagregación del plan agregado de producción, y permite que se pueda producir al mismo tiempo los tres productos finales en todos los periodos de planeación.
- Otro factor que facilita los cálculos para obtener el MRP es que la mayoría de componentes y materia prima de la lista de materiales solo pertenecen a

un solo producto final. El pigmento es el único material que forma parte de los tres productos finales.

- La duración del periodo de planeación fue reducido de un mes a una semana debido a que los tiempos de reposición para la mayoría de productos y materiales eran muy cortos (1 – 2 días). Sin embargo, esta decisión implica mantener por un tiempo de 4 a 5 días material en inventario puesto que al menos se van a hacer pedidos para una semana de producción. Este incremento en el costo de mantener inventario se ve recompensado con el costo de ordenar mayores cantidades semanales con menor frecuencia.
- Con respecto a la política de que determina el tamaño de lote para el MRP, se escogió la política *lote por lote* para los productos finales y componentes; en cambio para toda la materia prima se escogió la política *lote para periodos*.
- El sistema MRP creado en Excel® consta de una hoja que ayuda el ingreso de las ventas diarias, otras 3 hojas que calculan el pronóstico de la demanda para cada producto, una hoja que agrega la demanda y desagrega el plan de producción, una hoja donde se encuentra el modelo de programación lineal, una hoja donde está la matriz del BOM, y finalmente una hoja que tiene el sistema MRP completo con un resumen de las ordenes de compras y de producción que se van a realizar en cada periodo.

## 7.2 Recomendaciones

- El sistema MRP que se desarrolló para la empresa INGALCROM está basado en las condiciones actuales de la empresa y del mercado. Por lo tanto, si estas condiciones llegaran a cambiar, será necesario hacer una revisión de que los resultados obtenidos del MRP sean aún válidos.
- La demanda es uno de los datos más susceptible a cambios en el futuro, y en ese caso los modelos de pronósticos escogidos ya no serían válidos. Entonces, se recomienda que en el caso de utilizar este sistema MRP propuesto, se revise periódicamente los gráficos de control que se incluyen en el pronóstico de la demanda para cada producto. El gráfico más útil en este sentido es el *Señal de Rastreo* (“*Tracking Signal*”); por lo tanto, si en algún parte de esta gráfica

existe un punto que se sale del área de control (+/-6), será necesario hacer una validación del método de pronóstico.

- Se recomienda además que se incluya todos los productos en la hoja de *ventas diarias* para que en un futuro se pueda tener información suficiente para añadir estos productos a la planeación total de los productos y materiales de la fábrica.
- El sistema MRP actual se basa en la información de los tres grupos principales de productos que son los zunchos, los empaques de PVC, y las cintas de polietileno. Sin embargo, se recomienda que en un futuro se pueda analizar la demanda ya no de estos grupos, sino la demanda de cada tipo de producto en particular. El programa en Excel® va a permitir en un futuro obtener información por ejemplo del zuncho agrícola y del zuncho paletizado por separado. Esto permitirá tener un mejor pronóstico de cada producto, para luego realizar la agregación respectiva.
- Se recomienda hacer un análisis económico del costo de oportunidad del capital que se utiliza para mantener los inventarios de materia prima y producto final en la fábrica de INGALCROM. A pesar de que los costos de mantener el inventario no son elevados debido al bajo costo de los materiales y productos, puede ser más rentable para la compañía poner este dinero en un banco y ganar con los intereses.
- Se recomienda realizar un estudio de diseño de experimentos en las máquinas de la fábrica para reducir el tiempo de calentamiento y preparación cuando ocurren cambios en las especificaciones de la producción.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Ballou, Ronald H. Logística: Administración de la Cadena de Suministro. México: Pearson, 2004.
- Bedworth, David D. Integrated Production Control System. Arizona: John Wiley & Sons, 1987.
- Chopra, Sunil y Peter Meindl. Supply Chain Management. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2007.
- Cisneros, Patricio. «Material entregado en clase de Ingeniería Industrial.» Diciembre de 2007.
- Elsayed, Elsayed. Analysis and Control of Production Systems. Prentice-Hall, 1994.
- Gaither, Norman. Operation Management. South-Western, 2002.
- García Cólín, Juan. Contabilidad de Costos. México: Mc GRAW-HILL, 1996.
- Greene, James S. Control de la Producción: Sistemas y Decisiones. Mexico: Diana, 1981.
- Maynard, Harold y Hodson William. Manual del Ingeniero Industrial. McGraw-Hill, 1996.
- Montgomery, Douglas y George Runger. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. México: Limusa Wiley, 2006.
- Petroni, Alberto. «Critical Factor of MRP Implementation in small and medium-sized Firms.» International Journal of Operations & Production Management (2002): 329-347.
- Russell, Roberta. Operation Management: Focusing on Quality and Competitiveness. New York: Prentice-Hall, 1988.
- Salvendy, Gavriel. Manual de Ingeniería Industrial. México: Limusa, 2007.
- Sheikh, Khalid. Manufacturing Resource Planning (MRP II). McGraw-Hill, 2001.

## ANEXOS



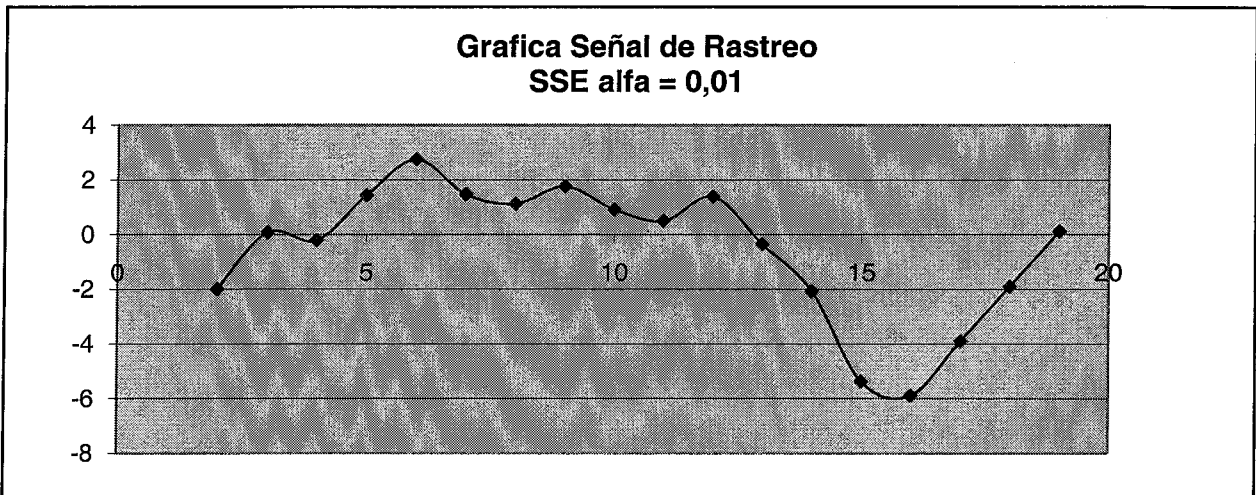
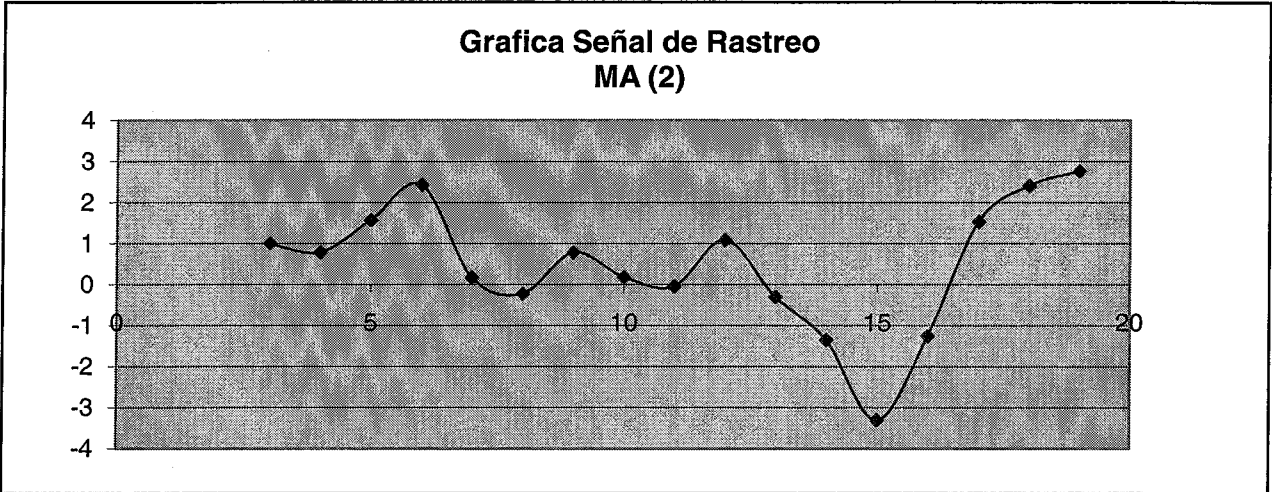
ANEXO 1: COMPARACIÓN DEL ERROR DEL PRONÓSTICO DE ZUNCHOS CON EL MÉTODO "PROMEDIO MÓVIL" PARA VARIOS VALORES DE n

Año	Mes	Ventas	MA (2)	SSE	MA (3)	SSE	MA (4)	SSE	MA (5)	SSE	MA (6)	SSE	MA (7)	SSE	MA (8)	SSE	MA (9)	SSE		
2008	1	25.942,00																		
	2	20.849,00																		
	3	15.098,00	23.395,50	6,88E+07																
	4	21.606,00	17.973,50	1,32E+07	20.629,67	9,53E+05														
	5	15.014,00	18.352,00	1,11E+07	19.184,33	1,74E+07	20.873,75	3,43E+07												
	6	15.080,00	18.310,00	1,04E+07	17.239,33	4,66E+06	18.141,75	9,37E+06	19.701,80	2,14E+07										
	7	25.313,00	15.047,00	1,05E+08	17.233,33	6,53E+07	16.699,50	7,42E+07	17.529,40	6,06E+07	18.931,50	4,07E+07								
	8	22.330,00	20.196,50	4,55E+06	18.469,00	1,49E+07	19.253,25	9,47E+06	18.422,20	1,53E+07	18.826,67	1,23E+07	19.843,14	6,18E+06						
	9	18.627,00	23.821,50	2,70E+07	20.907,67	5,20E+06	19.434,25	6,52E+05	19.868,60	1,54E+06	19.073,50	1,99E+05	19.327,14	4,90E+05	20.154,00	2,33E+06				
	10	23.630,00	20.478,50	9,93E+06	22.090,00	2,37E+06	20.337,50	1,08E+07	19.272,80	1,90E+07	19.661,67	1,57E+07	19.009,71	2,13E+07	19.239,63	1,93E+07				
	11	22.200,00	21.128,50	1,15E+06	21.529,00	4,50E+05	22.475,00	7,56E+04	20.996,00	1,45E+06	19.999,00	4,84E+06	20.228,57	3,89E+06	19.587,25	6,83E+06	19.727,44			
	12	17.780,00	22.915,00	2,64E+07	21.485,67	1,37E+07	21.696,75	1,53E+07	22.420,00	2,15E+07	21.196,67	1,17E+07	20.313,43	6,42E+06	20.475,00	7,26E+06	19.877,56			
	13	26.363,00	19.990,00	4,06E+07	21.203,33	2,66E+07	20.559,25	3,37E+07	20.913,40	2,97E+07	21.646,67	2,22E+07	20.708,57	3,20E+07	19.996,75	4,05E+07	20.175,56			
	14	27.048,00	22.071,50	2,48E+07	22.114,33	2,43E+07	22.493,25	2,07E+07	21.720,00	2,84E+07	21.821,67	2,73E+07	22.320,43	2,23E+07	21.415,38	3,17E+07	20.704,11			
	15	37.495,00	26.705,50	1,16E+08	23.730,33	1,89E+08	23.347,75	2,00E+08	23.404,20	1,99E+08	22.608,00	2,22E+08	22.568,29	2,23E+08	22.911,38	2,13E+08	22.041,22			
	16	22.053,00	32.271,50	1,04E+08	30.302,00	6,80E+07	27.171,50	2,62E+07	26.177,20	1,70E+07	25.752,67	1,37E+07	24.734,71	7,19E+06	24.434,13	5,67E+06	24.531,78			
	17	13.145,00	29.774,00	2,77E+08	28.865,33	2,47E+08	28.239,75	2,28E+08	26.147,80	1,69E+08	25.489,83	1,52E+08	25.224,14	1,46E+08	24.399,50	1,27E+08	24.169,56			
	18	12.250,00	17.599,00	2,86E+07	24.231,00	1,44E+08	24.935,25	1,61E+08	25.220,80	1,68E+08	23.980,67	1,38E+08	23.726,29	1,32E+08	23.714,25	1,31E+08	23.149,00			
	19	11.205,00	12.697,50	2,23E+06	15.816,00	2,13E+07	21.236,75	1,01E+08	22.398,20	1,25E+08	23.059,00	1,41E+08	22.304,86	1,23E+08	22.291,75	1,23E+08	22.440,44			
	Suma			8,72E+08		8,45E+08		9,24E+08		8,77E+08		8,01E+08		7,23E+08		7,07E+08			7,14E+08	
	MSE			5,13E+07		5,28E+07		6,16E+07		6,26E+07		6,16E+07		6,03E+07		6,43E+07			7,14E+07	

ANEXO 2: COMPARACIÓN DEL ERROR DEL PRONÓSTICO DE ZUNCHOS CON EL MÉTODO "EXPONENCIAL SIMLPE" PARA VARIOS VALORES DE  $\alpha$ 

Año	Mes	Ventas	SE ( $\alpha=0,01$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,05$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,1$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,3$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,4$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,5$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,6$ )	SSE	
2008	1	25.942,00	20.685,68	2,76E+07	20685,68	2,76E+07	20685,68	2,76E+07	20685,68	2,76E+07	20685,6842	2,76E+07	20685,6842	2,76E+07	20685,6842	2,76E+07	20685,6842
	2	20.849,00	20.738,25	1,23E+04	20948,50	9,90E+03	21211,32	1,31E+05	22262,58	2,00E+06	22788,2105	3,76E+06	23313,8421	6,08E+06	23839,4737	8,94E+06	24354,3463
	3	15.098,00	20.739,35	3,18E+07	20943,53	3,42E+07	21175,08	3,69E+07	21838,51	4,54E+07	22012,5263	4,78E+07	22081,4211	4,88E+07	22045,1895	4,83E+07	22045,1895
	4	21.606,00	20.682,94	8,52E+05	20.651,25	9,12E+05	20.567,38	1,08E+06	19.816,35	3,20E+06	19246,7158	5,57E+06	18589,7105	9,10E+06	17876,8758	1,39E+07	17876,8758
	5	15.014,00	20.692,17	3,22E+07	20.698,99	3,23E+07	20.671,24	3,20E+07	20.353,25	2,85E+07	20190,4295	2,68E+07	20097,8553	2,58E+07	20114,3503	2,60E+07	20114,3503
	6	15.080,00	20.635,39	3,09E+07	20.414,74	2,85E+07	20.105,51	2,53E+07	18.751,47	1,35E+07	18119,8577	9,24E+06	17555,9276	6,13E+06	17054,1401	3,90E+06	17054,1401
	7	25.313,00	20.579,84	2,24E+07	20.148,00	2,67E+07	19.602,96	3,26E+07	17.650,03	5,87E+07	16903,9146	7,07E+07	16317,9638	8,09E+07	15869,6561	8,92E+07	15869,6561
	8	22.330,00	20.627,17	2,90E+06	20.406,25	3,70E+06	20.173,97	4,65E+06	19.948,92	5,67E+06	20267,5488	4,25E+06	20815,4819	2,29E+06	21555,6624	6,31E+05	21555,6624
	9	18.627,00	20.644,20	4,07E+06	20.502,44	3,52E+06	20.389,57	3,11E+06	20.663,25	4,15E+06	21092,5293	6,08E+06	21572,741	8,68E+06	22012,265	1,15E+07	22012,265
	10	23.630,00	20.624,02	9,04E+06	20.408,67	1,04E+07	20.213,31	1,17E+07	20.052,37	1,28E+07	20106,3176	1,24E+07	20099,8705	1,25E+07	19981,106	1,33E+07	19981,106
	11	22.200,00	20.654,08	2,39E+06	20.651,25	8,24E+06	20.719,48	8,64E+06	21.125,66	1,15E+06	21515,7905	4,68E+05	21864,9352	1,12E+05	22170,4424	8,74E+02	22170,4424
	12	17.780,00	20.669,54	8,35E+06	20.507,68	3,43E+07	20.425,54	3,53E+07	21.447,96	1,35E+07	21789,4743	1,61E+07	22032,4676	1,81E+07	22188,177	1,94E+07	22188,177
	13	26.363,00	20.640,65	3,27E+07	20.507,68	3,90E+07	21.019,28	3,63E+07	20.347,57	3,82E+07	20185,6846	3,82E+07	19906,2338	4,17E+07	19543,2708	4,65E+07	19543,2708
	14	27.048,00	20.697,87	4,03E+07	20.800,45	3,90E+07	21.019,28	3,63E+07	22.152,20	2,40E+07	22656,6108	1,93E+07	23134,6169	1,53E+07	23635,1083	1,16E+07	23635,1083
	15	37.495,00	20.761,37	2,80E+08	21.112,83	2,68E+08	21.622,15	2,52E+08	23.620,94	1,92E+08	24413,1665	1,71E+08	25091,3085	1,54E+08	25682,8433	1,40E+08	25682,8433
	16	22.053,00	20.928,71	1,26E+06	21.931,94	1,47E+04	23.209,44	1,34E+06	27.783,16	3,28E+07	29645,8999	5,77E+07	31293,1542	8,54E+07	32770,1373	1,15E+08	32770,1373
	17	13.145,00	20.939,95	6,08E+07	21.937,99	7,73E+07	23.093,79	9,90E+07	26.064,11	1,67E+08	28608,7399	1,81E+08	26673,0771	1,83E+08	26339,8549	1,74E+08	26339,8549
	18	12.250,00	20.862,00	7,42E+07	21.498,34	8,55E+07	22.098,91	9,70E+07	22.188,38	9,88E+07	21223,244	8,05E+07	19909,0386	5,87E+07	18422,942	3,81E+07	18422,942
	19	11.205,00	20.775,88	9,16E+07	21.035,92	9,66E+07	21.114,02	9,82E+07	19.206,86	6,40E+07	17633,9464	4,13E+07	16079,5193	2,38E+07	14719,1768	1,23E+07	14719,1768
Suma	MSE			7,55E+08		7,80E+08		8,05E+08		8,31E+08		8,20E+08		8,08E+08		8,00E+08	
				3,97E+07		4,10E+07		4,24E+07		4,38E+07		4,32E+07		4,25E+07		4,21E+07	

**ANEXO 3: GRÁFICAS DE SEÑAL DE RASTRO PARA EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA DE ZUNCHOS**



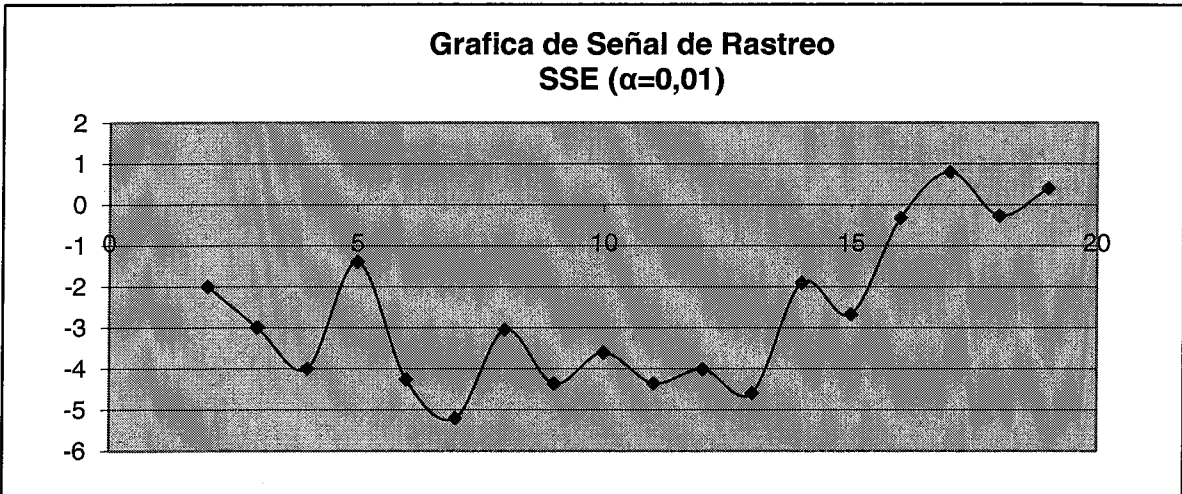
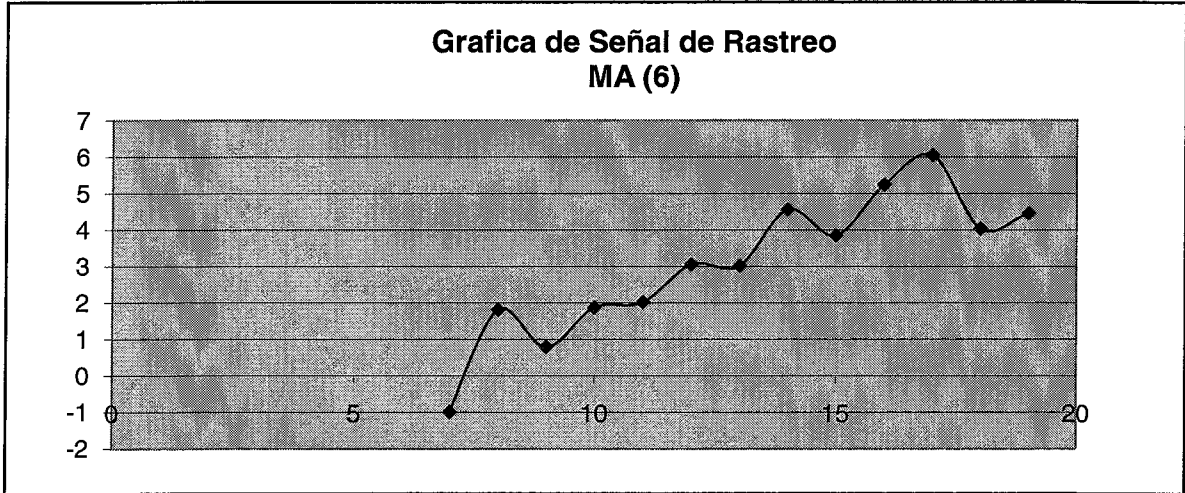
ANEXO 4: COMPARACIÓN DEL ERROR DEL PRONÓSTICO DE EMPAQUES DE PVC CON EL MÉTODO "PROMEDIO MÓVIL" PARA VARIOS VALORES DE n

Año	Mes	Ventas	MA (2)	SSE	MA (3)	SSE	MA (4)	SSE	MA (5)	SSE	MA (6)	SSE	MA (7)	SSE	MA (8)	SSE	MA (9)	SSE	MA (10)	SSE	
2008	1	20.544,30																			
	2	18.091,38																			
	3	20.001,04	19.317,84	4,67E+05																	
	4	18.374,72	19.046,21	4,51E+05	19.545,57	1,37E+06															
	5	15.052,02	19.187,88	1,71E+07	18.822,38	1,42E+07	19.252,86	1,76E+07													
	6	30.045,02	16.713,37	1,78E+08	17.809,26	1,50E+08	17.879,79	1,48E+08	18.412,69	1,35E+08											
	7	20.775,13	22.548,52	3,14E+06	21.157,25	1,46E+06	20.868,20	8,66E+03	20.312,84	2,14E+05	20.351,41	1,80E+05									
	8	12.074,91	25.410,08	1,78E+08	21.957,39	9,77E+07	21.061,72	8,06E+07	20.849,59	7,70E+07	20.389,89	6,91E+07	20.411,94	6,95E+07							
	9	23.833,73	16.425,02	5,49E+07	20.965,02	8,23E+06	19.486,77	1,89E+07	19.264,36	2,09E+07	19.387,14	1,98E+07	19.202,03	2,15E+07	19.369,82	1,99E+07					
	10	14.916,14	17.954,32	9,23E+06	18.894,59	1,58E+07	21.682,20	4,58E+07	20.356,16	2,96E+07	19.387,14	1,98E+07	20.022,37	2,61E+07	19.780,99	2,37E+07	19.865,81	2,45E+07			
	11	20.288,71	19.374,94	8,36E+05	16.941,59	1,12E+07	17.899,98	5,71E+06	20.328,99	1,62E+03	20.025,92	2,61E+07	19.295,95	9,86E+05	19.384,09	8,18E+05	19.240,45	1,10E+06	19.370,84	842,487,173	
	12	16.231,11	17.602,43	1,88E+06	19.679,53	1,19E+07	17.778,37	2,39E+06	18.377,72	4,61E+06	19.449,49	7,04E+05	19.295,95	9,86E+05	19.420,05	1,02E+07	19.484,60	1,06E+07	19.345,28	969,054,79	
	13	19.291,95	18.259,91	1,07E+06	17.145,32	4,61E+06	18.817,42	2,25E+05	17.468,92	3,32E+06	20.322,27	1,67E+07	19.569,98	1,11E+07	19.420,05	1,02E+07	19.484,60	1,06E+07	19.159,25	17,608,4938	
	14	9.819,46	17.761,53	6,31E+07	18.603,92	7,72E+07	17.681,98	6,18E+07	18.912,33	8,27E+07	18.019,96	1,62E+06	19.737,82	1,99E+05	19.152,10	1,96E+04	19.065,72	5,12E+04	19.088,34	859,122,10,6	
	15	20.627,00	14.555,71	3,69E+07	15.114,17	3,04E+07	16.407,81	1,78E+07	16.109,47	2,04E+07	17.772,76	6,33E+07	18.201,67	7,03E+07	19.682,09	9,73E+07	19.167,64	8,74E+07	19.088,34	859,122,10,6	
	16	9.650,38	15.223,23	3,11E+07	16.579,47	4,80E+07	16.492,38	4,68E+07	17.251,65	5,78E+07	17.396,85	1,04E+07	16.636,57	1,59E+07	17.153,89	1,21E+07	18.586,24	4,16E+06	18.232,82	573,2107,45	
	17	13.519,01	15.136,68	2,62E+06	13.965,60	2,35E+04	14.847,19	1,76E+06	15.123,97	2,58E+06	15.984,76	6,08E+06	15.832,10	5,39E+06	16.832,31	1,10E+07	16.303,71	7,75E+06	16.750,85	10,444,783,3	
	18	22.107,00	11.584,68	1,11E+08	14.598,79	5,64E+07	13.403,98	7,57E+07	14.581,55	5,66E+07	14.856,48	5,26E+07	15.632,51	4,19E+07	15.642,97	4,31E+07	16.464,16	3,18E+07	16.025,24	369,87841,2	
	19	15.329,74	17.813,01	6,17E+06	15.092,12	5,66E+04	16.475,84	1,31E+06	15.144,56	3,43E+04	15.835,80	2,56E+05	15.892,27	3,16E+05	16.441,82	1,24E+06	16.272,30	8,88E+05	17.028,45	288,6602,07	
	Suma			6,95E+08		5,27E+08		5,25E+08		4,91E+08		3,19E+08		3,31E+08		2,75E+08		2,31E+08		2,36E+08	
	MSE			4,09E+07		3,29E+07		3,50E+07		3,51E+07		2,45E+07		2,75E+07		2,50E+07		2,31E+07		2,36E+07	

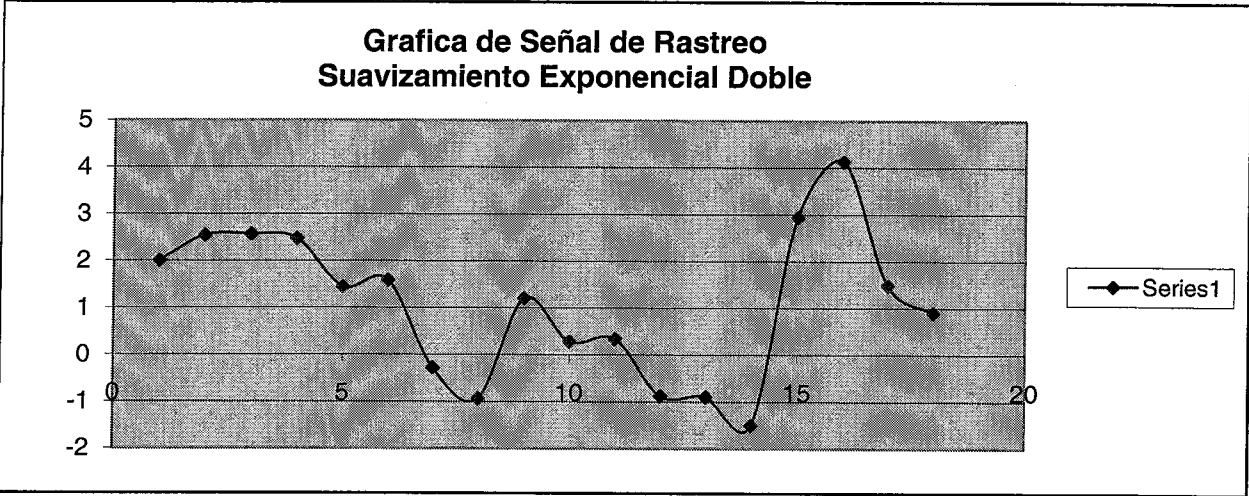
ANEXO 5: COMPARACIÓN DEL ERROR DEL PRONÓSTICO DE EMPAQUES DE PVC CON EL MÉTODO "EXPONENCIAL SIMLPE" PARA VARIOS VALORES DE  $\alpha$

Año	Mes	Ventas	SE ( $\alpha=0,01$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,05$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,1$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,3$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,4$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,5$ )	SSE	SE ( $\alpha=0,6$ )	SSE
2008	1	20.544,30	17.924,88	6,86E+06	17924,88	6,86E+06	17924,88	6,86E+06	17924,88	6,86E+06	17924,88	6,86E+06	17924,88	6,86E+06	17924,88	6,86E+06
	2	18.091,38	17.951,07	1,97E+04	18055,85	1,26E+03	18186,82	9,11E+03	18710,71	3,84E+05	18972,648	7,77E+05	19234,59	1,31E+06	19496,532	1,97E+06
	3	20.001,04	17.952,48	4,20E+06	18057,63	3,78E+06	18177,28	3,33E+06	18524,91	2,18E+06	18620,1408	1,91E+06	18662,985	1,79E+06	18653,4408	1,82E+06
	4	18.374,72	17.972,96	1,61E+05	18.154,80	4,84E+04	18.359,65	2,27E+02	18.967,75	3,52E+05	19172,5005	6,36E+05	19332,0125	9,16E+05	19462,0003	1,18E+06
	5	15.052,02	17.976,98	8,56E+06	18.165,79	9,70E+06	18.361,16	1,10E+07	18.789,84	1,40E+07	18853,3883	1,45E+07	18853,3663	1,45E+07	18809,6321	1,41E+07
	6	30.045,02	17.947,73	1,46E+08	18.010,11	1,45E+08	18.030,25	1,44E+08	17.668,49	1,53E+08	17332,841	1,62E+08	16952,6931	1,71E+08	16555,0649	1,82E+08
	7	20.775,13	18.068,70	7,32E+06	18.611,85	4,68E+06	19.231,72	2,38E+06	21.381,45	3,68E+05	22417,7126	2,70E+06	23498,8566	7,42E+06	24649,0379	1,50E+07
	8	12.074,91	18.095,77	3,63E+07	18.720,02	4,42E+07	19.386,06	5,35E+07	21.199,56	8,33E+07	21760,6796	9,38E+07	22136,9933	1,01E+08	22324,6932	1,05E+08
	9	23.833,73	18.035,56	3,36E+07	18.387,76	2,97E+07	18.654,95	2,68E+07	18.462,16	2,89E+07	17886,3717	3,54E+07	17105,9516	4,53E+07	16174,8233	5,87E+07
	10	14.916,14	18.093,54	1,01E+07	18.660,06	1,40E+07	19.172,83	1,81E+07	20.073,63	2,66E+07	20265,315	2,86E+07	20469,8408	3,08E+07	20770,1673	3,43E+07
	11	20.288,71	18.061,77	4,96E+06	18.472,86	3,30E+06	18.901,31	7,13E+06	19.055,08	7,97E+06	18448,96	7,45E+07	18451,4651	7,45E+07	17257,7509	9,19E+06
	12	16.231,11	18.084,04	3,43E+06	18.563,65	5,44E+06	18.634,29	5,44E+06	18.526,38	3,11E+06	18125,645	4,68E+06	17692,9904	6,74E+06	19076,3264	8,10E+06
	13	19.291,95	18.065,51	1,50E+06	18.447,03	7,14E+05	18.700,06	7,89E+07	18.533,11	7,59E+07	18990,871	7,62E+06	18990,8502	7,62E+06	17369,1965	3,70E+06
	14	9.819,46	18.077,77	6,82E+07	18.489,27	7,52E+07	18.700,06	7,89E+07	18.533,11	7,59E+07	18448,96	7,45E+07	18451,4651	7,45E+07	18522,8486	7,57E+07
	15	20.627,00	17.995,19	6,93E+06	18.055,78	6,61E+06	17.812,00	7,92E+06	15.919,01	2,22E+07	14997,16	3,17E+07	14135,4625	4,21E+07	13300,8154	5,37E+07
	16	9.650,35	18.021,51	7,01E+07	18.184,34	7,28E+07	18.093,50	7,13E+07	17.331,41	5,90E+07	17249,096	5,77E+07	17381,2313	5,98E+07	17696,5262	6,47E+07
	17	13.519,01	17.937,80	1,98E+07	17.757,64	1,80E+07	17.249,18	1,39E+07	15.027,09	2,27E+06	14209,5976	4,77E+05	13515,7906	1,04E+01	12868,8205	4,23E+05
	18	22.107,00	17.893,61	1,78E+07	17.545,71	2,08E+07	16.876,17	2,74E+07	14.574,67	5,67E+07	13933,3626	6,68E+07	13517,4003	7,38E+07	13258,9342	7,83E+07
	19	15.329,74	17.935,74	6,79E+06	17.773,78	5,97E+06	17.399,25	4,28E+06	16.834,37	2,20E+06	17202,8175	3,51E+06	17812,2002	6,16E+06	18567,7737	1,05E+07
Suma				4,53E+08		4,80E+08		5,47E+08		5,96E+08		6,55E+08		7,25E+08		
	MSE			2,38E+07		2,46E+07		2,88E+07		3,14E+07		3,45E+07		3,82E+07		

**ANEXO 6: GRÁFICAS DE SEÑAL DE RASTREO PARA EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA DE EMPAQUES DE PVC**



**ANEXO 7: GRÁFICA DE SEÑAL DE RASTREO PARA EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA DE CINTAS DE POLIETILENO**



**ANEXO 8: MODELO DE OPTIMIZACIÓN - PROGRAMACIÓN LINEAL PARA OBTENER EL PLAN AGREGADO PRODUCCIÓN**

**Variables de Decisión del Plan Agregado**

Periodo	Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt	Demanda
0	0,00	0,00	9,00	0,00	28.204,70	0,00	0,00	0,00	
1	0,00	7,00	2,00	0,00	1.680,88	0,00		<b>16.808,81</b>	43.332,63
2	0,00	0,00	2,00	0,00	4.643,10	0,00		<b>46.431,02</b>	43.468,80
3	0,00	0,00	2,00	0,00	4.329,10	0,00		<b>43.290,95</b>	43.604,96
4	0,00	0,00	2,00	0,00	4.379,11	0,00		<b>43.791,15</b>	43.741,13
5	0,00	0,00	2,00	0,00	4.388,69	0,00		<b>43.886,86</b>	43.877,29
6	0,00	0,00	2,00	0,00	4.402,75	0,00		<b>44.027,53</b>	44.013,46

**Ganacia = 115273,424**

**Plan Aggregate Costs**

Periodo	Hiring	Lay off	Regular Time	Over Time	Inventory	Sotck out	Subcontract	Material
1	0,00	4.959,50	563,20	0,00	2.033,87	0,00		16.976,90
2	0,00	0,00	563,20	0,00	5.618,15	0,00		46.895,33
3	0,00	0,00	563,20	0,00	5.238,21	0,00		43.723,86
4	0,00	0,00	563,20	0,00	5.298,73	0,00		44.229,06
5	0,00	0,00	563,20	0,00	5.310,31	0,00		44.325,73
6	0,00	0,00	563,20	0,00	5.327,33	0,00		44.467,80

**Costo total = 277783,981**

**Costos Producción INGALCROM**

Restricciones:

Workforce	Production	Inventory	Overtime	Inventory 2
0	52869	0	24	0
0	23246	0	24	0
0	26387	0	24	0
0	25886	0	24	0
0	25791	0	24	0
0	25650	0	24	0

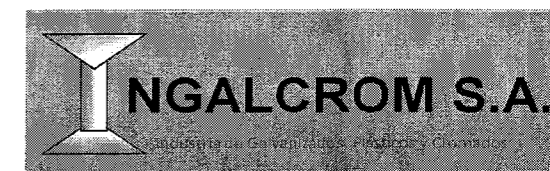
Material	1,01
Mantener Invetario	1,21
Tiempo regular	1,76
Tiempo Extra	1,86
Sobrantes	1,5
Contratar personal	360
Despedir personal	708,5



ANEXO 9: MRP - FABRICA INGALCROM

MRP		JULIO			AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO					
		-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Zunchos LT=1	Requerimientos totales				2.005,47	2.005,47	2.005,47	2.005,47	4.417,89	4.417,89	4.417,89	4.417,89	4.417,89	5.132,81	5.132,81	5.132,81	5.132,81	5.175,96	5.175,96	5.175,96	5.175,96	4.136,94	4.136,94	4.136,94	4.136,94	4.136,94	5.171,70	5.171,70	5.171,70	5.171,70
	Orden planeada recepcion				2.005,47	2.005,47	2.005,47	2.005,47	4.417,89	4.417,89	4.417,89	4.417,89	4.417,89	5.132,81	5.132,81	5.132,81	5.132,81	5.175,96	5.175,96	5.175,96	5.175,96	4.136,94	4.136,94	4.136,94	4.136,94	4.136,94	5.171,70	5.171,70	5.171,70	5.171,70
	Inventario esperado		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Requerimientos netos				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Orden planeada asignacion			2.005,47	2.005,47	2.005,47	2.005,47	4.417,89	4.417,89	4.417,89	4.417,89	4.417,89	5.132,81	5.132,81	5.132,81	5.132,81	5.175,96	5.175,96	5.175,96	5.175,96	4.136,94	4.136,94	4.136,94	4.136,94	4.136,94	5.171,70	5.171,70	5.171,70	5.171,70	
Empaque PVC LT=1	Requerimientos totales				1.736,80	1.736,80	1.736,80	1.736,80	3.826,03	3.826,03	3.826,03	3.826,03	3.826,03	4.445,18	4.445,18	4.445,18	4.445,18	4.482,54	4.482,54	4.482,54	4.482,54	3.582,72	3.582,72	3.582,72	3.582,72	3.582,72	4.478,85	4.478,85	4.478,85	4.478,85
	Orden planeada recepcion				1.736,80	1.736,80	1.736,80	1.736,80	3.826,03	3.826,03	3.826,03	3.826,03	3.826,03	4.445,18	4.445,18	4.445,18	4.445,18	4.482,54	4.482,54	4.482,54	4.482,54	3.582,72	3.582,72	3.582,72	3.582,72	3.582,72	4.478,85	4.478,85	4.478,85	4.478,85
	Inventario esperado				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Requerimientos netos				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Orden planeada asignacion			1.736,80	1.736,80	1.736,80	1.736,80	3.826,03	3.826,03	3.826,03	3.826,03	3.826,03	4.445,18	4.445,18	4.445,18	4.445,18	4.482,54	4.482,54	4.482,54	4.482,54	3.582,72	3.582,72	3.582,72	3.582,72	3.582,72	4.478,85	4.478,85	4.478,85	4.478,85	
Cintas Polietileno LT=1	Requerimientos totales				459,93	459,93	459,93	459,93	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.244,75	1.244,75	1.244,75	1.244,75	1.289,29	1.289,29	1.289,29	1.289,29	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.356,34	1.356,34	1.356,34	1.356,34
	Orden planeada recepcion				459,93	459,93	459,93	459,93	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.244,75	1.244,75	1.244,75	1.244,75	1.289,29	1.289,29	1.289,29	1.289,29	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.356,34	1.356,34	1.356,34	1.356,34
	Inventario esperado				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Requerimientos netos				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Orden planeada asignacion			459,93	459,93	459,93	459,93	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.244,75	1.244,75	1.244,75	1.244,75	1.289,29	1.289,29	1.289,29	1.289,29	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.356,34	1.356,34	1.356,34	1.356,34
Material PVC LT=1	Requerimientos totales				1.736,80	1.736,80	1.736,80	1.736,80	3.826,03	3.826,03	3.826,03	3.826,03	4.445,18	4.445,18	4.445,18	4.445,18	4.482,54	4.482,54	4.482,54	4.482,54	3.582,72	3.582,72	3.582,72	3.582,72	3.582,72	4.478,85	4.478,85	4.478,85	4.478,85	
	Orden planeada recepcion				1.736,80	1.736,80	1.736,80	1.736,80	3.826,03	3.826,03	3.826,03	3.826,03	4.445,18	4.445,18	4.445,18	4.445,18	4.482,54	4.482,54	4.482,54	4.482,54	3.582,72	3.582,72	3.582,72	3.582,72	3.582,72	4.478,85	4.478,85	4.478,85	4.478,85	
	Inventario esperado				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Requerimientos netos				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Orden planeada asignacion		1.736,80	1.736,80	1.736,80	1.736,80	3.826,03	3.826,03	3.826,03	3.826,03	3.826,03	4.445,18	4.445,18	4.445,18	4.445,18	4.482,54	4.482,54	4.482,54	4.482,54	3.582,72	3.582,72	3.582,72	3.582,72	3.582,72	3.582,72	4.478,85	4.478,85	4.478,85	4.478,85	
Rollo polietileno LT=1	Requerimientos totales				459,93	459,93	459,93	459,93	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.244,75	1.244,75	1.244,75	1.244,75	1.289,29	1.289,29	1.289,29	1.289,29	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.356,34	1.356,34	1.356,34	1.356,34
	Orden planeada recepcion				331,37	459,93	459,93	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.244,75	1.244,75	1.244,75	1.244,75	1.289,29	1.289,29	1.289,29	1.289,29	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.356,34	1.356,34	1.356,34	1.356,34
	Inventario esperado				588,50	128,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Requerimientos netos				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Orden planeada asignacion			331,37	459,93	459,93	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.042,29	1.244,75	1.244,75	1.244,75	1.244,75	1.289,29	1.289,29	1.289,29	1.289,29	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.057,72	1.356,34	1.356,34	1.356,34	1.356,34
Poliprop. Virgen LT=1	Requerimientos totales				1.002,73	1.002,73	1.002,73	1.002,73	2.208,94	2.208,94	2.208,94	2.208,94	2.566,41	2.566,41	2.566,41	2.566,41	2.587,98	2.587,98	2.587,98	2.587,98	2.068,47	2.068,47	2.068,47	2.068,47	2.068,47	2.585,85	2.585,85	2.585,85	2.585,85	
	Orden planeada recepcion				1.205,47	2.005,47	2.005,47	4.417,89	4.417,89	4.417,89	4.417,89	4.417,89	4.775,35	5.132,81	5.132,81	5.154,38	5.175,96	5.175,96	5.175,96	5.175,96	4.656,45	4.136,94	4.136,94	4.136,94	4.136,94	5.171,70	5.171,70	5.171,70	5.171,70	
	Inventario esperado				800,00	1.002,74	0,00	1.002,74	0,00	2.208,95	0,00	2.208,95	0,01	2.566,41	0,01	2.566,41	0,00	2.587,98	0,00	2.587,98	0,01	2.068,48	0,01	2.068,48	0,01	2.068,48	0,02	2.585,87	0,02	2.585,87
	Requerimientos netos				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Orden planeada asignacion		1.205,47	2.005,47	2.005,47	4.417,89	4.417,89	4.417,89	4.417,89	4.775,35	5.132,81	5.132,81	5.154,38	5.175,96	5.175,96	5.175,96	5.175,96	4.656,45	4.136,94	4.136,94	4.136,94	4.136,94	4.136,94	4.136,94	4.136,94	5.171,70	5.171,70	5.171,70	5.171,70	
Poliprop. peletizado LT=1	Requerimientos totales				501,37	501,37	501,37	501,37	1.104,47	1.104,47	1.104,47	1.104,47	1.104,47	1.283,20	1.283,20	1.283,20	1.283,20	1.293,99	1.293,99	1.293,99	1.293,99	1.034,23	1.034,23	1.034,23	1.034,23	1.034,23	1.292,92	1.292,92	1.292,92	1.292,92
	Orden planeada recepcion				501,37	501,37	501,37	501,37	1.104,47	1.104,47	1.104,47	1.104,47	1.104,47	1.283,20	1.283,20	1.283,20	1.283,20	1.293,99	1.293,99	1.293,99	1.293,99	1.034,23	1.034,23	1.034,23	1.034,23	1.034,23	1.292,92	1.292,92	1.292,92	1.292,92
	Inventario esperado				10.000,00	9.498,63	8.997,27	8.495,90	7.994,53	6.890,06	5.785,59	4.681,11	3.576,64	2.472,17	1.188,97	2.566,40	1.283,20	0,00	2.587,98	1.293,99	0,00	2.068,47	1.034,24	0,01	2.068,47	1.034,24	0,00	2.585,85	1.292,93	0,00
	Requerimientos netos				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Orden planeada asignacion			501,37	501,37	501,37	501,37	1.104,47	1.104,47	1.104,47	1.104,47	1.104,47	1.104,47	1.283,20	1.283,20	1.283,20	1.283,20	1.293,99	1.293,99	1.293,99	1.293,99	1.034,23	1.034,23	1.034,23	1.034,23	1.034,23	1.292,92	1.292,92	1.292,92	1.292,92
Pigmentos LT=1	Requerimientos totales				0,00	81,47	84,04	84,04	95,69	185,72	185,72	185,72	185,72	189,77	216,45	216,45	216,45	217,35	218,96	218,96	218,96	214,32	175,55	175,55	175,55	175,55	181,52	220,14	220,14	193,01
	Orden planeada recepcion				0,00	81,47	84,04	84,04	95,69	185,72	185,72	185,72	185,72	189,77	216,45	216,45	216,45	217,35	218,96	218,96	218,96	214,32	175,55	175,55	175,55	175,55	181,52	220,14	220,14	193,01
	Inventario esperado		400,00	400,00	318,53	234,48	150,44	54,75	371,44	185,72	0,00	406,23	216,45	0,00	433,81	217,35	0,00	437,91	218,96	0,00	351,10	175,55	0,00	357,06	181,52</					

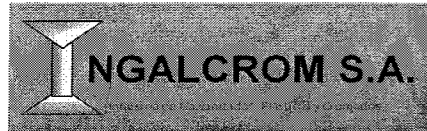
# VENTAS DIARIAS - SEMANALES Y MENSUALES



		ENERO																											
		SEMANA 1							SEMANA 2							SEMANA 3							SEMANA 4						
TIPO	PRODUCTO	1	2	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	18	19	20	21	22	23	25	26	27	28	29	30		
		VIERNES	SÁBADO	LUNES	MARTES	MIÉR.	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	LUNES	MARTES	MIÉR.	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	LUNES	MARTES	MIÉR.	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	LUNES	MARTES	MIÉR.	JUEVES	VIERNES	SÁBADO		
ZUNCHO	Zuncho Agrícola de 10 Kg																												
	Zuncho Agrícola de 9 Kg																												
	Zuncho Agrícola de 8 Kg																												
	Zuncho Agrícola de 7,3 Kg																												
	Zuncho Peletizado de 15 Kg																												
	Zuncho Peletizado de 12 Kg																												
	Zuncho Peletizado de 10 Kg																												
VINILES	Viniles Negros de 5 Kg																												
	Viniles Negros de 25 Kg																												
	Viniles Negros de 100 m																												
	Viniles Blancos de 5 Kg																												
	Viniles Blancos de 25 Kg																												
	Viniles Blancos de 100 m																												
	Viniles Gris de 5 Kg																												
	Viniles Gris de 25 Kg																												
	Viniles Gris de 100 m																												
	Viniles Café de 5 Kg																												
	Viniles Café de 25 kg																												
Viniles Café de 100 m																													
POLIETILENO	Cintas de Polietileno																												
	Rollos de Polietileno																												
OTROS PRODUCTOS																													
Ventas Semanales por cada Producto Especifico	Zuncho Agrícola de 10 Kg																												
	Zuncho Agrícola de 9 Kg																												
	Zuncho Agrícola de 8 Kg																												
	Zuncho Agrícola de 7,3 Kg																												
	Zuncho Peletizado de 15 Kg																												
	Zuncho Peletizado de 12 Kg																												
	Zuncho Peletizado de 10 Kg																												
	Viniles Negros de 5 Kg																												
	Viniles Negros de 25 Kg																												
	Viniles Negros de 100 m																												
	Viniles Blancos de 5 Kg																												
	Viniles Blancos de 25 Kg																												
	Viniles Blancos de 100 m																												
	Viniles Gris de 5 Kg																												
	Viniles Gris de 25 Kg																												
	Viniles Gris de 100 m																												
	Viniles Café de 5 Kg																												
	Viniles Café de 25 kg																												
	Viniles Café de 100 m																												
	Cintas de Polietileno																												
Rollos de Polietileno																													
Ventas Semanales por tipo de Producto	Zuncho Agrícola																												
	Zuncho Peletizado																												
	Vinil Negro																												
	Vinil Blanco																												
	Vinil Gris																												
	Vinil Café																												
Ventas Semanales por Grupo	Zuncho																												
	Viniles																												
	Polietileno																												







# AGREGACIÓN - DESAGREGACIÓN

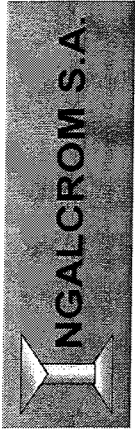
Pronósticos de la Demanda Agregada				
Semana Pronosticada	Producto			Demanda Agregada (kg)
	Zuncho (kg)	Empaque PVC (kg)	Cintas Polietileno (kg)	
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00

Proporción para Desagregar				
Periodo Planaificación	Producto			Producción Planificada
	Zuncho (kg)	Empaque PVC (kg)	Polietileno (kg)	
1	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
2	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
3	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
4	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
5	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
6	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
7	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
8	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
9	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
10	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
11	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
12	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
13	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
14	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
15	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
16	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
17	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
18	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
19	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
20	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
21	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
22	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
23	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
24	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
25	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00
26	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	0,00

Periodo Planaificación	Producción en Cada Periodo (kg)		
	Zuncho (kg)	Empaque PVC (kg)	Cintas Polietileno (kg)
1	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
2	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
3	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
4	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
5	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
6	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
7	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
8	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
9	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!

Producto	Producción en cada Periodo (kg)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Zunchos	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
Empaques PVC	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
Cintas Polietileno	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!

TRANSPONER



# MODELO DE OPTIMIZACIÓN

## PROGRAMACIÓN LINEAL

Variables de Decisión del Plan Agregado

Periodo	Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt	Demanda
0	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1									0,00
2									0,00
3									0,00
4									0,00
5									0,00
6									0,00
7									0,00
8									0,00
9									0,00
10									0,00
11									0,00
12									0,00
13									0,00
14									0,00
15									0,00
16									0,00
17									0,00
18									0,00
19									0,00
20									0,00
21									0,00
22									0,00
23									0,00
24									0,00
25									0,00
26									0,00

Restricciones:

Workforce	Production	Inventory	Overtime	Inventory 2
-9	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Plan Aggregate Costs Ganacia = 0

Periodo	Hiring	Lay off	Regular Time	Over Time	Inventory	Sotek out	Subcontract	Material
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Costo total = 0,00

Costos Producción INGALCROM

Material	1,01
Mantener Invetario	1,21
Tiempo regular	1,76
Tiempo Extra	1,86
Sobrantes	1,5
Contratar personal	360
Despedir personal	708,5
Inventario Inicial	0



