



## **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

### **FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**

#### **CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS DE AUTOMATIZACIÓN**

**TEMA:**

---

“CONTROL DE INVENTARIOS MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL EN LA EMPRESA LA FORTALEZA CÍA. LTDA.”

---

Trabajo de graduación modalidad TEMI Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización.

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Gestión de sistemas de planeación y control de la producción de bienes industriales.

**AUTOR:** Santiago Paúl Sánchez Sánchez.

**TUTOR:** Ing. Darwin Santiago Aldás Salazar, Mg.

**AMBATO – ECUADOR**

**Abril 2015**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “Control de inventarios mediante programación lineal en la empresa La Fortaleza Cía. Ltda.”, del señor Santiago Paúl Sánchez Sánchez, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo IV, del Reglamento de Graduación para obtener el título terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, abril 2015

EL TUTOR

.....  
Ing. Darwin Santiago Aldás Salazar, Mg.

## **AUTORÍA**

El presente trabajo de investigación titulado “Control de inventarios mediante programación lineal en la empresa La Fortaleza Cía. Ltda.” es absolutamente original, auténtico y personal en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, abril 2015

.....

Santiago Paúl Sánchez Sánchez

CC: 180476994-9

## **APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA**

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. César Aníbal Rosero Mantilla, Mg. e Ing. John Paúl Reyes Vásquez, M.Sc., revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado “Control de inventarios mediante programación lineal en la empresa La Fortaleza Cía. Ltda.” presentado por el señor Santiago Paúl Sánchez Sánchez de la carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, de acuerdo al Art. 18 del Reglamento de Graduación para obtener el título Terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

.....

Ing. José Vicente Morales Lozada, Mg.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

.....

Ing. César Aníbal Rosero Mantilla, Mg.

**DOCENTE CALIFICADOR**

.....

Ing. John Paúl Reyes Vásquez, M.Sc.

**DOCENTE CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo, que plasma una de mis metas, va dedicado con mucho amor en primera instancia a Dios por mostrarme día a día que con humildad, paciencia y sabiduría todo es posible.*

*A mis padres que con su infinito amor y apoyo incondicional siempre han velado por mi bienestar; y por ende a toda mi familia que supieron tenderme sus brazos en los momentos difíciles.*

*Santiago.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por darme la salud y la vida, la oportunidad y el conocimiento y por ser mi luz y mi camino siempre.*

*A mis padres por ser mi fortaleza y pilares fundamentales e invaluable en mi vida.*

*Al personal docente de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, por los conocimientos impartidos durante mi carrera estudiantil.*

*Al Ing. Santiago Aldás por instruirme acertadamente a lo largo del proceso investigativo.*

*A la empresa La Fortaleza Cía. Ltda. por la apertura y colaboración para el desarrollo del presente estudio.*

*Mi gratitud además a todas y cada una de las personas que contribuyeron con la realización de esta investigación, la misma que pongo a consideración y criterio de todos.*

*Santiago.*

## **PÁGINAS PRELIMINARES**

APROBACIÓN DEL TUTOR .....	ii
AUTORÍA .....	iii
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
PÁGINAS PRELIMINARES .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	xix

## **ÍNDICE DE CONTENIDOS**

CAPÍTULO 1.....	1
EL PROBLEMA.....	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.3. Delimitación.....	2
1.3.1. De contenido.....	2
1.3.2. Espacial.....	3
1.3.3. Temporal.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Objetivos .....	4

1.5.1. Objetivo general .....	4
1.5.2. Objetivo específicos .....	4
CAPÍTULO 2.....	5
MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Antecedentes investigativos .....	5
2.2. Fundamentación teórica .....	7
2.2.1. Inventario .....	7
2.2.2. Propósitos del inventario .....	7
2.2.3. Tipos de inventario .....	8
2.2.4. Costos del inventario .....	9
2.2.5. Demanda independiente contra dependiente .....	11
2.2.6. Sistemas de inventarios.....	12
2.2.7. Pronóstico de la demanda. ....	14
2.2.8. Modelo de programación lineal .....	17
2.2.9. Proceso de fabricación de suelas hechas en poliuretano en “La Fortaleza Cía. Ltda.” .....	19
2.3. Propuesta de solución.....	24
CAPÍTULO 3.....	25
METODOLOGÍA .....	25
3.1. Modalidad básica de investigación .....	25
3.1.1. Investigación bibliográfica .....	25
3.1.2. Investigación de campo .....	25
3.2. Población y muestra .....	26
3.3. Recolección de información.....	26
3.4. Procesamiento y análisis de datos .....	26
3.5. Desarrollo del proyecto .....	26



CAPÍTULO 4.....	28
DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....	28
4.1. La Fortaleza Cía. Ltda.....	28
4.1.1. Antecedentes generales.....	28
4.1.2. Productos ofertados.....	29
4.1.3. Proceso de producción de suelas hechas en poliuretano.....	30
4.1.4. Análisis de la situación actual.....	34
4.2. Lista de materiales e insumos. ....	39
4.2.1. Análisis ABC.....	43
4.3. Análisis de la demanda.....	48
4.3.1. Análisis de las ventas.....	48
4.3.2. Pronóstico de ventas .....	51
4.3.3. Consumo de materia prima.....	57
4.3.4. Pronóstico de materia prima .....	57
4.4. Cálculo de los costos relacionados con los inventarios. ....	59
4.4.1. Costo de mantener inventario .....	59
4.4.2. Costo de unidades faltantes en inventario.....	61
4.5. Determinación de la capacidad de producción.....	62
4.6. Modelo de programación lineal para el control de inventario de materia prima.....	70
4.6.1. Definición de las variables de decisión. ....	71
4.6.2. Definir la función objetivo. ....	72
4.6.3. Construcción del sistema de restricciones. ....	72
4.6.4. Aplicación el modelo matemático de programación lineal. ....	73
4.7. Cálculo de stock de seguridad.....	122
4.8. Análisis de resultados.....	125

CAPÍTULO 5.....	127
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	127
5.1. Conclusiones .....	127
5.2. Recomendaciones.....	128
BIBLIOGRAFÍA .....	129
ANEXOS .....	133
Anexo 1.- Formato de nota de pedido.....	134
Anexo 2.- Formato de ingreso de materia prima a bodega. ....	134
Anexo 3.- Registro de consumo de materia prima, desperdicios y producción.....	135
Anexo 4.- Pronóstico de la demanda para suelas de material lineal. ....	136
Anexo 5.- Pronóstico de la demanda para suelas de material semiduro. ....	137
Anexo 6.- Cálculo de factor de consumo para los artículos cruciales. ....	138
Anexo 7.- Inventario al final de cada mes de los productos del sistema poliuretano	141
Anexo 8.- Costo de almacenamiento mensual de los artículos cruciales.....	144
Anexo 9.- Valoración del ritmo del trabajo. ....	148
Anexo 10.- Suplementos en porcentaje de los tiempos normales. ....	149
Anexo 11.- Estudio de tiempos en el área de producción. ....	150
Anexo 12.- Lead time considerado para los principales proveedores.....	157
Anexo 13.- Cantidad adquirida de los artículos cruciales considerando el horizonte de planeación octubre 2013 a septiembre 2014. ....	157

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Factores para determinar el costo de mantener inventario.....	10
Tabla 2.- Tipos de suelas que se producen en base al material utilizado en su fabricación. ....	30
Tabla 3.- Inventario de materia prima. ....	40
Tabla 4.- Clasificación ABC de los artículos de materia prima. ....	44
Tabla 5.- Resumen clasificación ABC de artículos de materia prima. ....	47
Tabla 6.- Ventas mensuales en pares suelas en el período octubre 2011 a septiembre 2014. ....	49
Tabla 7.- Cálculo de factores estacionales para suelas de material duro. ....	52
Tabla 8.- Descuento de las variaciones de temporada de las ventas para suelas de material duro. ....	52
Tabla 9.- Análisis de regresión para datos con descuentos de temporada para suelas de material duro. ....	53
Tabla 10.- Pronóstico de regresión con ajuste estacional para suelas de material duro. ....	55
Tabla 11.- Pronóstico de regresión con ajuste estacional para suelas de material lineal. ....	56
Tabla 12.- Pronóstico de regresión con ajuste estacional para suelas de material semiduro. ....	56
Tabla 13.- Factor de consumo de materia prima de los artículos cruciales. ....	57
Tabla 14.- Pronóstico de la cantidad de materia prima necesaria para el horizonte de planeación octubre 2014 a septiembre 2015. ....	58
Tabla 15.- Porcentaje de tasa de almacenamiento. ....	59
Tabla 16.- Inventario al final de cada mes de isocianato Epaflex duro 99. ....	60
Tabla 17.- Costo de almacenamiento mensual para isocianato epaflex duro 99. ....	61
Tabla 18.- Costo de una faltante en inventario. ....	62
Tabla 19.- Número recomendado de observaciones. ....	63
Tabla 20.- Hoja de trabajo de estudio de tiempos: inyección. ....	66
Tabla 21.- Asignación de suplementos: inyección. ....	67
Tabla 22.- Resumen general del estudio de tiempos de la fabricación de par de suelas de material duro. ....	68
Tabla 23.- Producción diaria de pares de suelas de material duro. ....	68

Tabla 24.- Número de días laborables durante el período octubre 2014 a septiembre 2015. ....	69
Tabla 25.- Capacidad de producción mensual en pares de suelas para el período octubre 2014 a septiembre 2015. ....	69
Tabla 26.- Capacidad de producción mensual en kilogramos de suelas para material duro durante octubre 2014 a septiembre 2015.....	70
Tabla 27.- Variables de decisión para el modelo de programación lineal.....	71
Tabla 28.- Datos necesarios para el modelo PL de isocianato epaflex duro 99. ....	75
Tabla 29.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de isocianato epaflex duro 99. ....	78
Tabla 30.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de isocianato epaflex duro 99. ....	80
Tabla 31.- Análisis de inventario al final de cada mes de isocianato epaflex duro 99... ..	81
Tabla 32.- Datos necesarios para el modelo PL de polioli epaflex suave 123.....	83
Tabla 33.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de polioli epaflex suave 123. ....	85
Tabla 34.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de polioli epaflex suave 123.....	86
Tabla 35.- Datos necesarios para el modelo PL de isocianato epaflex suave 03.....	88
Tabla 36.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de isocianato epaflex suave 03. ....	90
Tabla 37.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de isocianato epaflex suave 03.....	91
Tabla 38.- Datos necesarios para el modelo PL de polioli epaflex duro 350. ....	93
Tabla 39.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de polioli epaflex duro 350. ....	95
Tabla 40.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de polioli epaflex duro 350. ....	96
Tabla 41.- Análisis de inventario al final de cada mes de polioli epaflex duro 350.....	97
Tabla 42.- Datos necesarios para el modelo PL de percloretileno.....	99
Tabla 43.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de percloretileno.....	101

Tabla 44.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de percloretileno. ....	102
Tabla 45.- Análisis de inventario al final de cada mes de percloretileno. ....	103
Tabla 46.- Datos necesarios para el modelo PL de catalizador epaflex duro CBH100.	105
Tabla 47.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de catalizador epaflex duro CBH100. ....	107
Tabla 48.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de catalizador epaflex duro CBH100. ....	108
Tabla 49.- Análisis de inventario al final de cada mes de catalizador epaflex duro CBH100. ....	109
Tabla 50.- Datos necesarios para el modelo PL de cloruro de metileno. ....	111
Tabla 51.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de cloruro de metileno.	113
Tabla 52.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de cloruro de metileno. ....	114
Tabla 53.- Datos necesarios para el modelo PL de pasta epaflex negro. ....	116
Tabla 54.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de pasta epaflex negro.	118
Tabla 55.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de pasta epaflex negro. ....	119
Tabla 56.- Análisis de inventario al final de cada mes de pasta epaflex negro. ....	120
Tabla 57.- Resumen de resultados. ....	122
Tabla 58.- Desviación estándar de la demanda para un día del isocianato epaflex duro 99. ....	124
Tabla 59.- Inventario de seguridad para los artículos cruciales. ....	125
Tabla 60.- Análisis de resultados .....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Patrones de la demanda.....	12
Figura 2.- Regresión lineal básica.....	16
Figura 3.- Horno en proceso de calentamiento de material. ....	20
Figura 4.- Mezcla de material con ayuda de máquina. ....	20
Figura 5.- Inyección de suelas hechas en poliuretano. ....	21
Figura 6.- Eliminación de exceso mediante e refilado de la suela.....	22
Figura 7.- Lavado de suela mediante inmersión. ....	22
Figura 8.- Pintura de suela mediante soplete. ....	23
Figura 9.- Raspado de suela. ....	24
Figura 10.- Organigrama estructural de "La Fortaleza Cía. Ltda." .....	29
Figura 11.- Proceso de fabricación general para suelas hechas en poliuretano. ....	31
Figura 12.- Cursograma sinóptico del proceso general de fabricación de suelas hechas en poliuretano. ....	33
Figura 13.- Codificación para un producto de materia prima. ....	34
Figura 14.- Proceso de compra de materia prima. ....	36
Figura 15.- Almacenamiento de sistema poliuretano. ....	36
Figura 16.- Almacenamiento de pinturas y espazolatos. ....	37
Figura 17.- Almacenamiento de cambriones. ....	37
Figura 18.- Almacenamiento de suelas terminadas. ....	38
Figura 19.- Clasificación ABC del inventario de materia prima. ....	47
Figura 20.- Proceso de venta.....	48
Figura 21.- Análisis de la venta de suelas.....	50
Figura 22.- Ventas históricas vs ventas pronosticadas para suelas de material duro.....	55
Figura 23.- Flujo general del proceso de producción. ....	68
Figura 24.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de isocianato epaflex duro 99. 80	
Figura 25.- Cantidad en inventario al final de cada mes de isocianato epaflex duro 99. 81	
Figura 26.- Análisis de costo total de inventario de isocianato epaflex duro 99. ....	82
Figura 27.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de polioli epaflex suave 123... 86	
Figura 28.- Análisis de costo total de inventario de polioli Epaflex suave 123.....	87
Figura 29.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de isocianato epaflex suave 03.91	
Figura 30.- Análisis de costo total de inventario de isocianato epaflex suave 03. ....	92

Figura 31.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de poliol epaflex duro 350. ....	97
Figura 32.- Cantidad en inventario al final de cada mes de poliol epaflex duro 350. ....	98
Figura 33.- Análisis de costo total de inventario de poliol epaflex duro 350. ....	98
Figura 34.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de percloretileno.....	102
Figura 35.- Cantidad en inventario al final de cada mes de percloretileno. ....	103
Figura 36.- Análisis de costo total de inventario de percloretileno. ....	104
Figura 37.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de catalizador epaflex duro CBH100. ....	108
Figura 38.- Cantidad en inventario al final de cada mes de catalizador epaflex duro CBH100. ....	109
Figura 39.- Análisis costo total de inventario de catalizador epaflex duro CBH100. ..	110
Figura 40.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de cloruro de metileno.....	114
Figura 41.- Análisis de costo total de inventario de cloruro de metileno. ....	115
Figura 42.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de pasta epaflex negro.....	120
Figura 43.- Cantidad en inventario al final de cada mes de pasta epaflex negro.....	121
Figura 44.- Análisis de costo total de inventario de pasta epaflex negro. ....	121

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación muestra una aplicación de un algoritmo matemático basado en un modelo de programación lineal, con el que se da una solución al problema de manejo de inventario de materia prima que presenta la empresa La Fortaleza Cía. Ltda. en sus bodegas, el cual genera principalmente altos costos.

Para desarrollar dicho algoritmo se parte del estudio del proceso productivo, así como del análisis de los productos necesarios para la fabricación, considerando al mismo tiempo variables tales como: la demanda, el límite de la capacidad productiva, y los costos relacionados por llevar inventario; para así plantear una función objetivo y un sistemas de restricciones, los mismos que mediante la optimización de los resultados encuentran las cantidades óptimas de material a requerir, inventario al final de cada período y la cantidad de unidades faltantes con el objetivo de satisfacer la demanda y al mismo tiempo minimizar el costo total del inventario y maximizar utilidades, considerando un horizonte de planeación de doce meses.

En apoyo a la solución del modelo, se emplea el software Lingo® cuyos resultados indican que se alcanza una disminución en el costo total de inventario anual, lo que equivale a un ahorro de \$ 52566.50, pues sólo se piden y se almacenan las cantidades óptimas necesarias previniendo así las perdidas monetarias para la empresa. Por otro lado el caso de estudio planteado presenta una oportunidad de investigaciones posteriores sobre la implementación y experimentación del modelo propuesto en empresas radicadas en el sector dedicado a la producción de suelas, con el fin de generar mayores ventajas y ahorros económicos.



## ABSTRACT

*This research shows an application of mathematical algorithms based on a linear programming model that gives a solution to the problem of inventory management of raw material that presents “La Fortaleza Cía. Ltda.” company in their cellars, which generates mainly high costs.*

*To develop this algorithm is part of the study of the production process, as well as the analysis of the products needed for the manufacture, considered at the same time variables such as: the demand, the limit of the productive capacity, And the costs associated with carrying inventory; to raise a target function and a systems of restrictions, the same that by optimizing the results found optimal quantities of material to require, Inventory at the end of each period and the amount of missing units with the objective to meet the demand and at the same time minimizing the total cost of the inventory and maximize profits, considering a planning horizon of twelve months.*

*In support to the solution of the model, it uses the software Lingo® whose results indicate that reaches a decrease in the total cost of annual inventory, which is equivalent to a saving of \$52566.50, since only are requested and stored optimal quantities necessary thus preventing monetary losses for the company. On the other hand, the case study raised presents an opportunity for subsequent research on the implementation and testing of the model proposed in firms in the sector dedicated to the production of soles, in order to generate more economic benefits and savings.*

## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

**Demanda.-** Necesidad de materiales, productos o artículos a ser adquiridos.

**Factor estacional.-** Cantidad de corrección necesaria en una serie temporal para ajustarse a la estación del año.

**Función objetivo.-** Relación matemática que representa el objetivo de un problema de programación lineal.

**Inventario.-** Recurso almacenado que sirve para satisfacer una necesidad.

**Poliuretano.-** Reacción química entre el polioliol e isocianato.

**Programación lineal.-** Técnica matemática que permite determinar la manera más eficaz de utilizar los recursos disponibles para conseguir un determinado objetivo.

**Pronóstico.-** Estimación del valor de un determinado producto a partir de criterios científicos o lógicos.

**Restricción.-** Ecuaciones lineales de las variables de decisión.

**Stock.-** Cantidad de inventario.

**Variables de decisión.-** Elementos a través de los cuales se logra el objetivo del problema de programación lineal.

**ABC.-** Análisis para dividir al inventario en tres clases en base a su volumen anual.

**BOM.-** (*Bill of materials*) Lista estructurada de materiales.

**CA.-** Costo de almacenamiento de inventario.

**CP.-** Capacidad de producción.

**CEPIA.-** Corporación de empresas del Parque Industrial Ambato.

**FE.-** Factor estacional.

**PL.-** Programación lineal.

## INTRODUCCIÓN

Toda empresa mantiene inventario en sus bodegas pues sirve como reserva contra el uso fluctuante e incierto, pero al mismo tiempo es uno de los bienes más costosos, ya que llega a representar un porcentaje importante del capital total invertido; por lo que es necesario definir de manera apropiada políticas operativas para mantener y controlar los materiales en existencia que permitan garantizar el flujo de los mismos con la calidad requerida, en el lugar y momento oportuno y a un mínimo costo, logrando así un máximo de servicio a los clientes.

Por otro lado técnicas específicas de la investigación de operaciones como la programación lineal, son de gran ayuda para la toma de decisiones, puesto que se ajustan a la realidad del problema y brindan soluciones óptimas de acuerdo al objetivo planteado, permitiendo minimizar o maximizar el mismo.

Entonces usando la programación lineal como una técnica para el manejo de inventario, se busca mejorar el método de control de inventario de materia prima en la empresa La Fortaleza Cía. Ltda., dedicada a la elaboración de suelas hechas en poliuretano. En donde el principal problema radica en que se cuenta con cantidades de materia prima estancadas en bodega, pues se realiza los pedidos sin planificación alguna y esto genera un alto costo.

En este contexto el presente proyecto muestra una opción moderna e innovadora, desarrollando un algoritmo matemático basado en un modelo de programación lineal cuya función objetivo abarca los costos por manejo de inventario y un sistema de restricciones que limitan al modelo, con el fin de minimizar el costo total de inventario y maximizar las utilidades. El modelo da a conocer las cantidades óptimas a ser requeridas, mantenidas en inventario y unidades faltantes de los productos necesarios para la producción, considerando un horizonte de planeación de doce períodos mensuales.

# CAPÍTULO 1

## EL PROBLEMA

### 1.1. Tema

“CONTROL DE INVENTARIOS MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL EN LA EMPRESA LA FORTALEZA CÍA. LTDA.”

### 1.2. Planteamiento del problema

A nivel mundial toda empresa que requiere de inversiones importantes tanto los inventarios como las cuentas por cobrar, representan una proporción significativa de los activos. Por ello, las técnicas que den como resultado minimizar el porcentaje del inventario total, pueden representar grandes ahorros en dinero [1].

En empresas manufactureras los inventarios de materia prima, productos en proceso y productos terminados absorben la holgura cuando fluctúan las ventas o los volúmenes de producción [1]. Por lo que el inadecuado manejo del inventario es el motivo que lleva al fracaso a la pequeña y mediana empresa debido a que el exceso o la escasez de un producto reflejan gastos innecesarios que sacan del balance el presupuesto de la misma.

En Ecuador la industria del calzado es uno de los sectores productivos que demuestra un importante crecimiento en los últimos años, según la presidenta de la Cámara del Calzado de Tungurahua Lilia Villavicencio a pesar del alza sostenida en las importaciones de calzado, existe un desarrollo de la industria nacional en niveles cercanos al 60% [2]; esto demuestra que la misma se desenvuelve en un medio de alta competitividad, el cual exige un mayor enfoque hacia una vigilancia permanente de sus productos.

Para empresas inmersas en este sector productivo, el no poseer inventarios actualizados que permitan de manera ágil y eficiente obtener una correcta valoración de los mismos ocasiona una toma de decisiones inadecuada sobre los diferentes costos y volúmenes de producción.

En Ambato existen empresas que suministran insumos a los productores de calzado, como es el caso de la empresa La Fortaleza Cía. Ltda., una empresa dedicada a la producción y comercialización de suelas en poliuretano desde el año 2002.

Al no llevar un control de inventario de materia prima adecuado, para la empresa es difícil conocer cuánto se debe invertir en un determinado período y cuánto está valorado el total de la mercadería. El principal inconveniente radica en que si se mantiene en bodegas determinado número de artículos necesarios para la producción, esto representa un alto costo, es decir capital inmovilizado durante un tiempo incierto.

Por otro lado el actual control de inventarios que se lleva, ocasiona en ciertos casos un exceso de materia prima, así como la disminución de la calidad de ciertos artículos; y en otros un inventario insuficiente lo que dificulta el proceso de producción puesto que el material no se provee de manera continua.

Además para la empresa, el tener grandes cantidades de materiales para la producción genera problemas de espacio físico, control interno, mayor cantidad de personal, equipos y herramientas de almacenaje. Por lo tanto es difícil encontrar un equilibrio entre el riesgo de poseer un determinado nivel de productos necesarios en bodega y el costo de sostenimiento del mismo.

### **1.3. Delimitación**

#### **1.3.1. De contenido**

- **Campo:** Ingeniería industrial en procesos de automatización.
- **Área académica:** Industrial y manufactura
- **Línea de investigación:** Industrial
- **Sublínea de investigación:** Gestión de sistemas de planeación y control de la producción de bienes industriales.

### **1.3.2. Espacial**

El presente trabajo de investigación se realiza en las instalaciones de la empresa La Fortaleza Cía. Ltda., ubicada en la calle 4, bodega 32A de la Corporación de Empresas del Parque Industrial Ambato (CEPIA).

### **1.3.3. Temporal**

El trabajo de investigación se desarrolla en los seis meses posteriores a la aprobación por parte del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

## **1.4. Justificación**

Hoy en día, el Ecuador se ve inmerso en la globalización en donde saber competir es lo primordial no solamente en precio sino también en calidad del artículo; por ello, se propone la elaboración de un modelo de control de inventarios apoyado de la programación lineal que permita obtener un equilibrio entre lo que se necesita y lo que se procesa.

La razón principal para la realización de este trabajo es el deficiente control de inventarios que afecta directamente a la generación de costos relacionados con el mantenimiento de productos necesarios para la producción. Este trabajo busca utilizar un modelo matemático que permita la toma de decisiones acerca de qué materiales se deben mantener en inventario, ya sea por razones económicas o por razones de seguridad y al mismo tiempo proveer la materia prima necesaria en el momento indicado. También se considera plantear los modelos óptimos necesarios que permitan reducir al mínimo el riesgo de pérdidas monetarias dentro de la empresa.

Se debe considerar que la programación lineal es un método poco usado para el control de inventarios, pero es uno de los modelos que proporciona una solución óptima al problema de control de stocks con demanda determinística variable con el tiempo. Supone una mayor complejidad en la etapa de modelación, sin embargo los resultados obtenidos mediante software son más que satisfactorios.

Además un buen control de inventario ayuda principalmente que la empresa se beneficie, ya que se tendrá el nivel adecuado de inventario en bodega y un buen flujo de

materiales, lo que generará un considerable ahorro de dinero, a más de que el cliente encontrará lo solicitado a tiempo con un costo moderado.

Por otro lado esta investigación es factible debido a la colaboración de todas las personas que conforman la empresa La Fortaleza Cía. Ltda., y a la apertura total a toda la información que es necesaria recolectar y considerar durante el tiempo que dure la investigación, y gracias al apoyo bibliográfico que posee el control de inventarios.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Aplicar un modelo de control de inventarios de materia prima mediante el uso de programación lineal que contribuya a la toma de decisiones dentro de la empresa.

### **1.5.2. Objetivo específicos**

- Analizar los procesos productivos existentes y la línea de productos que se realizan en la empresa.
- Evaluar el control interno de inventarios de la empresa.
- Proponer un modelo de control de inventarios de materia prima con programación lineal que permita la mejor toma de decisiones en la empresa La Fortaleza Cía. Ltda. de la ciudad de Ambato.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes investigativos**

Los inventarios son un puente de conexión entre la producción y las ventas. Las organizaciones mantienen inventarios en sus bodegas, los cuales representan frecuentemente una considerable inversión de recursos financieros. De acuerdo con P. J. H. Baily, se mantienen inventarios por dos razones: por razones de economía y por razones de seguridad [3].

Un eficiente control de inventarios trata de mantener un nivel de stock que permita, garantizar el flujo de material con la calidad requerida, en el lugar y momento oportuno y a un mínimo de costo, y así lograr un máximo de servicio a los clientes. Parada Gutiérrez desarrolla dos métodos a partir de un enfoque multicriterio que permita clasificar los productos en inventario, para establecer estrategias diferenciadas que posibiliten una gestión de aprovisionamiento eficiente y orientada a los clientes, resaltando la importancia de la gestión de los inventarios dentro de la logística empresarial [4].

Por otro lado las decisiones con respecto a las cantidades de inventarios son importantes, por lo que se debe aplicar la administración científica del inventario enfocándose en métodos de gestión que permitan reducir costos. Para Devoto Ratto y Ruiz Vidal la investigación de operaciones es una técnica de la preparación científica de las decisiones, que actualmente es utilizada por la mayor parte de las empresas de los países industrializados [5].

Modelos específicos de la investigación de operaciones como la programación lineal son de gran ayuda para la toma de decisiones dentro de la empresa. Ospina, Rodas y Botero proponen un modelo determinístico con base a datos reales, que presenta un



problema de programación lineal aplicado a una compañía con el logran un resultado óptimo que sugiere cuánto producir, cuánto demorar y cuánto almacenar en un horizonte de tiempo, minimizando los costos para un producto en especial [6].

Para Díaz, Del Brío y González la política de pedidos elegida es clave dentro de la gestión de inventarios por lo que presentan la modelización e implementación de un sistema de apoyo a la toma de decisiones para la gestión de productos perecederos aplicado a la distribución interhospitalaria de hemoderivados, tratando de satisfacer en lo posible las demandas y evitando la caducidad de los productos en las manos de los clientes [7]. Por otro lado Vidal y Goetschalckx consideran los costos de inventarios en la función objetivo de los modelos matemáticos, como una aproximación proporcional a la demanda promedio [8].

Un modelo de control de inventarios debe incluir metas para determinar rendimientos de optimización para mejorar el abastecimiento y control de stock sin margen de error, los costos de conservación, satisfacer la demanda anticipada y fiscalizar las bajas de inventarios, por lo que para la resolución del mismo se toma como apoyo la ayuda de un determinado software [9]. Morales Rubio desarrolla un sistema de control de inventarios utilizando Excel como herramienta de apoyo informática, el cual proporciona un manejo efectivo en el control de la bodega en forma global, permitiendo ingresar, editar, eliminar los stocks [10]. Ponsot y Márquez integran en un sistema computarizado un modelo de producción, inventario y ventas; el cual parte de una base de datos, resuelve el problema de programación lineal y retorna los resultados a la base de datos. Dichos resultados dan a conocer la cantidad a producir, la cantidad a almacenar y el número de unidades a demorar de un período al siguiente; para posteriormente realizar un plan de producción para la empresa [11].

Por otro lado, la herramienta de optimización Lingo® es utilizada para resolver problemas de programación lineal. Cáceres y Reyes realizan una aplicación de un modelo de programación lineal desarrollada en Lingo®, para resolver un plan de requerimiento de materiales para una empresa dedicada a la elaboración de carrocerías sobre chasis. [12]. Reyes y Molina utilizan el modelo de programación lineal desarrollado por de Hansmann, F. y Hess, utilizando Lingo® para determinar el óptimo de un plan agregado de producción para una empresa del sector curtidor de cuero [13].

## 2.2. Fundamentación teórica

### 2.2.1. Inventario

El inventario es cualquier recurso almacenado que sirve para satisfacer cualquier necesidad actual o futura y se presenta cuando el volumen de materiales, partes o bienes terminados que se reciben es mayor que el volumen de los mismos que se distribuyen [14], [15].

En manufactura, el término inventario hace referencia a las piezas que contribuyen o se vuelven parte de la producción de una empresa y generalmente incluyen materia prima, productos terminados, partes componentes, suministros y trabajo en proceso [16].

### 2.2.2. Propósitos del inventario

Todas las empresas mantienen un suministro de inventario por las siguientes razones:

- a) **Para mantener la independencia entre las operaciones.**- el suministro de materiales necesarios para la fabricación en el centro de trabajo permite flexibilidad en las operaciones. Por ejemplo, debido a que hay costos por crear una nueva configuración para la producción, este inventario permite a la gerencia reducir el número de configuraciones.
- b) **Para cubrir la variación en la demanda.**- si la demanda del producto se conoce con precisión, quizá sea producirlo en la cantidad exacta para cubrir la demanda. Sin embargo, por lo regular, la demanda es desconocida parcialmente, y es preciso tener inventarios de seguridad o de amortización para absorber la variación.
- c) **Para permitir flexibilidad en la programación de la producción.**- la existencia de un inventario disminuye la presión sobre el sistema de producción para tener listos los productos terminados. Esto ocasiona tiempos de entrega más alejados, lo que permite una planeación de la producción para tener un flujo más tranquilo y una operación a más bajo costo a través de una producción de lotes más grandes.
- d) **Protegerse contra la variación en el tiempo de entrega de la materia prima.**- al pedir material a un proveedor, pueden ocurrir atrasos por distintas razones:

una variación normal en el tiempo de envío, un faltante del material en la planta del proveedor que da lugar a pedidos acumulados, una huelga inesperada en la planta del proveedor o en una de las compañías que realizan el envío, un pedido perdido o un embarque de material incorrecto o defectuoso.

- e) **Aprovechar los descuentos basados en el tamaño del pedido.**- hay costos relacionados con los pedidos: mano de obra, llamadas telefónicas, captura, envío postal, etc. Por lo tanto, mientras más grande sea el pedido, la necesidad de otros pedidos se reduce. Asimismo, los costos de envío favorecen los pedidos más grandes; mientras más grande sea el envío, menor será el costo unitario.

Por las razones anteriores, es necesario tener presente que un inventario es costoso y que, por lo regular, las grandes cantidades no son recomendables. Los tiempos de pedido prolongados se deben a las grandes cantidades de inventario y tampoco son adecuados [16].

### 2.2.3. Tipos de inventario

A fin de cumplir con las funciones del inventario, la mayoría de empresas manufactureras mantienen cuatro tipos de inventario: inventario de materias primas; inventario de trabajo en proceso; inventario para mantenimiento, reparación y operaciones e inventario de productos terminados [17].

- a) **El inventario de materias primas** se compró, pero no se ha procesado. Este tipo de inventario se usa generalmente para separar a los proveedores del proceso de producción. Sin embargo, el enfoque preferido consiste en eliminar la variabilidad en cantidad, en calidad o en tiempo de entrega por parte del proveedor.
- b) **El inventario de trabajo en proceso (en inglés, work in process, WIP)** es de componentes o materias primas que han sufrido ciertos cambios pero no están terminados. El WIP existe por el tiempo requerido para hacer un producto (llamado tiempo del ciclo). Reducir el tiempo del ciclo disminuye el inventario. Con frecuencia esta tarea no es difícil: durante la mayor parte del tiempo en que un producto “se hace”, en realidad está ocioso.

- c) **Los inventarios dedicados a suministros de mantenimiento, reparación y operaciones (en inglés, maintenance, repair and operations, MRO)** son necesarios para mantener productivos la maquinaria y los procesos. Estos inventarios existen porque no se conocen la necesidad y los tiempos de mantenimiento y reparación de algunos equipos. Aunque la demanda del inventario MRO suele ser una función de los programas de mantenimiento, es necesario anticipar las demandas no programadas de MRO.
- d) **El inventario de bienes terminados** está constituido por productos completados que esperan su embarque. Los bienes terminados pueden entrar en inventario por no conocer las demandas futuras del cliente.

#### 2.2.4. Costos del inventario

Un sistema de inventario debe considerar sólo aquellos costos que varían directamente con la operación al decidir cuándo y cuánto reordenar; los costos independientes de dicha operación no son pertinentes. Básicamente existen cinco tipos de costos pertinentes:

- a) **Costo del producto.-** El costo o valor del producto es la suma que se paga al proveedor por producto recibido, o los costos directos de manufactura si éste se produce. Normalmente, es igual al precio de adquisición. En algunos casos, sin embargo, se pueden incluir los costos de transporte, recepción o inspección como parte de los costos del producto.
- b) **Costos de adquisición.-** Los costos de adquisición son aquellos en los que se incurre al colocar una orden de compra, o si se trata de manufactura se consideran como costos de preparación. Estos costos varían directamente con cada orden de compra colocada. Los costos de adquisición incluyen costos de servicio de correo, probablemente las llamadas telefónicas a los proveedores, costos de mano de obra en compras y contabilidad, costos de recepción, tiempo de cómputo para el mantenimiento de registros y abastecimientos para la elaboración de las órdenes de compra.
- c) **Costo de manejo de inventarios.-** Los costos de manejo o de llevar inventarios son los costos reales, los que “salen del bolsillo” y se relacionan con tener inventario disponible. Estos costos incluyen los seguros, la renta de bodegas,

calefacción, energía, impuestos, y las pérdidas por robos, descomposición de los productos o por roturas.

Otros costos de oportunidad, aunque no directos, se deben de considerar, o sea los costos en los que se incurre por tener el capital ocioso en los inventarios. En la Tabla 1 se muestran los tipos de factores que deben evaluarse para determinar el costo de mantener inventario, muchas empresas no incluyen todos los costos de mantener inventarios; en consecuencia, es común que se subestimen.

Tabla 1.- Factores para determinar el costo de mantener inventario [17].

CATEGORÍA	Costo (rango) como porcentaje del valor del inventario
Costos de edificio (renta o depreciación del edificio, costos de operación, impuestos, seguros)	3–10%
Costo por manejo de materiales (renta o depreciación del equipo, energía, costo de operación)	1–3.5%
Costo por mano de obra (recepción, almacenamiento, seguridad)	3–5%
Costo de inversión (costos de préstamos, impuestos y seguros del inventario)	6–24%
Robo, daño y obsolescencia (mucho más en industrias de cambio rápido)	2–5%
<p><b>NOTA:</b> Todas las cifras son aproximadas, puesto que varían en forma considerable según la naturaleza del negocio, su ubicación y las tasas de interés vigentes. Cualquier costo de mantener el inventario menor al 15% es dudoso, porque los costos anuales de mantener el inventario a menudo se acercan al 40% del valor del inventario y aún más en industrias de alta tecnología y moda.</p>	

- d) Costo por falta de existencias.-** Los costos por falta de existencias son los que ocasiona la demanda, cuando las existencias se agotan. Representan los costos de ventas perdidas o de pedidos no surtidos, cuando las ventas se pierden por falta de existencias, la empresa pierde el margen de utilidad de las ventas no realizadas y la confianza del cliente.
- e) Costo de operación del sistema de procesamiento de información.-** Ya sea a mano o por computadora, hay q actualizar los registros a medida que varían los niveles de existencias. En aquellos sistemas en los cuales los niveles de inventario no se registran diariamente, se incurre en este costo de operación

principalmente al obtener un recuento físico preciso de los inventarios. Con frecuencia estos costos son más fijos que variables dentro de un margen considerable.

A menudo estos costos se combinan de una u otra manera, pero es mejor considerarlos por separado antes de tomar en cuenta las combinaciones que se deben utilizar en las diferentes situaciones de un inventario [18].

### **2.2.5. Demanda independiente contra dependiente**

Una distinción fundamental en la administración del inventario es si la demanda es independiente o dependiente.

La **demanda independiente** está influida por las condiciones externas a la empresa; por lo tanto, es independiente de la demanda para cualesquiera otros artículos de inventarios. Ordinariamente, los inventarios de productos terminados y de refracciones para reemplazo tienen una demanda independiente.

Los artículos con una **demanda dependiente** poseen una demanda que se relaciona con otro artículo y que no queda independientemente determinado por el mercado. Cuando se construyen productos finales a partir de componentes, la demanda de esos componentes depende de la demanda por el producto final.

Los artículos sujetos a demanda independiente y dependiente muestran patrones muy diferentes de consumo o de demanda. Ya que la demanda independiente está sujeta a fuerzas del mercado, con frecuencia muestran tanto un patrón fijo como influencias aleatorias provenientes de las preferencias del cliente. En contraste, la demanda dependiente refleja un patrón complejo que sube y baja porque la producción se programa en lotes. Se requiere una cantidad de partes cuando se hace un lote; posteriormente, no se necesitan hasta el siguiente lote. La Fig. 1 muestra dichos patrones de la demanda. Distintos patrones de demanda implican enfoques diferentes para la administración del inventario. Para una demanda independiente es apropiada una filosofía de reabastecimiento; mientras que para una demanda dependiente se usa una filosofía de requerimientos [19].

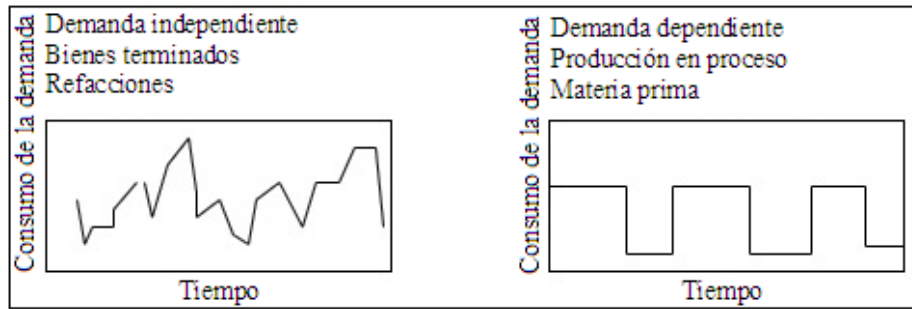


Figura 1.- Patrones de la demanda [19].

### 2.2.6. Sistemas de inventarios

Un sistema de inventario proporciona la estructura organizacional y las políticas operativas para mantener y controlar los bienes en existencia. El sistema es responsable de pedir y recibir los bienes: establecer el momento de hacer los pedidos y llevar un registro de lo que se pidió, la cantidad ordenada y a quién [16].

#### a) Modelos de inventario para demanda independiente

Para artículos cuya demanda es independiente es apropiada modelos de abastecimiento. A medida que se usa el inventario, se reabastece de forma que los productos siempre estén disponibles para los clientes; por lo tanto, conforme el inventario comienza a agotarse, se desencadena una orden para solicitar más materiales y el inventario se reabastece [19].

Se presenta tres modelos de inventario que se enfocan en dos preguntas importantes: cuándo ordenar y cuánto ordenar. Estos modelos de demanda independiente son:

- Modelo de la cantidad económica a ordenar.
- Modelo de la cantidad económica a producir.
- Modelos de descuentos por cantidad.

#### Modelo básico de la cantidad económica a ordenar

El modelo de la cantidad económica a ordenar (en inglés, Economic Order Quantity, EOQ) es una de las técnicas más antiguas y conocidas que se utilizan para el control de inventarios. Esta técnica es relativamente fácil de usar y se basa en varios supuestos:

- La demanda es conocida, constante e independiente.

- El tiempo de entrega es decir, el tiempo entre colocar y recibir la orden se conoce y es constante.
- La recepción del inventario es instantánea y completa. En otras palabras, el inventario de una orden llega en un lote al mismo tiempo.
- Los descuentos por cantidad no son posibles.
- Los únicos costos variables son el costo de preparar o colocar una orden (costo de preparación) y el costo de mantener o almacenar inventarios a través del tiempo (costo de mantener o llevar).
- Los faltantes (inexistencia) se evitan por completo si las órdenes se colocan en el momento correcto.

La cantidad económica de pedido se aplica en la manufactura para minimizar los costos totales, es decir, si minimizamos la suma de los costos de preparar y mantener, también minimizaremos el costo total [17].

### **Modelo de la cantidad económica a producir**

Este modelo es especialmente adecuado para los entornos de producción, es útil cuando el inventario se acumula de manera continua en el tiempo y se cumplen los supuestos tradicionales de la cantidad económica a ordenar. Es una extensión del modelo EOQ que relaja la suposición de una tasa de reabastecimiento infinita. En su lugar se tiene una tasa finita, que es lo normal para artículos fabricados, en donde el lote se entrega a través del tiempo de acuerdo con la tasa de producción. También se permite que ocurran faltantes y se cumplan las órdenes atrasadas, suponiendo que existe un nivel mínimo de atraso que la administración está dispuesta a tolerar [20].

### **Modelos de descuentos por cantidad**

El modelo de descuento por cantidad parte de la premisa de que en general el precio de venta de una pieza varía según el tamaño del pedido. Sin embargo, aun con el precio de descuento, colocar una orden por esa cantidad podría no minimizar el costo total de su inventario. Es seguro que entre más suba la cantidad de descuento más bajará el costo del producto. Pero los costos de mantener suben porque las órdenes son más grandes. Por lo tanto, en los descuentos por cantidad el intercambio más importante es entre un costo del producto más bajo y un costo de mantener más alto [16], [17].



## **b) Modelos de inventario para demanda dependiente**

Para artículos cuya demanda es independiente es apropiada la filosofía de requerimientos. La cantidad de inventario que se ordena se basa en las necesidades de los artículos con un nivel más alto. A medida que se utilizan los artículos o materiales con una demanda dependiente, no se ordenan inventarios adicionales. Se ordenan más artículos o materiales únicamente cuando así lo requiera la producción programada para los artículos finales de mayor nivel que se acostumbra a producir [19].

La técnica de demanda dependiente que se emplea en los ambientes de producción se llama planeación de requerimientos de materiales (MRP, Material Requirements Planning).

El uso efectivo de los modelos de inventario dependiente requiere que el administrador de operaciones conozca lo siguiente:

- El programa de producción maestro (qué debe hacerse y cuándo).
- Las especificaciones o la lista estructurada de materiales (materiales y partes necesarias para elaborar el producto).
- El inventario disponible (qué hay en existencia).
- Las órdenes de compra pendientes (lo que está pedido, también se llaman recepciones esperadas).
- Los tiempos de entrega (cuánto tiempo tardan en llegar los distintos componentes).

El sistema MRP I es un sistema de control de inventario que no toma en cuenta manufactura ni órdenes de compra para las cantidades correctas en el tiempo oportuno para respaldar el programa maestro. Este sistema lanza órdenes para controlar los inventarios de productos en proceso y materias primas, mediante la programación apropiada en tiempo de la colocación de órdenes. El sistema tipo I, sin embargo, no incluye la planeación de la capacidad [19].

### **2.2.7. Pronóstico de la demanda.**

Los buenos pronósticos son de importancia crucial para todos los aspectos del negocio: el pronóstico es la única estimación de la demanda hasta que se conoce la demanda real.

Es necesario pronosticar ya que todas las organizaciones operan en una atmósfera de incertidumbre y que, a pesar de este hecho, se deben tomar decisiones que afectan el futuro de la organización. Y se considera que para efectuar un buen pronóstico como primer pase se debe recopilar los datos necesarios, posteriormente se considera la reducción o condensación de datos para luego construir el modelo y finalmente, realiza la extrapolación del modelo (el pronóstico en sí) [21].

Los pronósticos se clasifican en cuatro tipos básicos: cualitativo, análisis de series de tiempo, relaciones causales y simulación.

Las técnicas cualitativas son subjetivas y se basan en estimados y opiniones. El *análisis de series de tiempo*, se basa en la idea de que es posible utilizar información relacionada con la demanda pasada para predecir la demanda futura. La información anterior puede incluir varios componentes, como influencias de tendencias, estacionales o cíclicas, y se describe en la sección siguiente. El pronóstico causal, que se analiza mediante la técnica de la regresión lineal, supone que la demanda se relaciona con algún factor subyacente en el ambiente. Los modelos de simulación permiten al encargado del pronóstico manejar varias suposiciones acerca de la condición del pronóstico [16].

Los modelos de series de tiempo son los más utilizados por los paquetes de pronóstico vinculados con la proyección de demanda de productos, de los cuales aquellos modelos más usuales son los de nivel constante, los estacionales y los de tendencia.

### **Modelos estacionales**

Una serie estacional se define como una serie de tiempo con un patrón de cambio que se repite a sí mismo año tras año. Por lo regular, el desarrollo de una técnica de pronóstico estacional comprende la selección de un método multiplicativo o uno de adición y estimar después índices estacionales a partir de la historia de la serie. Estos índices se usan posteriormente para incorporar la estacionalidad al pronóstico o para eliminar tales efectos de los valores observados.

Para el desarrollo del modelo se utiliza la regresión, conocida en ocasiones como “línea de mejor ajuste”, es una técnica estadística para intentar ajustar una línea a partir de un conjunto de puntos mediante el uso del mínimo error cuadrado total entre los puntos

reales y los puntos sobre la línea. Una de las bondades de la regresión es que permite determinar ecuaciones de líneas de tendencia.

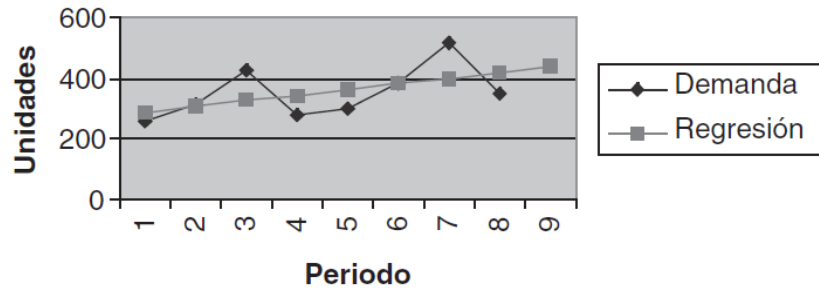


Figura 2.- Regresión lineal básica [17].

Por lo general, la regresión lineal se utiliza en el pronóstico a largo plazo, pero si se tiene cuidado al seleccionar la cantidad de periodos incluidos en los datos históricos, y este conjunto de datos se proyecta sólo unos cuantos periodos en el futuro, la regresión lineal puede utilizarse apropiadamente en pronósticos a corto plazo. Un pronóstico de demanda mediante regresión lineal, se utiliza para la planeación de suministros de los materiales, con lo que conociendo la demanda pronosticada y los suministros necesarios, existe la posibilidad de comprometer a los proveedores en un contrato de suministro de materiales.

El método de regresión lineal, así como muchas otras técnicas, emplean fórmulas básicas y esenciales para el cálculo de los pronósticos, mostrando también la tendencia que tienen los valores a calcular y que se muestran a continuación.

$$a = \frac{x^2 y - x y^2}{n x^2 - x^2} \quad (2.1)$$

$$b = \frac{n xy - x y}{n x^2 - x^2} \quad (2.2)$$

Dónde:

X: son los valores que representan a los meses de cada año.

Y: Son los valores de producción en cada uno de los meses de cada año.

La última fórmula que se presenta en consideración para el método de regresión lineal, es la que calcula los valores del pronóstico, la cual se arma con los datos encontrados en las ecuaciones anteriormente mostradas [22].

$$y = a + bx \quad (2.3)$$

### 2.2.8. Modelo de programación lineal

La programación lineal es el estudio de modelos matemáticos concernientes a la asignación eficiente de los recursos limitados en las actividades conocidas, con el objetivo de satisfacer las metas deseadas (tal como maximizar beneficios o minimizar costos). No existe una metodología muy concreta acerca de cómo se debe modelar matemáticamente un problema, por lo que una forma sencilla y bastante general de ordenar el proceso de modelación, consiste en lo siguiente.

- Identificar las variables de decisión.
- Definición de la función objetivo.
- Construcción de las restricciones.
- Definición de la función objetivo.
- Plantear la condición de no negatividad.

#### a) Definición de las variables de decisión

Es necesario recordar que las variables de decisión son los elementos a través de los cuales se logra el objetivo que se persigue. La definición de las variables de decisión se identifica con cada una de las actividades en que se descompone el problema que se estudia y se realiza en dos etapas fundamentales y un tercer elemento que puede estar definido o no, esto es la definición temporal de las mismas.

- **Definición conceptual.**-esta definición se refiere a lo que significa la variable en el contexto del problema. Para definir la variable desde el punto de vista conceptual hay que tener en cuenta el principio de unicidad, la cual puede ser de: origen, destino, estructura tecnológica, coeficiente económico.
- **Definición dimensional.**- esta definición está ligada al aspecto cuantitativo. Es decir es necesario definir las unidades de medidas en que se va a expresar las variables. Por ejemplo, toneladas, cajas, unidades, galones, etc.
- **Definición temporal.**- está asociada al período durante el cual se va a planificar o programar las actividades económicas, es decir, año, trimestre, mes etc.

En los modelos lineales continuos estas variables toman como valores números reales y se representan por letras con subíndices como se acostumbra a hacer con las variables matemáticas, o literales alusivos a su significado: peso, valor, etc. También se utiliza la representación como vector de un conjunto indexado de variable:

$$x = x_1, x_2, \dots \quad (2.4)$$

### **b) Definición de la función objetivo**

Para elaborar la función objetivo el procedimiento es sencillo. En la misma deben estar todas las variables de decisión, aunque el coeficiente asociado a las mismas sea cero o negativo. El objetivo global de un problema de Programación lineal es maximizar sus utilidades o minimizar los costos totales. Mientras existen datos suficientes en el problema y estos permitan considerar alternativas de metas u objetivos a lograr, será aplicable esta función. La PL como método cuantitativo sólo permite optimizar un objetivo o meta de la entidad económica.

$$\text{Maximizar } z = f x ; \text{ Minimizar } z = f x \quad (2.5)$$

### **c) Construcción del sistema de restricciones**

Para la construcción del sistema de restricciones es necesario seguir el siguiente procedimiento:

- Cerciorarse de la necesidad objetiva de considerar que existe una limitación cuantitativa. (Este paso es muy importante porque no debe constituir restricción aquello que realmente no esté limitado.
- Cuantificar esa limitación, entiéndase cantidad de recurso disponible, demanda de producción, etc. (darle valor al término independiente.)
- Definir el signo de la restricción atendiendo a las características específicas de la limitación que se esté modelando.
- Definir las variables que deben formar parte de las restricciones.
- Definir los coeficientes asociados a las variables, es decir, los coeficientes de conversión.

Es muy importante garantizar que la restricción sea homogénea y para esto es muy importante las unidades de medida en que están expresados los términos independientes y las variables de decisión del modelo. De estos elementos dependerán las unidades de medidas en que se expresarán los coeficientes de conversión.

Se expresan como ecuaciones e inecuaciones lineales de las variables de decisión. Matemáticamente adoptan una de las siguientes formas:

$$g_i x \geq b_i; g_i x \leq b_i; g_i x = b_i \quad (2.6)$$

$i = 1, \dots, m$ ; con  $g_i$  una función lineal en  $x$

#### **d) Condición de no negatividad**

Las variables definidas por lógica no deben tomar valores negativos, es decir una actividad económica se realiza o no, por tanto debe presentar un valor positivo. La estadística interviene en este modelo cuando se estima automáticamente la demanda, a partir de los datos históricos. Sin embargo, una vez realizada la estimación, la demanda se considera determinada y en consecuencia el modelo en esencia es determinístico [23].

#### **2.2.9. Proceso de fabricación de suelas hechas en poliuretano en “La Fortaleza Cía. Ltda.”**

El proceso de producción comprende cuatro etapas: preparación de material, inyección, pre acabados y acabados.

##### **a) Preparación de material**

Como materia prima tambores de polioliol e isocianato ingresan al horno con un máximo de 6 tambores, en el cual según la necesidad se programa una temperatura determinada, como se muestra en la Figura 3. Para que la materia prima se disuelva la temperatura se establece en 70 °C durante un tiempo de 2 horas, posteriormente se extraen los tambores de materia prima necesarios para un lote de producción y la temperatura del horno cambia a 50 °C y se mantiene constante, misma que permitirá que la materia prima entre a una etapa de estabilización impidiendo que la misma vuelva a su estado inicial.



Figura 3.- Horno en proceso de calentamiento de material.

La preparación de material continúa con el ingreso del tambor de polioli a la máquina de mezclado, dónde se añade una cantidad específica de catalizador y se deja mezclar, como se indica en la Figura 4. Luego se verifica la densidad de la mezcla y se carga en los tanques de la máquina inyectora.



Figura 4.- Mezcla de material con ayuda de máquina.

Se debe mencionar que el tambor de isocianato una vez sacado del horno y verificado su densidad es cargado directamente a los tanques de la máquina inyectora. Dependiendo del tipo de suela que se necesita producir se añaden a los tanques aditivos, generalmente AD5 y/o endurecedor junto con la pasta que da la coloración a la mezcla que es inyectada en los moldes de las suelas.

La operación finaliza con la inspección de los niveles de los tanques de la máquina inyectora.

## b) Inyección

Existen dos máquinas inyectoras de similares características con la diferencia que poseen distinto número de estaciones, la primera cuenta con 24 estaciones y se destina para la producción de suelas de material lineal y semiduro, mientras que la segunda cuenta con 30 estaciones y se destina para la producción de suelas de material duro.

La inyección del sistema poliuretano no difiere entre las dos máquinas inyectoras. Una vez listo el sistema poliuretano la máquina inyectora debe ser preparada según la necesidad de suelas a ser producidas; montar molde, establecer cantidad de material en función de tiempo – peso, aspersión y secado de desmoldante son las operaciones necesarias para iniciar. El sistema poliuretano es inyectado en los moldes que contienen el modelo de la suela y se encuentran a una temperatura de 40°C., como se muestra en la Figura 5. Posteriormente el molde es sellado y existe un tiempo en el cual el sistema poliuretano reacciona, se seca y luego las suelas son extraídas y verificadas para que no exista falla alguna.



Figura 5.- Inyección de suelas hechas en poliuretano.

## c) Pre acabados

El pre acabado tiene la finalidad de eliminar excesos en las suelas, los cuales fueron adquiridos en los procesos anteriores. Comúnmente son excesos del sistema poliuretano y de desmoldante. El pre acabado consta de dos operaciones: el refilado y el lavado de la suela.



- **Refilado de la suela**

La suela luego de ser extraída de su molde presenta un ligero exceso de poliuretano alrededor de los bordes de la misma.

Mediante la operación de refilado se elimina los excesos, exponiendo la suela a la cuchilla de la máquina refiladora, como se muestra en la Figura 6. Para esta operación se requiere una exposición y movimiento adecuado de la suela, para evitar cortes inadecuados y en el peor de los casos la pérdida de la suela.



Figura 6.- Eliminación de exceso mediante e refilado de la suela.

- **Lavado de la suela**

La suela se lava mediante inmersión en una solución de percloroetileno, químico que elimina totalmente el desmoldante contenido en la suela.



Figura 7.- Lavado de suela mediante inmersión.

Una vez que la temperatura y la velocidad han sido configuradas, el lavado de la suela es un proceso rápido y continuo, a medida que los contenedores de la máquina donde se colocan las suelas quedan libres, el operario coloca otro par de suelas para que sean lavadas; además la máquina de lavado posee 20 contenedores. En la Figura 7 se observa al operario colocando las suelas en los contenedores de la máquina de lavado.

#### **d) Acabados**

Como su nombre lo indica, los acabados comprenden ciertos tratamientos que mejoran las propiedades de la suela y dan una mejor apariencia. El acabado de una suela depende del modelo de la misma. Toda suela hecha en poliuretano se pinta, pero ciertos modelos requieren ser raspados y abrillantados como las suelas con efecto corcho.

##### **▪ Pintado de la suela**

Las suelas de poliuretano siempre se pintan, logrando diferentes efectos dependiendo de la forma de aplicación. Las suelas son pintadas mediante soplete, y mediante inmersión. En la mayoría de los casos las suelas se exponen a la máquina y se pintan por medio de pistolas como en la Figura 8. Luego las suelas se dejan secar durante un tiempo, logrando un efecto liso y brillante. El método de inmersión es poco utilizado, necesario para obtener un efecto no muy liso y para modelos de suelas con efecto corcho.



Figura 8.- Pintura de suela mediante soplete.

### ▪ Raspado y abrillantado de la suela

El raspado es una operación mediante la cual se eliminan los excesos de pintura de la suela, generalmente para suelas que pasaron por proceso de pintura por inmersión, como se muestra en la Figura 9. Además es necesario aplicar en la máquina de raspado una cera para así conseguir un mejor terminado. Mientras que el abrillantado es un cepillado uniforme para conseguir una mejor presentación de la suela. Estas operaciones sólo se realizan en los modelos que lo requieren, es decir para modelos de suelas que exigen un acabado especial.



Figura 9.- Raspado de suela.

Finalmente el proceso de producción termina cuando la suela es empacada en fundas plásticas, las que contienen las especificaciones de las mismas. Cada funda contiene la cantidad de pares especificadas en la orden del pedido del cliente. Posterior a esto los paquetes de suelas ingresan a bodega, en dónde se encargan de que el pedido al cliente.

### 2.3. Propuesta de solución

El presente trabajo de investigación pretende elaborar un modelo matemático apoyado de la programación lineal para el control de inventarios de materia prima que contribuya a la toma de decisiones en la empresa la Fortaleza Cía. Ltda.

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGÍA**

La presente investigación es de tipo aplicada ya que se busca la aplicación y utilización de conocimientos adquiridos durante la formación profesional para dar una solución práctica al problema, mejorando el control de inventarios en la empresa La Fortaleza Cía. Ltda.

#### **3.1.Modalidad básica de investigación**

En este trabajo se utiliza las siguientes técnicas de investigación aplicada utilizando la investigación de campo e investigación bibliográfica.

##### **3.1.1. Investigación bibliográfica**

En el presente proyecto de investigación se utiliza la modalidad bibliográfica porque es necesario detectar, ampliar y profundizar mediante teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores el adecuado control de inventarios, apoyándose de fuentes confiables como libros, documentos y publicaciones científicas que aporten el conocimiento requerido para poder alcanzar una adecuada solución del problema.

##### **3.1.2. Investigación de campo**

La presente investigación es de campo porque se lleva a cabo sistemáticamente el desarrollo del modelo matemático que permita el adecuado control de inventarios en la empresa La Fortaleza Cía. Ltda., para lo cual se hace visitas continuas a su planta de producción con el objetivo de identificar su funcionamiento diario y obtener información necesaria para obtener y manejar datos que permitan desarrollar la propuesta planteada.

### **3.2.Población y muestra**

La presente investigación no requiere de población y muestra ya que la propuesta planteada se desarrolla en el proceso de manejo y control de stocks dentro de la empresa la Fortaleza Cía. Ltda.

### **3.3.Recolección de información**

Toda la información se recolecta a través de la aplicación de técnicas de recolección de datos como las observaciones y la revisión de documentos existentes en la empresa relacionados con los inventarios, además un factor importante para la recolección de información es el personal que conforma la empresa, ya que son parte de los procesos e interactúan con estos; por otro lado también se requerirán la ayuda de la información bibliográfica enfocada al control de inventarios.

### **3.4.Procesamiento y análisis de datos**

Una vez obtenida la información se procede a realizar los siguientes pasos:

- a) Revisión de la información recopilada.
- b) Análisis estadístico de datos, gráficas, u otras operaciones en los datos de forma apropiada.
- c) Selección de alternativas para dar solución al problema planteado.
- d) Análisis e interpretación de los resultados.

### **3.5.Desarrollo del proyecto**

- Identificación de los procesos productivos que se realizan en la empresa.
- Obtención de la lista de materiales e insumos.
- Determinación de la demanda.
- Calculo de los costos relacionados con los inventarios.
- Determinación de la capacidad de producción.
- Definición de las variables de decisión.
- Definición la función objetivo.
- Construcción del sistema de restricciones.
- Aplicación el modelo matemático de programación lineal para el control de inventarios de materia prima.

- Utilización de un software para la resolución del modelo de programación lineal.
- Toma de decisiones y análisis de los resultados.
- Evaluación del modelo de programación lineal.

## CAPÍTULO 4

### DESARROLLO DE LA PROPUESTA

#### 4.1. La Fortaleza Cía. Ltda.

##### 4.1.1. Antecedentes generales

La Fortaleza Cía. Ltda. es una empresa Ambateña que forma parte de la Corporación de Empresas del Parque Industrial Ambato (CEPIA), ubicada en la Calle 3 Bodega 32A. Fue creada con el objetivo de romper con la tradición que se venía manteniendo con respecto a la provisión de suelas hechas en poliuretano en el país, innovando los procesos productivos y ofertando suelas de mejor calidad. Actualmente produce y comercializa suelas hechas en poliuretano, pegantes y otros insumos para las industrias de calzado y afines.

*Misión:* La Fortaleza Cía. Ltda. es una empresa ecuatoriana que desde el año 2002 lidera la producción y comercialización de suelas de poliuretano, pegantes y otros insumos de calidad mundial para las industrias del calzado y afines en nuestro país. Para así satisfacer la demanda cada vez más exigente de nuestros clientes.

*Visión:* A través de nuestro trabajo continuar liderando la provisión de suelas de poliuretano e insumos, basados en materias primas de calidad mundial y tecnología de punta, que nos permitan estar a la vanguardia, para cubrir las expectativas del mercado nacional e internacional. Sin descuidar nuestra misión social que consiste en generar empleo digno para lo que hemos de afianzar nuestro negocio con bases sólidas a partir de la confianza mutua entre los eslabones de la cadena formada por nuestros proveedores, La Fortaleza y nuestros clientes.

Actualmente la empresa se organiza mediante departamentos, dentro de los cuales se desarrollan actividades de apoyo para la gestión de la misma. A continuación la Figura 10 indica que la empresa presenta una organización vertical.

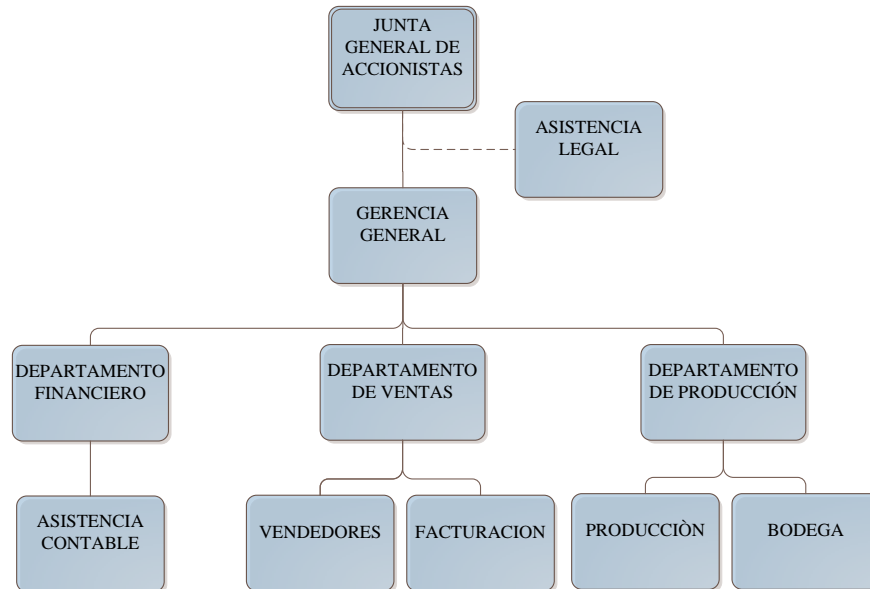


Figura 10.- Organigrama estructural de "La Fortaleza Cía. Ltda."

#### 4.1.2. Productos ofertados

La Fortaleza Cía. Ltda. realiza suelas hechas en poliuretano destinado a caballeros, damas y niños en diferentes tallas y modelos, los cuales están en dependencia de la temporada. Las suelas hechas en poliuretano se distinguen dependiendo del tipo de material que se utiliza para su fabricación, así se distingue tres grupos bien definidos: suelas de material lineal, suelas de material semiduro y suelas de material duro; las mismas que se diferencian tanto en peso como en densidad.




- Las suelas de *material lineal* son suelas blandas cuyo peso promedio es de 136 gr. y su densidad varía de 0.600 a 0.650 gr/cm<sup>3</sup>. Ideales para la fabricación de zapatos de mayor exigencia como calzado de seguridad industrial, escolar, casual y deportivo; debido a que esta suela posee buena flexibilidad y buena adaptación a las posiciones del pie.
- Las suelas de *material semiduro* son un poco más consistentes que las anteriores, con peso promedio de 108 gr. y su densidad varía de 0.450 a 0.550 gr/cm<sup>3</sup>. Son diseñadas principalmente para tacones medianos que proporcionan un confort al caminar por su ligera flexibilidad.



- Las suelas de *material duro* son mucho más consistentes que todas las anteriores con peso promedio de 110 gr., su densidad varía de 0.350 a 0.450 gr/cm<sup>3</sup>. Este tipo de suelas son ideales para tacones altos, en donde la suela no se flexa y el pie se adapta a su forma.

En la Tabla 2 se presentan ejemplos de los productos que oferta la empresa, diferenciando el tipo de material que se utiliza para su fabricación.

Tabla 2.- Tipos de suelas que se producen en base al material utilizado en su fabricación.

		Suela de material lineal
Work	37-42	
		Suela de material semiduro
Belén	26-32	
		Suela de material duro
Alondra	35-39	

#### 4.1.3. Proceso de producción de suelas hechas en poliuretano

La Fortaleza Cía. Ltda. utiliza un proceso conocido como inyección directa al corte, en la que dos materiales básicos, el polioli e isocianato en estado líquido se mezclan y forman el poliuretano. En su mayoría las suelas se producen bajo pedido y en ciertas ocasiones se cuenta con un inventario mínimo que permite cubrir pequeños pedidos. Se debe resaltar que el proceso de producción es el mismo para las todas las suelas sin importar la talla o la población a quien va dirigido. Las operaciones difieren mínimamente a lo largo del proceso de producción cuando se considera el modelo de la suela, ya que se puede añadir ciertos detalles propios de cada modelo; generalmente se

presentan en el acabado, como se muestra en la Figura 11, los métodos de pintura están en función del tipo de acabado que se desea dar a la suela.

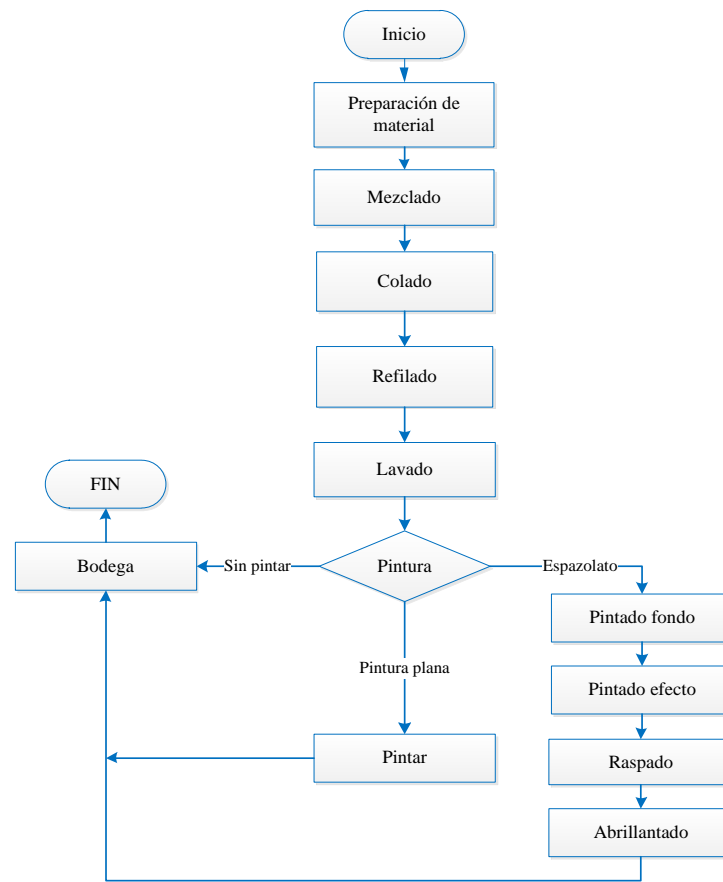


Figura 11.- Proceso de fabricación general para suelas hechas en poliuretano.

El cursograma sinóptico del proceso de fabricación actual de una suela hecha en poliuretano, se muestra en la Figura 12 para tener una visión general del proceso de producción. La fabricación inicia con el calentamiento de polioli e isocianato y termina con el raspado y abrillantado de la suela para su empaque y posteriormente su venta. Al detallar el cursograma sinóptico se tiene:

- **Operación 1:** Calentamiento de tambores de polioli e isocianato.
- **Operación 2:** Ingresar el tambor de polioli a la máquina de mezclado.
- **Operación 3:** Añadir cantidad específica de catalizador en el tambor de polioli.
- **Operación 4:** Mezclar por un tiempo de 20 minutos.
- **Inspección 1:** Verificar la densidad de la mezcla.

- **Operación 5:** Cargar los tambores de polioliol e isocianato en los tanques de la máquina inyectora.
- **Operación 6:** Añadir en la máquina inyectora aditivos, generalmente AD5 y/o endurecedor junto con la pasta que da la coloración.
- **Operación 7:** Subir molde de las suelas en las estaciones de trabajo de la máquina inyectora.
- **Operación – inspección 8:** Asegurar molde y verificar alineación y correcto funcionamiento con la ayuda del sistema neumático.
- **Operación 9:** Accionar sistema neumático y abrir el molde de la suela.
- **Operación 10:** Colocar el cambrión en la parte superior del molde de la suela.
- **Operación 11:** Rociar desmoldante preparado en el molde de la suela.
- **Operación 12:** Secar el exceso de desmoldante presente en el molde de la suela.
- **Operación 13:** Inyectar la mezcla en los moldes de la suela.
- **Operación 14:** Sellar el molde de la suela y dejar accionar la mezcla del sistema poliuretano.
- **Operación 15:** Extracción de la suela.
- **Inspección 2:** Verificar suela y de ser necesario pesar.
- **Operación 16:** Refilar suelas y eliminar excesos de poliuretano.
- **Operación 17:** Lavar suela mediante inmersión en una solución de percloroetileno para eliminar totalmente el desmoldante contenido en la suela.
- **Operación 18:** Pintar suela según requerimiento.
- **Operación 19:** Raspar suela para eliminar excesos de pintura y cepillar para brillo.
- **Inspección 3:** Inspeccionar suela para descartar fallas.
- **Operación 20:** Empacar las suelas de poliuretano.

Es muy importante mencionar que las operaciones: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,17, 18, 20,22 y la inspección 1 sólo se realizan de manera única antes de iniciar un nuevo lote de producción, a partir de esto, el proceso de fabricación para el resto del lote inicia en la operación 9 y avanza sucesivamente. Además se debe considerar que solamente alrededor de un 20% del total de modelos de suelas requieren cambrión para su fabricación; así como la operación de raspado y abrillantado, necesaria sólo para aquellos modelos que requieren un acabado especial en la etapa de pintura.

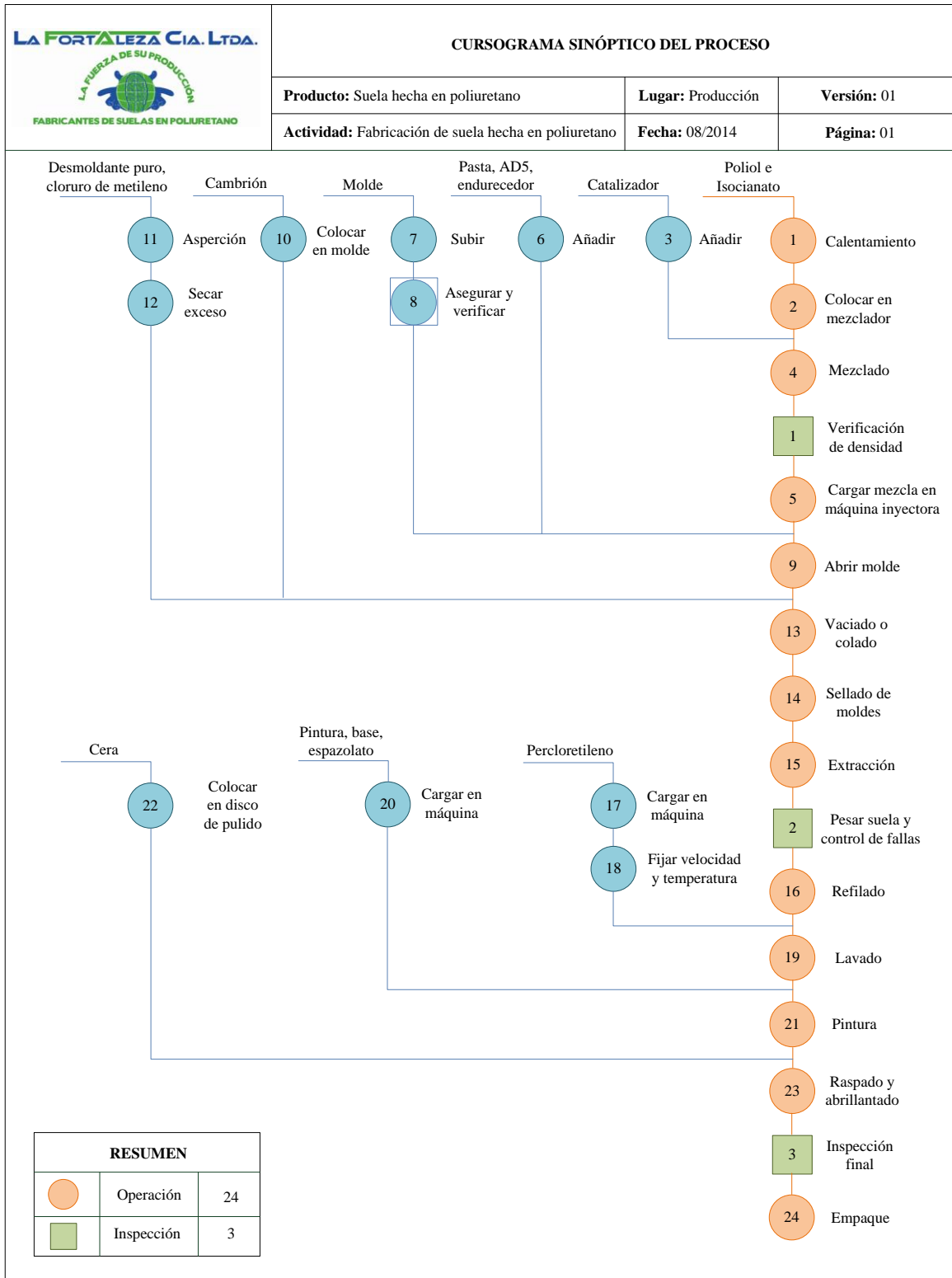


Figura 12.- Cursograma sinóptico del proceso general de fabricación de suelas hechas en poliuretano.

#### 4.1.4. Análisis de la situación actual

Una vez conocido el proceso de producción es necesario realizar un análisis de la materia prima que se necesita, es decir analizar el inventario con que se cuenta en la empresa y el manejo y control que se da al mismo en bodega para la producción de suelas hechas en poliuretano.

##### Análisis del inventario

En bodega existen dos grupos de inventario: el inventario de materia prima y el inventario de producto terminado, siendo la materia prima la predominante en cantidad.

Tanto los artículos de materia prima como de producto terminado están codificados. El código es asignado por un sistema informático contable, el cual en parte contiene los stocks con los que se cuenta. El código es generado automáticamente cuando se ingresa un nuevo producto al sistema, y está en función de la información del producto como: el grupo al que pertenece, la descripción del mismo, el proveedor, la numeración entre otros detalles de ser el caso.

Por ejemplo un código para un producto de materia prima se muestra en la Figura 13 y hace referencia a que el producto pertenece al grupo de materia prima, se trata del químico isocianato, su proveedor es la empresa Epaflex y finalmente se especifica el tipo de isocianato en número.

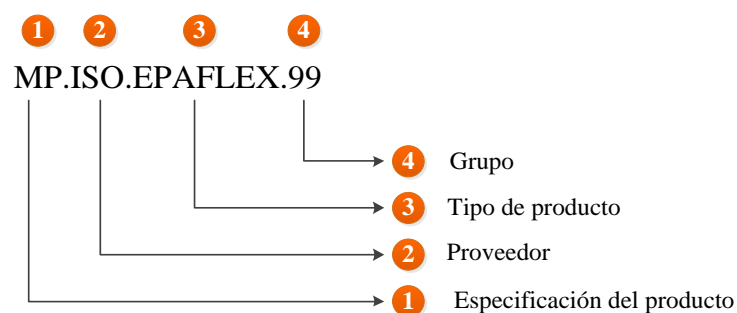


Figura 13.- Codificación para un producto de materia prima.

Por otro lado un ejemplo de un ítem de producto terminado es la siguiente: **S.CANASTA** y hace referencia a que el producto pertenece al grupo de suelas y se trata del modelo canasta.

## **Manejo y control actual de inventarios en bodega**

Actualmente la empresa no cuenta con una política bien definida para el manejo de inventario, puesto que el mismo está en función de la demanda y ésta en cuanto a los pedidos de los clientes. Por lo que es difícil conocer cuándo se debe realizar un pedido al proveedor y en qué cantidad, al mismo tiempo no se cuenta con un registro exacto de los stocks.

Además, la información de inventarios se encuentra concentrada en un sistema contable llamado Fénix, el cual no se lo usa en su totalidad, ya que no existe un manual de uso o una persona calificada que pueda capacitar en el correcto uso del mismo. En este software se lleva la contabilidad de la empresa, además los registros de ingreso y egresos de productos de materia prima y producto terminado pero en ciertas ocasiones la información registrada en el sistema contable no coincide totalmente con lo que realmente se posee en bodega.

Se puede decir que el proceso de manejo de inventarios inicia cuando se genera un pedido de materia prima. Empíricamente se realiza un pedido cuando el stock en bodega está próximo a agotarse, el jefe de producción es quien lo notifica a través de la nota de pedido que se muestra en el Anexo 1, en donde se especifica la fecha, proveedor, cantidad, detalle entre otros aspectos; los cuales son transferidos al departamento financiero de la empresa, en donde conjuntamente con gerencia planifican la compra.

Por otro lado teniendo en cuenta que la entrega por parte del principal proveedor no es inmediata, puesto que éste es extranjero, la compra se la realiza mucho antes. De ser caso y se presentase un retraso en la entrega o peor aún llegar a un nivel de inventario nulo, se realizan compras locales que representan un alto costo. Entonces para realizar un pedido y posteriormente la compra de artículos de materia prima se lleva a cabo el proceso que se describe en la Figura 14.

Los artículos son recibidos por parte del jefe de producción, y se registra manualmente el ingreso a bodega con la ayuda del formato que se presenta en el Anexo 2, en el que se especifica los detalles y las cantidades de los mismos; posteriormente esta información se envía al departamento financiero, junto con las facturas de compra para que sean ingresados al sistema contable.

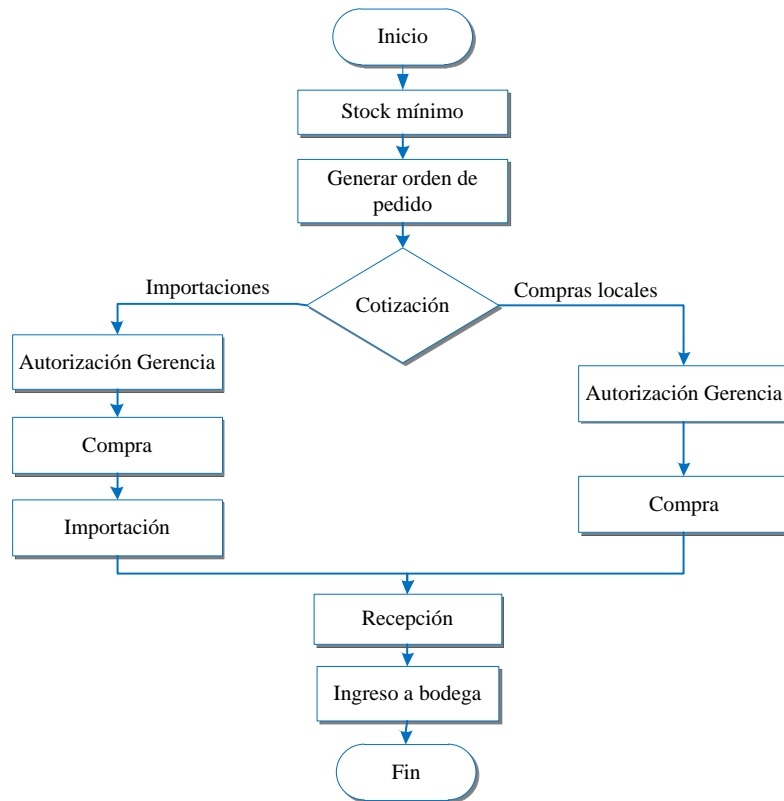


Figura 14.- Proceso de compra de materia prima.

Una vez realizado el registro de ingreso a bodega, la materia prima se almacena. Los tambores de polioliol, isocianato, catalizar se almacenan en forma vertical uno encima de otro, y no se coloca identificación, puesto que poseen etiquetas de identificación propia del proveedor y se diferencian entre sí por el color de su contenedor. Se observa en la Figura 15 que existen productos que no pertenecen a este grupo y ocasionan un ligero desorden.



Figura 15.- Almacenamiento de sistema poliuretano.

En el caso de las pinturas, espazolatos, AD5, endurecedor y otros aditivos, los contenedores de los mismos se colocan en estanterías. Como se observa en la Figura 16 los productos no presentan una adecuada identificación y se almacenan de forma esporádica sin importar el orden de la bodega, a más que se presentan productos abiertos de los cuales no se conoce su cantidad específica.



Figura 16.- Almacenamiento de pinturas y espazolatos.

Los cambriones se almacenan en forma vertical e igualmente poseen la identificación propia del proveedor. Al igual que el caso anterior se presentan cajas abiertas de las cuales no se conoce la cantidad que contiene. Al mismo tiempo se evidencia la presencia de tambores del sistema poliuretano vacíos y como se observa en la Figura 17.



Figura 17.- Almacenamiento de cambriones.

Todos los factores que se han mencionado anteriormente hacen que, conocer el estado de inventario resulte complejo, pues ciertos artículos manejan registros físicos y otros se



apoyan del software contable. En la mayoría se trata de poseer la información digitalizada y actualizada, para determinar de manera fácil el nivel de inventario mensual, el cual es calculado por el departamento de contabilidad considerando la información proporcionada con los registros de consumo de materia prima, desperdicios y producción que se presenta en el Anexo 3, el registro de ingreso de artículos nuevos a bodega mencionado anteriormente, y los registros propios que se llevan en dicho departamento, pero los resultados no son del todo confiables puesto que existen materiales estancados en bodega.

Actualmente el control de inventario de materia prima está a cargo del departamento de producción, específicamente el jefe de producción, es quien autoriza el uso de los artículos que se posee en bodega y lleva los registros de consumos y desperdicios de materia prima.

Por otro lado el empaque, despacho y control de producto terminado está a cargo de un trabajador conjuntamente con el departamento de ventas, quienes están en contacto con el cliente. En la Figura 18 se muestra la forma en cómo se almacenan los productos terminados en bodega, en donde permanecen muy poco tiempo puesto que se despacha inmediatamente una vez contactado al cliente.



Figura 18.- Almacenamiento de suelas terminadas.

Claramente se diferencia que los artículos de materia prima presentan una mayor concentración y permanecen mayor tiempo en bodega, con respecto a los productos terminados.

#### 4.2. Lista de materiales e insumos.

La Tabla 3 muestra la materia prima con la que se cuenta en bodega, la información se presenta organizada mediante los siguientes grupos de materiales: sistema poliuretano, moldes, pintura, pastas y cambriones. Además cada material especifica su código, una descripción, su unidad de medida, su inventario inicial, sus compras netas incluido las devoluciones y descuentos, su inventario final, su cantidad anual calculada, su costo unitario expresado en dólares y por último su costo anual también calculado y expresado en dólares, los datos son tomados del Anexo 13.

El cálculo de la cantidad anual de cada producto se basa en la aplicación de la ecuación siguiente:

$$\text{Cantidad anual} = \text{inv. inicial} + \text{compras netas} - \text{inv. final} \quad (4.1)$$

Para realizar el cálculo efectuado apoyado de la ecuación 4.1 se toma la información del año 2013, puesto que son datos recientes y validados. Entonces, el inventario inicial corresponde a las existencias con las que se contaba en enero de 2013, las compras netas son las cantidades que se adquirieron durante todo el año 2013 incluyendo las devoluciones y descuentos; por otro lado el inventario final son todas las existencias durante diciembre del 2013.

A continuación se presenta un ejemplo del artículo isocianato 99:

$$\text{Cantidad anual}_{\text{isocianato.99}} = 1860 + 24000 - 2400 \text{ kg}$$

$$\text{Cantidad anual}_{\text{isocianato.99}} = 23460 \text{ kg}$$

Una vez conocido esto para todos los materiales, se procede a calcular su costo anual mediante el producto entre la cantidad anual y su costo unitario. Continuando con el ejemplo se tiene:

$$\text{Costo anual}_{\text{isocianato.99}} = 23460 \text{ kg} \times 4,05 \frac{\$}{\text{kg}} \quad (4.2)$$

$$\text{Costo anual}_{\text{isocianato.99}} = 95013 \text{ \$/año}$$

A continuación la Tabla 3 presenta el cálculo efectuado para todos productos de materia prima.

Tabla 3.- Inventario de materia prima.

<b>GRUPO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>ARTÍCULO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>INV. INICIAL</b>	<b>COMPRAS NETAS</b>	<b>INV. FINAL</b>	<b>CANTIDAD ANUAL</b>	<b>COSTO UNITARIO (\$/Kg)</b>	<b>COSTO ANUAL (\$/año)</b>
<b>SISTEMA POLIURETANO</b>	MP.ISO.EPAFLEX.99	Isocianato epaflex duro 99	Kg	1860,00	24000,00	2400,00	23460,00	4,05	95013,00
	MP.POL.EPAFLEX.350	Poliol epaflex duro 350	Kg	1154,00	12644,00	1360,00	12438,00	4,05	50373,90
	MP.CAT.EPAFLEX CBH100	Catalizador epaflex duro CBH100	Kg	144,00	2760,00	252,00	2652,00	4,06	10767,12
	MP.ISO.EPAFLEX.03	Isocianato epaflex suave 03	Kg	4112,00	12660,00	3430,00	13342,00	4,05	54035,10
	MP.POL.EPAFLEX.123	Poliol epaflex suave 123	Kg	3102,00	12240,00	2340,00	13002,00	4,50	58509,00
	MP.CAT.EPAFLEX.601	Catalizador epaflex suave 601	Kg	314,62	1257,90	255,68	1316,84	4,06	5346,37
	MP.ENDURECEDOR	Endurecedor o TR	Kg	106,50	800,00	321,00	585,50	4,05	2371,28
	MP.DESMOLDANTE	Desmoldante puro	Kg	87,50	373,00	32,50	428,00	3,20	1369,60
	MP.AD5	AD5	Kg	54,00	65,00	73,00	46,00	4,00	184,00
	MP.ANTIESTÁTICO	Antiestático	Kg	184,00	0,00	128,00	56,00	3,64	203,84
	MP.CLORURO	Cloruro de metileno	Kg	475,00	9255,00	193,00	9537,00	1,03	9823,11
	MP.DIMETIL	Dimetil	Kg	68,00	190,00	69,00	189,00	6,67	1260,63
	MP.DOP	Dop	Kg	128,00	400,00	290,00	238,00	2,63	625,94
	MP.PERCLORETILENO	Percloretileno	Kg	493,50	6450,24	986,00	5957,74	1,81	10783,51
<b>MOLDES</b>	MP.KIT.1404	Kit 1404A + 3404B	Kg	0,00	116,00	0,00	116,00	18,28	2120,48
	MP.RESINA	Kit Resina 6090A + 1956B	Kg	0,00	15,00	0,00	15,00	287,20	4308,00
<b>PINTURAS</b>	T.THINNER	Thinner industrial	Lt	59,00	1810,60	72,50	1797,10	1,59	2857,39
	T.BASEP-ALMENDRA	Base preparada almendra 1	Kg	23,00	720,00	49,00	694,00	7,96	5524,24
	T.BASEP-ALMENDRA2	Base preparada almendra2	Kg	6,00	0,00	0,00	6,00	6,70	40,20
	T.BASEP-BEIGE.A	Base preparada beige (A-10)	Kg	56,00	60,00	35,00	81,00	7,44	602,64
	T.BASEP-BRONCE	Base preparada bronce - Compuesto oro PUCS	Kg	19,00	20,00	9,50	29,50	8,38	247,21
	T.BASE-CORCHO	Base corcho neutro	Kg	35,50	0,00	0,00	35,50	6,30	223,58
	T.BASE-CORCHO	Base corcho neutro	Kg	35,50	0,00	0,00	35,50	6,30	223,58

Tabla 3.- Inventario de materia prima (continuación 1).

<i>GRUPO</i>	<i>CÓDIGO</i>	<i>ARTÍCULO</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>INV. INICIAL</i>	<i>COMPRAS NETAS</i>	<i>INV. FINAL</i>	<i>CANTIDAD ANUAL</i>	<i>COSTO UNITARIO (\$/Kg)</i>	<i>COSTO ANUAL (\$/año)</i>
<i>PINTURAS</i>	T.BASEP-MADERA.3	Base preparada madera (3) - Compuesto beige 001	Kg	55,50	520,00	19,00	556,50	7,29	4056,89
	T.BASEP-NOCE	Base preparada noce - Compuesto marrón	Kg	79,00	680,00	47,00	712,00	7,50	5340,00
	T.BASEP-OCRE	Base preparada Ocre.Br - Compuesto ocre 3	Kg	22,00	160,00	12,50	169,50	8,02	1359,39
	T.BASE-PUB	Base PUB 21X034871	Kg	18,00	0,00	0,00	18,00	11,18	201,24
	T.BASEP-CAOBA	Base preparada caoba	Kg	51,00	20,00	0,00	71,00	7,87	558,77
	T.BASEP-MADERA.PUCS	Base preparada madera PUCS	Kg	22,00	440,00	56,50	405,50	7,98	3235,89
	T.BLANCO	Pintura preparada blanco	Kg	0,00	100,00	12,00	88,00	8,10	712,80
	T.CAFE 02	Pintura café 02 - Compuesto (39) Putia	Kg	34,00	40,00	31,00	43,00	7,74	332,82
	T.CL.PALACIOS	Pintura corcho leño Palacios	Kg	94,00	0,00	89,00	5,00	8,02	40,10
	T.CM.PALACIOS	Pintura corcho marrón 39 inmersión	Kg	0,00	80,00	53,00	27,00	6,88	185,76
	T.CORCHO-MARRON	Pintura corcho almendra	Kg	0,00	60,00	22,00	38,00	8,80	334,40
	T.PIN.INM.COR	Pintura inmersión corcho trigo	Kg	85,50	250,00	0,00	335,50	7,91	2653,81
	T.PIN.INM.MIEL	Pintura inmersión miel	Kg	57,00	60,00	15,00	102,00	7,54	769,08
	T.ESP-CAJU	Espazolato caju	Kg	41,00	40,00	35,00	46,00	8,20	377,20
	T.ESP-MADERA	Espazolato madera - compuesto	Kg	49,00	200,00	13,00	236,00	7,29	1720,44
	T.ESP.MARRON3	Espazolato marrón 3	Kg	81,00	180,00	46,00	215,00	7,64	1642,60
	T.ESP.MARRON4	Espazolato marrón 4	Kg	16,00	660,00	0,00	676,00	8,26	5583,76
	T.ESP-NEGRO	Espazolato negro - compuesto negro	Kg	27,00	100,00	27,00	100,00	7,56	756,00
	T.ESPAZOA10	Espazolato A-10 - Compuesto marrón	Kg	0,00	280,00	9,00	271,00	7,64	2070,44
	T.ESP-CAFE.DC	Espazolato café DC.	Kg	11,00	0,00	0,00	11,00	4,25	46,75
	T.ESP-LADRILLO	Espazolato ladrillo	Kg	16,50	0,00	0,00	16,50	7,64	126,06
	T.MANI2	Pintura maní (2) - Compuesto noccio	Kg	16,50	140,00	30,00	126,50	7,65	967,73
T.NEGRO-BRILLO	Pintura negro brillo	Kg	74,00	380,00	32,00	422,00	9,95	4198,90	

Tabla 3.- Inventario de materia prima (continuación 2).

<b>GRUPO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>ARTÍCULO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>INV. INICIAL</b>	<b>COMPRAS NETAS</b>	<b>INV. FINAL</b>	<b>CANTIDAD ANUAL</b>	<b>COSTO UNITARIO (\$/Kg)</b>	<b>COSTO ANUAL (\$/año)</b>
	T.BRILLO-MATE	Pintura preparada negro mate	Kg	348,50	50,00	25,00	373,50	4,24	1583,64
	T.FOSCA	Pintura fosca	Kg	3,00	0,00	0,00	3,00	5,24	15,72
<b>PASTAS</b>	T.PAS-BLANCO	Pasta blanco	Kg	20,00	0,00	11,50	8,50	7,40	62,91
	T.PAS-NEGRO	Pasta negro	Kg	8,50	80,00	0,00	88,50	7,56	669,06
	T.PAS-OCRE	Pasta ocre	Kg	4,00	0,00	0,00	4,00	6,59	26,36
	T.PAS-PUPO	Pasta pupo	Kg	35,00	0,00	0,00	35,00	12,92	452,20
	T.CERA-RASPAR	Cera raspar	Unidad	0,00	212,00	0,00	212,00	7,24	1534,88
	MP.PAS.EPAFLEX.B	Pasta epaflex beige	Kg	15,50	130,00	133,50	12,00	8,02	96,24
	MP.PAS.EPAFLEX.C	Pasta epaflex café	Kg	100,00	50,00	141,00	9,00	7,87	70,83
	MP.PAS.EPAFLEX.N	Pasta epaflex negro	Kg	57,00	821,00	39,00	839,00	7,72	6477,08
	MP.PAS.EPAFLEX.MM	Pasta epaflex marrón medio	Kg	15,00	0,00	0,00	15,00	7,01	105,15
	MP.PAS.LIKO.R	Pasta liko rojo	Kg	31,00	0,00	30,00	1,00	12,16	12,16
	MP.PAS.LIKO.C	Pasta liko camel	Kg	18,00	0,00	0,00	18,00	7,31	131,58
	MP.PAS.LIKO.H	Pasta liko habanna	Kg	6,50	0,00	0,00	6,50	4,60	29,90
	MP.PAS.PROINCALZA.R	Pasta proincalza rojo	Kg	33,00	0,00	25,00	8,00	5,50	44,00
	MP.PAS.BLANCA	Pasta blanca	Kg	36,00	95,00	70,00	61,00	7,31	445,91
<b>CAMBRIONES</b>	C.ALINI	Cambrión Alini 5054 T1-T2-T3	Unidad	7294,00	0,00	5478,00	1816,00	0,40	722,77
	C.DALIS	Cambrión Dalis 3818	Unidad	10844,00	0,00	0,00	10844,00	0,19	2060,36
	C.HEIDY	Cambrión Heidy 5117 T1-T2-T3	Unidad	2515,00	0,00	2197,00	318,00	0,19	61,41
	C.MADONA	Cambrión Madona 3763 T1-T2	Unidad	36130,00	0,00	35950,00	180,00	0,11	19,75
	C.NATALIA	Cambrión Natalia 4112	Unidad	27897,00	0,00	9821,00	18076,00	0,18	3199,45
	C.NATALY	Cambrión Nataly 4534 T1-T2	Unidad	24136,00	0,00	13794,00	10342,00	0,13	1345,49
	C.SILVANA	Cambrión Silvana 5343 T2-T3-T4	Unidad	4867,00	15000,00	16633,00	3234,00	0,63	2049,71

#### 4.2.1. Análisis ABC

El análisis ABC divide el inventario disponible en tres clases con base en su volumen anual en dinero. Además, este análisis se base en el principio de Pareto, el cual establece que hay “pocos artículos cruciales y muchos triviales”. La idea es establecer políticas de inventarios que centren sus recursos en las pocas partes cruciales del inventario y no en las muchas partes triviales [17].

Para el análisis ABC, los artículos de clase A son aquellos que tienen un alto volumen anual en dinero. Aunque estos artículos pueden constituir sólo un 15% de todos los artículos del inventario, representarían entre el 70% y el 80% del uso total en dinero. Los artículos del inventario de clase B tienen un volumen anual en dinero intermedio. Estos artículos representan alrededor del 30% de todo el inventario y entre un 15% y un 25% del valor total. Por último, los artículos de bajo volumen anual en dinero pertenecen a la clase C y pueden representar sólo un 5% de tal volumen pero casi el 55% de los artículos en inventario.

#### Clasificación ABC de artículos de materia prima

Para la clasificación ABC se parte de la información presentada en la Tabla 4, y como primer paso se ordenan todos los ítems de mayor a menor considerando su costo anual. Posteriormente se calcula el porcentaje de inversión por material mediante la relación entre su costo anual y el costo anual total, a continuación un ejemplo del artículo isocianato 99:

$$\%inversión_{isocianato.99} = \frac{23460 \$/año}{375077,50 \$/año} \times 100 = 25,33 \% \quad (4.3)$$

Luego se calcula el porcentaje acumulado para cada material mediante la suma del porcentaje de inversión anterior más el porcentaje de inversión de ese material, se presenta un ejemplo del artículo poliol 123:

$$\%acumulado_{poliol.123} = 25,33 + 15,59 \% = 40,93 \% \quad (4.4)$$

Para el siguiente análisis, se considera como clase A todos aquellos artículos cuyo porcentaje representa el 80% del costo anual, la clase B artículos con el 15 % y por último a clase C con 5%.

Tabla 4.- Clasificación ABC de los artículos de materia prima.

<i>CÓDIGO</i>	<i>ARTÍCULO</i>	<i>CANTIDAD ANUAL (Kg)</i>	<i>COSTO UNITARIO (\$/Kg)</i>	<i>COSTO ANUAL (\$/año)</i>	<i>% INVERSIÓN</i>	<i>% ACUMULADO</i>	<i>CLASE DE INVENTARIO</i>
MP.ISO.EPAFLEX.99	Isocianato epaflex duro 99	23460,00	4,05	95013,00	25,33157%	25,33157%	A
MP.POL.EPAFLEX.123	Poliol epaflex suave 123	13002,00	4,50	58509,00	15,59918%	40,93074%	
MP.ISO.EPAFLEX.03	Isocianato epaflex suave 03	13342,00	4,05	54035,10	14,40638%	55,33712%	
MP.POL.EPAFLEX.350	Poliol epaflex duro 350	12438,00	4,05	50373,90	13,43026%	68,76739%	
MP.PERCLORETILENO	Percloretileno	5957,74	1,81	10783,51	2,87501%	71,64240%	
MP.CAT.EPAFLEX CBH100	Catalizador epaflex duro CBH100	2652,00	4,06	10767,12	2,87064%	74,51304%	
MP.CLORURO	Cloruro de metileno	9537,00	1,03	9823,11	2,61895%	77,13199%	
MP.PAS.EPAFLEX.N	Pasta epaflex negro	839,00	7,72	6477,08	1,72686%	78,85886%	
T.ESP.MARRON4	Espazolato marrón 4	676,00	8,26	5583,76	1,48870%	80,34755%	
T.BASEP-ALMENDRA	Base preparada almendra1	694,00	7,96	5524,24	1,47283%	81,82038%	
MP.CAT.EPAFLEX.601	Catalizador epaflex suave 601	1316,84	4,06	5346,37	1,42540%	83,24578%	
T.BASEP-NOCE	Base preparada noce - Compuesto marrón	712,00	7,50	5340,00	1,42371%	84,66949%	
MP.RESINA	Kit Resina 6090A + 1956B	15,00	287,20	4308,00	1,14856%	85,81805%	
T.NEGRO-BRILLO	Pintura negro brillo	422,00	9,95	4198,90	1,11948%	86,93752%	
T.BASEP-MADERA.3	Base preparada madera (3) - Compuesto beige 001	556,50	7,29	4056,89	1,08161%	88,01914%	
T.BASEP-MADERA.PUCS	Base preparada madera PUCS	405,50	7,98	3235,89	0,86273%	88,88186%	
C.NATALIA	Cambrión Natalia 4112	18076,00	0,18	3199,45	0,85301%	89,73487%	
T.THINNER	Thinner industrial	1797,10	1,59	2857,39	0,76181%	90,49669%	
T.PIN.INM.COR	Pintura inmersión corcho trigo	335,50	7,91	2653,81	0,70754%	91,20422%	
MP.ENDURECEDOR	Endurecedor o TR	585,50	4,05	2371,28	0,63221%	91,83643%	
MP.KIT.1404	Kit 1404A + 3404B	116,00	18,28	2120,48	0,56534%	92,40178%	
T.ESPAZOA10	Espazolato A-10 - Compuesto marrón	271,00	7,64	2070,44	0,55200%	92,95378%	

Tabla 4.- Clasificación ABC de los artículos de materia prima (continuación 1).

<i>CÓDIGO</i>	<i>ARTÍCULO</i>	<i>CANTIDAD ANUAL (Kg)</i>	<i>COSTO UNITARIO (\$/Kg)</i>	<i>COSTO ANUAL (\$/año)</i>	<i>% INVERSIÓN</i>	<i>% ACUMULADO</i>	<i>CLASE DE INVENTARIO</i>
C.DALIS	Cambrión Dalis 3818	10844,00	0,19	2060,36	0,54932%	93,50309%	<b>B</b>
C.SILVANA	Cambrión Silvana 5343 T2-T3-T4	3234,00	0,63	2049,71	0,54648%	94,04957%	
T.ESP-MADERA	Espazoloto madera - compuesto	236,00	7,29	1720,44	0,45869%	94,50826%	
T.ESP.MARRON3	Espazoloto marrón 3	215,00	7,64	1642,60	0,43794%	94,94620%	
T.BRILLO-MATE	Pintura preparada negro mate	373,50	4,24	1583,64	0,42222%	95,36841%	<b>C</b>
T.CERA-RASPAR	Cera raspar	212,00	7,24	1534,88	0,40922%	95,77763%	
MP.DESMOLDANTE	Desmoldante puro	428,00	3,20	1369,60	0,36515%	96,14278%	
T.BASEP-OCRE	Base preparada Ocre.Br - Compuesto ocre 3	169,50	8,02	1359,39	0,36243%	96,50521%	
C.NATALY	Cambrión Nataly 4534 T1-T2	10342,00	0,13	1345,49	0,35872%	96,86393%	
MP.DIMETIL	Dimetil	189,00	6,67	1260,63	0,33610%	97,20003%	
T.MANI2	Pintura maní (2) - Compuesto noccio	126,50	7,65	967,73	0,25801%	97,45804%	
T.PIN.INM.MIEL	Pintura inmersión miel	102,00	7,54	769,08	0,20505%	97,66309%	
T.ESP-NEGRO	Espazoloto negro - compuesto negro	100,00	7,56	756,00	0,20156%	97,86464%	
C.ALINI	Cambrión Alini 5054 T1-T2-T3	1816,00	0,40	722,77	0,19270%	98,05734%	
T.BLANCO	Pintura preparada blanco	88,00	8,10	712,80	0,19004%	98,24738%	
T.PAS-NEGRO	Pasta negro	88,50	7,56	669,06	0,17838%	98,42576%	
MP.DOP	Dop	238,00	2,63	625,94	0,16688%	98,59264%	
T.BASEP-BEIGE.A	Base preparada beige (A-10)	81,00	7,44	602,64	0,16067%	98,75332%	
T.BASEP-CAOBA	Base preparada caoba	71,00	7,87	558,77	0,14897%	98,90229%	
T.PAS-PUPO	Pasta pupo	35,00	12,92	452,20	0,12056%	99,02285%	
MP.PAS.BLANCA	Pasta blanca	61,00	7,31	445,91	0,11888%	99,14174%	
T.ESP-CAJU	Espazoloto caju	46,00	8,20	377,20	0,10057%	99,24230%	
T.CORCHO-MARRON	Pintura corcho almendra	38,00	8,80	334,40	0,08915%	99,33146%	
T.CAFE 02	Pintura café 02 - Compuesto (39) Putia	43,00	7,74	332,82	0,08873%	99,42019%	



Tabla 4.- Clasificación ABC de los artículos de materia prima (continuación 2).

<i>CÓDIGO</i>	<i>ARTÍCULO</i>	<i>CANTIDAD ANUAL (Kg)</i>	<i>COSTO UNITARIO (\$/Kg)</i>	<i>COSTO ANUAL (\$/año)</i>	<i>% INVERSIÓN</i>	<i>% ACUMULADO</i>	<i>CLASE DE INVENTARIO</i>	
T.BASEP-BRONCE	Base preparada bronce - Compuesto oro PUCS	29,50	8,38	247,21	0,06591%	99,48610%	<b>C</b>	
T.BASE-CORCHO	Base corcho neutro	35,50	6,30	223,58	0,05961%	99,54571%		
MP.ANTIESTÁTICO	Antiestático	56,00	3,64	203,84	0,05435%	99,60005%		
T.BASE-PUB	Base PUB 21X034871	18,00	11,18	201,24	0,05365%	99,65371%		
T.CM.PALACIOS	Pintura corcho marrón 39 inmersión	27,00	6,88	185,76	0,04953%	99,70323%		
MP.AD5	AD5	46,00	4,00	184,00	0,04906%	99,75229%		
MP.PAS.LIKO.C	Pasta liko camel	18,00	7,31	131,58	0,03508%	99,78737%		
T.ESP-LADRILLO	Espazolato ladrillo	16,50	7,64	126,06	0,03361%	99,82098%		
MP.PAS.EPAFLEX.MM	Pasta epaflex marrón medio	15,00	7,01	105,15	0,02803%	99,84901%		
MP.PAS.EPAFLEX.B	Pasta epaflex beige	12,00	8,02	96,24	0,02566%	99,87467%		
MP.PAS.EPAFLEX.C	Pasta epaflex café	9,00	7,87	70,83	0,01888%	99,89356%		
T.PAS-BLANCO	Pasta blanco	8,50	7,40	62,91	0,01677%	99,91033%		
C.HEIDY	Cambrión Heidy 5117 T1-T2-T3	318,00	0,19	61,41	0,01637%	99,92670%		
T.ESP-CAFE.DC	Espazolato café DC.	11,00	4,25	46,75	0,01246%	99,93916%		
MP.PAS.PROINCALZA.R	Pasta proincalza rojo	8,00	5,50	44,00	0,01173%	99,95089%		
T.BASEP-ALMENDRA2	Base preparada almendra2	6,00	6,70	40,20	0,01072%	99,96161%		
T.CL.PALACIOS	Pintura corcho leño Palacios	5,00	8,02	40,10	0,01069%	99,97230%		
MP.PAS.LIKO.H	Pasta liko habanna	6,50	4,60	29,90	0,00797%	99,98027%		
T.PAS-OCRE	Pasta ocre	4,00	6,59	26,36	0,00703%	99,98730%		
C.MADONA	Cambrión Madona 3763 T1-T2	180,00	0,11	19,75	0,00526%	99,99257%		
T.FOSCA	Pintura fosca	3,00	5,24	15,72	0,00419%	99,99676%		
MP.PAS.LIKO.R	Pasta liko rojo	1,00	12,16	12,16	0,00324%	100,00000%		
<b>COSTO ANUAL TOTAL</b>					375077,50	100,00 %		

Como se puede apreciar, existen artículos con un precio unitario mucho más alto que otros pero dado su volumen no representan el mismo impacto en el costo anual. La Tabla 5 muestra los porcentajes de inversión, inventario y los costos de cada clase de inventario. Para los productos de clase A abarcan el 11,76% del total del inventario y el mayor porcentaje del costo total, a diferencia que los productos de clase B con menor participación, así como los productos de clase C.

Tabla 5.- Resumen clasificación ABC de artículos de materia prima.

<i><b>TIPO INVENTARIO</b></i>	<i><b>Nº ARTÍCULOS</b></i>	<i><b>% INVERSIÓN</b></i>	<i><b>% INVENTARIO</b></i>	<i><b>COSTO ANUAL (\$)</b></i>
A	8	80,00%	11,76%	295781,82
B	18	15,00%	26,47%	60340,00
C	42	5,00%	61,76%	18955,68
<i><b>COSTO TOTAL</b></i>				<i><b>375077,50</b></i>

En una forma gráfica, el inventario de materia prima resulta como se ilustra en la Figura 19 de acuerdo a la clasificación ABC en base a su costo anual.

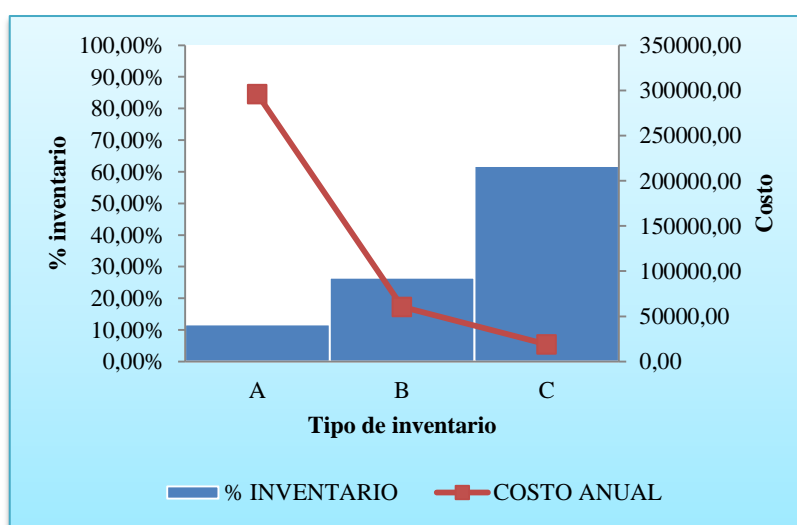


Figura 19.- Clasificación ABC del inventario de materia prima.

Claramente se distingue que los productos pertenecientes a la clase A son los más importantes, pues representan un costo alto del total de la inversión. Por lo que los cálculos y análisis posteriores se centran en los mismos, es decir en las pocas partes cruciales del inventario.

### 4.3. Análisis de la demanda

#### 4.3.1. Análisis de las ventas

Es importante comenzar describiendo el procedimiento que lleva a cabo la empresa para efectuar una venta, de la misma manera es indispensable conocer y analizar los datos históricos de las ventas efectuadas en los últimos años.

##### a) Descripción del proceso de ventas

El departamento de ventas se encarga de la comercialización y distribución de las suelas hechas en poliuretano y da seguimiento día a día de la ruta de vendedores, garantizando la cobertura total de sus clientes ubicados en las ciudades de Quito, Guayaquil, Cuenca, Gualaceo, Machala, Riobamba y Ambato. El proceso de venta muestra a continuación en la Figura 20.

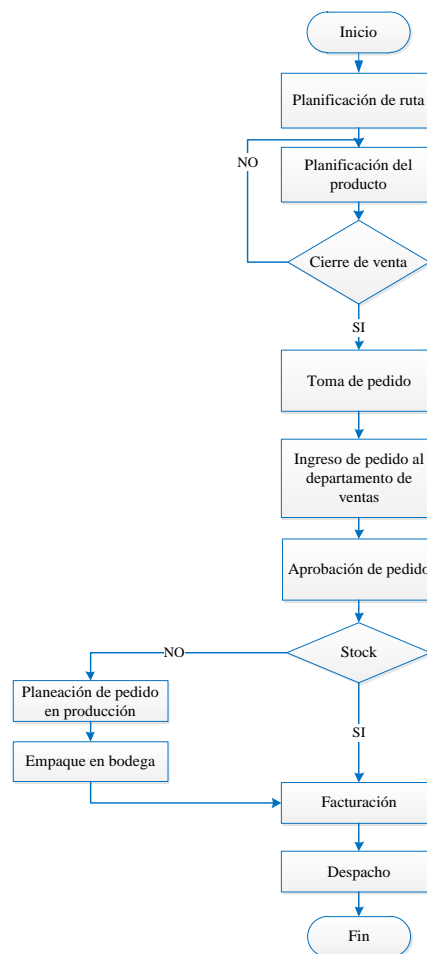


Figura 20.- Proceso de venta.

## b) Datos históricos de ventas

Una vez conocido el proceso de ventas, se analiza los datos recopilados de la cantidad de pares de suelas vendidas en los últimos años. Es importante conocer cómo han evolucionado las ventas anteriores para así predecir las ventas futuras. Además se considera que mientras se recaude más datos las estimaciones del pronóstico serán cada vez más cercanas a la realidad, por lo que la información recopilada abarca los datos históricos de las ventas realizadas en el período comprendido de octubre 2011 a septiembre 2014. La Tabla 6 muestra las ventas mensuales en pares de suelas, clasificadas en función del tipo de material usado para su fabricación, así como el total de los pares de suelas vendidos.

Tabla 6.- Ventas mensuales en pares suelas en el período octubre 2011 a septiembre 2014.

AÑO	PERÍODO	MES	MATERIAL DURO (pares)	MATERIAL LINEAL (pares)	MATERIAL SEMIDURO (pares)	TOTAL MES (pares)
2011 - 2012	1	Octubre	15768	6038	13206	35012
	2	Noviembre	17715	1941	11403	31059
	3	Diciembre	12101	1382	10534	24017
	4	Enero	1737	786	6406	8929
	5	Febrero	8110	2092	11551	21753
	6	Marzo	13725	2115	9451	25291
	7	Abril	16360	1034	10748	28142
	8	Mayo	20255	2318	9762	32335
	9	Junio	12715	3976	4520	21211
	10	Julio	12182	2451	5433	20066
	11	Agosto	16674	2336	6325	25335
	12	Septiembre	15831	1787	4339	21957
2012 - 2013	13	Octubre	19714	3484	4574	27772
	14	Noviembre	14688	3633	8963	27284
	15	Diciembre	22212	1683	5392	29287
	16	Enero	6516	1568	4611	12695
	17	Febrero	14761	1994	3433	20188
	18	Marzo	17324	3393	3854	24571
	19	Abril	16250	3548	6125	25923
	20	Mayo	16782	2053	4888	23723
	21	Junio	12723	3624	2949	19296
	22	Julio	12263	3390	7320	22973

Tabla 6.- Ventas mensuales en pares suelas en el período octubre 2011 a septiembre 2014 (continuación).

AÑO	PERÍODO	MES	MATERIAL DURO (pares)	MATERIAL LINEAL (pares)	MATERIAL SEMIDURO (pares)	TOTAL MES (pares)
2012 - 2013	23	Agosto	14991	3146	3851	21988
	24	Septiembre	13300	2504	5994	21798
2013 - 2014	25	Octubre	15989	1316	6981	24286
	26	Noviembre	13701	3943	4104	21748
	27	Diciembre	15926	1001	3059	19986
	28	Enero	8528	1157	2865	12550
	29	Febrero	9393	1248	4627	15268
	30	Marzo	11438	683	5791	17912
	31	Abril	21881	1404	8364	31649
	32	Mayo	15854	2059	10685	28598
	33	Junio	10394	2361	9023	21778
	34	Julio	9872	3178	6813	19863
	35	Agosto	14481	3237	3832	21550
	36	Septiembre	18875	3751	8426	31052

A partir de la Tabla 6 se elabora para un mejor análisis la Figura 22, la cual muestra el comportamiento del patrón de la demanda los pares de suelas vendidos considerando el tipo de material utilizado para la fabricación durante el período considerado para el estudio.

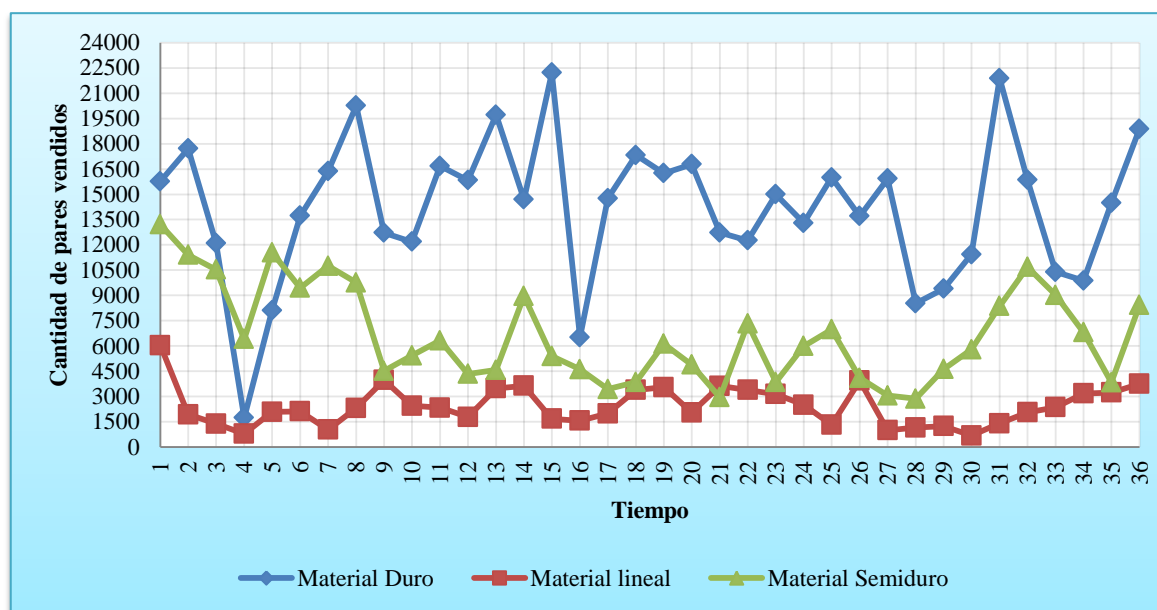


Figura 21.- Análisis de la venta de suelas.

Considerando el número de pares de suelas vendidas se observa claramente que la mayor demanda se concentra en las suelas de material duro, seguidas por las suelas de material semiduro y finalmente las suelas de material lineal. Además, tomando en cuenta la forma que presentan las curvas de los tres tipos de materiales, se observa claramente que existen variaciones en ciertas estaciones del período analizado. Por ejemplo para suelas fabricadas a partir de material duro presentan un punto de ventas bajas en el cuarto mes del período considerado debido a cambio de temporada, mientras que un punto de ventas altas se presenta en el octavo mes debido a la demanda por temporada escolar.

Con relación a la variabilidad anterior, el patrón de la demanda es estacional debido a la distribución de los datos, por lo que es necesario utilizar un índice estacional para posteriormente realizar un ajuste en el pronóstico. Por lo que, se decide que el tipo de pronóstico a utilizar sea el modelo cuantitativo de series de tiempo estacionales.

#### **4.3.2. Pronóstico de ventas**

Se considera necesario realizar un pronóstico de la demanda en la empresa, puesto que es fundamental dentro de los sistemas de inventarios, el pronóstico ayuda a establecer los niveles adecuados de inventario según la demanda esperada por el cliente. Mientras se puede pronosticar demanda con muy buena precisión, los niveles de inventario se establecen de manera precisa.

Una vez analizado el histórico de ventas y elegido el método de pronóstico a utilizar, se parte de la Tabla 6 y se considera el tipo de material usado para la fabricación para iniciar con la aplicación del modelo de pronóstico. A continuación se presenta el proceso de cálculo para las suelas realizadas en material duro, pues son las que presentan ventas en mayor cantidad.

**Paso 1:** Determinar el factor (o índice) estacional.

Un factor estacional (FE) es la cantidad de corrección necesaria en una serie temporal para ajustarse a la estación del año.

El cálculo empieza sumando los valores de las ventas para obtener un total, luego un promedio para cada año. Posteriormente se divide la cantidad de pares vendidos

correspondientes a cada mes entre el promedio para obtener el factor estacional mensual para cada año. A continuación se presenta un ejemplo:

$$FE1_1 = \frac{15768 \text{ pares}}{13598 \text{ pares}} = 1,16 \quad (4.5)$$

Finalmente se calcula un factor estacional promedio a partir de los factores estacionales mensuales de cada año. A continuación la Tabla 7 muestra el cálculo realizado para obtener el factor estacional.

Tabla 7.- Cálculo de factores estacionales para suelas de material duro.

MES	Ventas 1 (2011-2012) (pares)	Ventas 2 (2012-2013) (pares)	Ventas 3 (2013-2014) (pares)	FE1	FE2	FE3	Factor Estacional Promedio
1	15768	19714	15989	1,16	1,30	1,15	1,21
2	17715	14688	13701	1,30	0,97	0,99	1,09
3	12101	22212	15926	0,89	1,47	1,15	1,17
4	1737	6516	8528	0,13	0,43	0,62	0,39
5	8110	14761	9393	0,60	0,98	0,68	0,75
6	13725	17324	11438	1,01	1,15	0,83	0,99
7	16360	16250	21881	1,20	1,07	1,58	1,29
8	20255	16782	15854	1,49	1,11	1,14	1,25
9	12715	12723	10394	0,94	0,84	0,75	0,84
10	12182	12263	9872	0,90	0,81	0,71	0,81
11	16674	14991	14481	1,23	0,99	1,04	1,09
12	15831	13300	18875	1,16	0,88	1,36	1,14
<b>TOTAL</b>	163173	181524	166332				
<b>PROMEDIO</b>	13598	15127	13861				

**Paso 2:** Descontar las variaciones de temporada de los datos originales.

Para eliminar el efecto estacional de los datos se dividen las ventas entre el factor estacional. Este paso se llama descuento de las variaciones de temporada de la demanda y se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8.- Descuento de las variaciones de temporada de las ventas para suelas de material duro.

MES/AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2011-2012	13080,55	16291,03	10350,77	4439,63	10813,89	13818,10	12728,28	16235,27	15100,75	15109,35	15334,90	13947,22
2012-2013	16354,01	13507,35	18999,37	16654,37	19682,35	17441,51	12642,70	13451,51	15110,25	15209,81	13787,06	11717,40
2013-2014	13263,89	12599,68	13622,55	21796,88	12524,65	11515,58	17023,69	12707,68	12344,25	12244,25	13318,02	16629,01

**Paso 3:** Trazar una recta de regresión por mínimos cuadrados para los datos con descuento de variaciones de temporada.

El objetivo es elaborar una ecuación para la recta de la tendencia Y, que después se modifica con el factor estacional. La Tabla 9 muestra el proceso de cálculo utilizando el método de mínimos cuadrados aplicado a los datos con descuento de variaciones de temporada de la tabla anterior.

Tabla 9.- Análisis de regresión para datos con descuentos de temporada para suelas de material duro.

AÑO	X	Y	Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	X*Y
2011-2012	1	13080,55	171100899,89	1	13080,55
	2	16291,03	265397616,54	4	32582,06
	3	10350,77	107138543,00	9	31052,32
	4	4439,63	19710326,48	16	17758,53
	5	10813,89	116940257,22	25	54069,46
	6	13818,10	190939789,37	36	82908,58
	7	12728,28	162009142,50	49	89097,97
	8	16235,27	263584116,60	64	129882,19
	9	15100,75	228032594,87	81	135906,73
	10	15109,35	228292436,20	100	151093,49
	11	15334,90	235159087,02	121	168683,87
	12	13947,22	194525065,91	144	167366,69
2012-2013	13	16354,01	267453678,57	169	212602,14
	14	13507,35	182448388,87	196	189102,84
	15	18999,37	360976179,17	225	284990,60
	16	16654,37	277367985,59	256	266469,89
	17	19682,35	387394898,06	289	334599,95
	18	17441,51	304206215,34	324	313947,15
	19	12642,70	159837859,61	361	240211,30
	20	13451,51	180943161,79	400	269030,23
	21	15110,25	228319631,39	441	317315,23
	22	15209,81	231338432,65	484	334615,90
	23	13787,06	190083044,55	529	317102,40
	24	11717,40	137297350,11	576	281217,48
2013-2014	25	13263,89	175930718,43	625	331597,19
	26	12599,68	158752011,78	676	327591,76
	27	13622,55	185573789,76	729	367808,77
	28	21796,88	475103866,17	784	610312,57
	29	12524,65	156866779,69	841	363214,76



Tabla 9.- Análisis de regresión para datos con descuentos de temporada para suelas de material duro  
(continuación).

AÑO	X	Y	Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	X*Y
2013-2014	30	11515,58	132608669,39	900	345467,51
	31	17023,69	289805922,78	961	527734,30
	32	12707,68	161485097,14	1024	406645,72
	33	12344,25	152380581,04	1089	407360,35
	34	12244,25	149921744,03	1156	416304,62
	35	13318,02	177369637,39	1225	466130,67
	36	16629,01	276523976,76	1296	598644,36
Σ	666	511397,57	7582819495,71	16206	9603500,16

Luego se remplazan los datos obtenidos en el proceso anterior en las ecuaciones 2.1 y 2.2, se encuentra los siguientes valores:

$$a = 13526,23$$

$$b = 36,72$$

Con los valores encontrados se utiliza la ecuación 2.3 para obtener la ecuación para la recta de la tendencia Y, expresada de la siguiente forma:

$$y = 13526,23 + 36,72x$$

**Paso 4:** Proyectar la recta de la regresión a través del periodo por pronosticar. El propósito es pronosticar los meses 37 a 48, resolviendo la ecuación para Y en cada mes.

**Paso 5:** Crear el pronóstico final mediante el ajuste de la recta de la regresión según el factor estacional.

Cabe recordar que se descontaron las variaciones de temporada de la ecuación Y. Ahora se invierte el procedimiento al multiplicar los datos mensuales derivados mediante el factor estacional de ese mes. Se presenta un ejemplo:

$$y_{37} = 13526,23 + 36,72 \cdot 37 = 14884,75$$

$$Venta_{37} = 14884,75 \times 1,21 = 17943 \text{ pares} \quad (4.6)$$

A continuación la Tabla 10 muestra conjuntamente el procedimiento de cálculo descrito en los dos pasos anteriores, cuyo propósito es obtener el pronóstico final para suelas de

material duro durante el nuevo período de planeación considerado desde octubre 2014 a septiembre 2015 mediante el ajuste de la recta de regresión según el factor estacional.

Tabla 10.- Pronóstico de regresión con ajuste estacional para suelas de material duro.

AÑO	MES	X	DATOS DESESTACIONALIZADOS	FACTOR DE ESTACIONALIDAD	VENTAS (pares)
2014-2015	Octubre	37	14884,75	1,21	17943
	Noviembre	38	14921,47	1,09	16226
	Diciembre	39	14958,18	1,17	17487
	Enero	40	14994,90	0,39	5867
	Febrero	41	15031,62	0,75	11273
	Marzo	42	15068,34	0,99	14967
	Abril	43	15105,05	1,29	19415
	Mayo	44	15141,77	1,25	18891
	Junio	45	15178,49	0,84	12780
	Julio	46	15215,20	0,81	12267
	Agosto	47	15251,92	1,09	16584
	Septiembre	48	15288,64	1,14	17354

La Figura 22 muestra una comparación de la ventas pasadas frente a las ventas pronosticadas, en dónde claramente se distingue que la curva conserva su forma con sus puntos altos y bajos en los períodos propios.

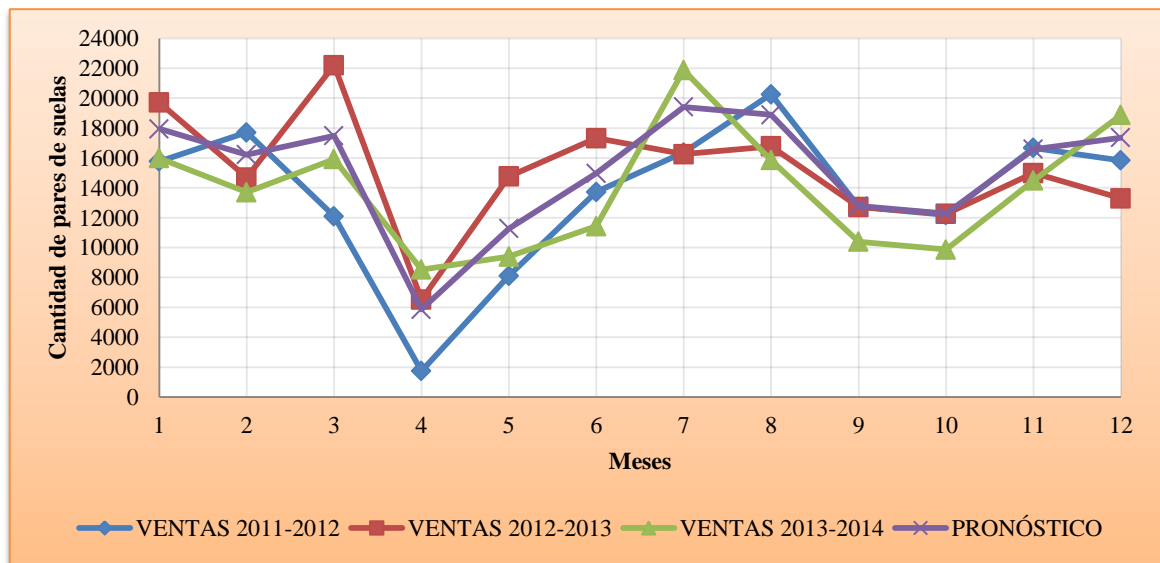


Figura 22.- Ventas históricas vs ventas pronosticadas para suelas de material duro.

El proceso de cálculo realizado anteriormente para las suelas de material duro se repite paso a paso para los otros tipos de materiales. A continuación se presenta en resumen los pronósticos de ventas de suelas realizadas en material semiduro en Tabla 11 y en material lineal en la Tabla 15, refiérase al Anexo 4 para conocer el proceso de cálculo del pronóstico de suelas de material lineal y al Anexo 5 para suelas de material semiduro.

Tabla 11.- Pronóstico de regresión con ajuste estacional para suelas de material lineal.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>X</b>	<b>DATOS DESESTACIONALIZADOS</b>	<b>FACTOR DE ESTACIONALIDAD</b>	<b>VENTAS</b>
<b>2014-2015</b>	Octubre	37	2286,66	1,47	<b>3366</b>
	Noviembre	38	2278,31	1,32	<b>3017</b>
	Diciembre	39	2269,95	0,55	<b>1252</b>
	Enero	40	2261,60	0,48	<b>1082</b>
	Febrero	41	2253,25	0,73	<b>1640</b>
	Marzo	42	2244,90	0,81	<b>1810</b>
	Abril	43	2236,55	0,79	<b>1756</b>
	Mayo	44	2228,19	0,89	<b>1993</b>
	Junio	45	2219,84	1,36	<b>3023</b>
	Julio	46	2211,49	1,25	<b>2758</b>
	Agosto	47	2203,14	1,21	<b>2669</b>
	Septiembre	48	2194,78	1,14	<b>2501</b>

Tabla 12.- Pronóstico de regresión con ajuste estacional para suelas de material semiduro.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>X</b>	<b>DATOS DESESTACIONALIZADOS</b>	<b>FACTOR DE ESTACIONALIDAD</b>	<b>VENTAS (pares)</b>
<b>2014-2015</b>	Octubre	37	4857,17	1,18	<b>5728</b>
	Noviembre	38	4758,98	1,24	<b>5895</b>
	Diciembre	39	4660,78	0,92	<b>4282</b>
	Enero	40	4562,59	0,70	<b>3187</b>
	Febrero	41	4464,40	0,92	<b>4087</b>
	Marzo	42	4366,20	0,92	<b>4035</b>
	Abril	43	4268,01	1,26	<b>5372</b>
	Mayo	44	4169,82	1,27	<b>5276</b>
	Junio	45	4071,62	0,85	<b>3456</b>
	Julio	46	3973,43	1,05	<b>4163</b>
	Agosto	47	3875,24	0,70	<b>2706</b>
	Septiembre	48	3777,04	1,01	<b>3801</b>

### 4.3.3. Consumo de materia prima

Considerando la clasificación ABC realizada, se toman los productos cruciales para determinar el consumo de los mismo en el proceso de fabricación de suelas hechas en poliuretano. Se elige como base para el cálculo a los datos históricos del registro de consumo de dichos productos y la cantidad de suelas producidas, entonces se determina un factor de consumo para producir un par de suelas, considerando el horizonte de planeación octubre 2013 a septiembre 2014.

La Tabla 13 presenta las cantidades necesarias, es decir un factor de consumo para producir un par de suelas, consierando los productos cruciales. Para conocer el cálculo realizado, refiérase al Anexo 6.

Tabla 13.- Factor de consumo de materia prima de los artículos cruciales.

<i>CÓDIGO</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CONSUMO</i>
MP.ISO.EPAFLEX.99	Isocianato epaflex duro 99	Kg	0,13794
MP.POL.EPAFLEX.123	Poliol epaflex suave 123	Kg	0,14314
MP.ISO.EPAFLEX.03	Isocianato epaflex suave 03	Kg	0,16045
MP.POL.EPAFLEX.350	Poliol epaflex duro 350	Kg	0,07988
MP.PERCLORETIENO	Percloretieno	Kg	0,02076
MP.CAT.EPAFLEX CBH100	Catalizador epaflex duro CBH100	Kg	0,01656
MP.CLORURO	Cloruro de metileno	Kg	0,02451
MP.PAS.EPAFLEX.N	Pasta epaflex negro	Kg	0,00137

### 4.3.4. Pronóstico de materia prima

En base al consumo por material, se procede a calcular el pronóstico de materia prima mediante la multiplicción de la cantidad de cada producto presentada en la Tabla 13 por el total de suelas a ser vendidas en cada uno de los meses, presentado a partir de la Tabla 10. Se debe considerar que se usa el pronóstico que únicamente guarda relación con el artículo crucial, puesto que los mismos pertenecen a un determinado grupo según el tipo de material, es decir duro, lineal y semiduro.

A continuación un ejemplo del artículo isocianato 99:

$$Cantidad_{mensual} = Cantidad\ pronosticada_{mes} \times consumo\ material_n \quad (4.7)$$

$$Cantidad_{octubre:isocianato99} = 17943 \frac{\text{pares}}{\text{mes}} \times 0,13794 \frac{\text{kg}}{\text{par}}$$

$$Cantidad_{octubre:isocianato99} = 2475,03 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

A continuación se muestra la cantidad de materia prima necesaria para cumplir con la demanda pronosticada, además se presenta la cantidad anual en tambores, obtenidos en base al contenido neto de los mismos mostrados en el Anexo 13. En la Tabla 14 se muestra la cantidad de materia prima necesaria para las suelas pronosticadas en base al factor de consumo de los artículos cruciales, considerando el horizonte de planeación octubre 2014 a septiembre 2015.

Tabla 14.- Pronóstico de la cantidad de materia prima necesaria para el horizonte de planeación octubre 2014 a septiembre 2015.

<i>mes</i>	Isocianato epaflex duro 99 (Kg)	Poliol epaflex suave 123 (Kg)	Isocianato epaflex suave 03 (Kg)	Poliol epaflex duro 350 (Kg)	Percloroetileno (Kg)	Catalizador epaflex duro CBH100 (Kg)	Cloruro de metileno (Kg)	Pasta epaflex negro (Kg)
Oct.	2475,03	1301,75	1459,14	1433,36	372,54	297,07	439,75	24,56
Nov.	2238,19	1275,70	1429,94	1296,20	336,89	268,64	397,67	22,21
Dic.	2412,13	792,16	887,94	1396,94	363,08	289,52	428,57	23,94
Ene.	809,29	611,08	684,97	468,68	121,81	97,14	143,79	8,03
Feb.	1554,98	819,78	918,90	900,54	234,06	186,64	276,28	15,43
Mar.	2064,53	836,68	937,84	1195,63	310,75	247,80	366,81	20,49
Abr.	2678,08	1020,33	1143,70	1550,95	403,11	321,44	475,82	26,57
May.	2605,80	1040,51	1166,32	1509,09	392,23	312,76	462,98	25,86
Jun.	1762,85	927,43	1039,56	1020,92	265,35	211,59	313,21	17,49
Jul.	1692,09	990,70	1110,48	979,94	254,69	203,10	300,64	16,79
Ago.	2287,57	769,40	862,43	1324,80	344,33	274,57	406,44	22,70
Sep.	2393,79	902,09	1011,16	1386,31	360,31	287,32	425,31	23,75
<b>TOTAL (Kg/año)</b>	24974,33	11287,61	12652,38	14463,36	3759,15	2997,58	4437,28	24,56
<b>TOTAL (tambor/año)</b>	104,06	62,71	52,72	80,35	11,82	83,27	16,74	22,21

#### 4.4.Cálculo de los costos relacionados con los inventarios.

##### 4.4.1. Costo de mantener inventario

Los costos de mantener inventarios son los costos asociados con guardar el inventario a través del tiempo. Por lo tanto, los costos de mantener inventario también incluyen obsolescencia y otros costos relacionados con el almacenamiento. Para el cálculo del costo de almacenamiento (CA) se utiliza la siguiente ecuación:

$$CA = \frac{Q}{2} \times T \times P \times I \quad (4.8)$$

Dónde:

Q = cantidad de material en existencia en el período considerado.

T = Tiempo de almacenamiento.

P = Precio Unitario de material.

I = Tasa de almacenamiento expresada en porcentaje del precio unitario.

Según la ecuación 4.8 el costo de almacenamiento está conformado por una parte variable como: la cantidad del material y el tiempo que el material se encuentra en bodega, y por una parte fija que son: los seguros, alquiler de bodega, salarios de trabajadores, maquinarias y equipos instalados, en donde es importante encontrar la tasa de almacenamiento, que es la suma de dichos factores expresados en porcentajes. Considerando la Tabla 1, para la Fortaleza Cía. Ltda. el valor determinado como porcentaje de la tasa de almacenamiento se lo detalla en la Tabla 15, el cual representa la parte fija del costo de almacenamiento.

Tabla 15.- Porcentaje de tasa de almacenamiento.

CATEGORÍA	Costo expresado en porcentaje del valor del inventario
Costos de edificio (renta o depreciación del edificio, costos de operación, impuestos, seguros)	6%
Costo por manejo de materiales (renta o depreciación del equipo, energía, costo de operación)	3%
Costo por mano de obra (recepción, almacenamiento, seguridad)	3%
Costo de inversión (costos de préstamos, impuestos y seguros del inventario)	10%
Robo, daño y obsolescencia (mucho más en industrias de cambio rápido)	3%
Costos globales por manejo	25%

Una vez determinada la tasa de almacenamiento expresada en porcentaje igual al 25% del valor del inventario, se procede a calcular el costo de almacenamiento. Como primer paso se levanta el inventario mensual, para conocer el costo unitario por mes de los artículos cruciales; los datos son tomados de los registros de la empresa.

A continuación considerando el período octubre 2013 a septiembre 2014, se muestra como ejemplo la Tabla 16 con los datos del inventario al final de cada mes junto con el costo del material para el isocianato epaflex duro 99. Para conocer el inventario y los costos de los demás materiales cruciales refiérase al Anexo 7.

Tabla 16.- Inventario al final de cada mes de isocianato Epaflex duro 99.

AÑO	MES	EXISTENCIA (kg)	COSTO (\$/kg)	TOTAL (\$)
2013	Octubre	5760,00	4,26	24565,25
	Noviembre	3600,00	4,37	15726,96
	Diciembre	2400,00	4,51	10817,04
2014	Enero	1200,00	4,51	5408,40
	Febrero	6240,00	4,17	26038,27
	Marzo	5520,00	4,17	23033,86
	Abril	1200,00	4,17	5007,12
	Mayo	720,00	4,50	3240,00
	Junio	480,00	4,50	2160,00
	Julio	2160,00	4,50	9720,00
	Agosto	8640,00	4,06	35036,06
	Septiembre	6480,00	4,06	26277,05

Una vez que se cuenta con todos los datos necesarios se utiliza la ecuación 4.8 y se calcula el valor del costo de almacenamiento para cada mes. Continuando con el ejemplo anterior del material isocianato epaflex duro 99, se realiza el cálculo del costo de almacenar una unidad en inventario durante el período antes mencionado. Se presenta un ejemplo a continuación del cálculo realizado para el mes de octubre:

$$CA_{octubre} = \frac{5760 \text{ kg}}{2} \times 1 \text{ mes} \times 4,26 \frac{\$}{\text{kg}} \times 0.25$$

$$CA_{octubre} = 3070,66 \$$$

Para determinar el costo de almacenamiento unitario se realiza una división entre costo de almacenamiento calculado con la cantidad de material para cada mes. Se presenta un ejemplo:

$$CA_{\text{unitario-octubre}} = \frac{3070,66 \$}{5760 \text{ kg}} = 0,53 \frac{\$}{\text{kg}} \quad (4.9)$$

A continuación en la Tabla 21 se presenta en resumen los costos de almacenamiento por unidad para cada mes del material isocianato epaflex duro 99.

Tabla 17.- Costo de almacenamiento mensual para isocianato epaflex duro 99.

AÑO	MES	CANTIDAD DE MATERIAL (Kg)	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (MES)	PRECIO UNITARIO (\$/Kg)	TASA DE ALMACENAMIENTO	COSTO DE ALMACENAMIENTO (\$)	COSTO DE MANTENER UNA UNIDAD (\$/kg)
2013	Octubre	5760,00	1	4,26	0,25	3070,66	0,53
	Noviembre	3600,00	1	4,37	0,25	1965,87	0,55
	Diciembre	2400,00	1	4,51	0,25	1352,13	0,56
2014	Enero	1200,00	1	4,51	0,25	676,05	0,56
	Febrero	6240,00	1	4,17	0,25	3254,78	0,52
	Marzo	5520,00	1	4,17	0,25	2879,23	0,52
	Abril	1200,00	1	4,17	0,25	625,89	0,52
	Mayo	720,00	1	4,50	0,25	405,00	0,56
	Junio	480,00	1	4,50	0,25	270,00	0,56
	Julio	2160,00	1	4,50	0,25	1215,00	0,56
	Agosto	8640,00	1	4,06	0,25	4379,51	0,51
	Septiembre	6480,00	1	4,06	0,25	3284,63	0,51

Para conocer los costos de almacenamiento calculados en base al análisis anterior para la lista de materiales de la Tabla 15, refiérase al Anexo 8.

#### 4.4.2. Costo de unidades faltantes en inventario

El costo de unidades faltantes refleja las consecuencias económicas de quedarse sin inventario. Para la empresa el costo de unidades faltantes en inventario se presenta cuando el stock de materia prima es nulo o no satisface la demanda y para contrarrestar esto se procede a una compra local. Generalmente cuando existe unidad faltante en inventario, el material es comprado a la empresa Macanguro con su marca denominada elachem.



Se debe mencionar que la empresa cuenta con un proveedor de confianza el cual es extranjero (epaflex) por lo que el costo de unidades faltantes en inventario se refleja en la diferencia de los costos de realizar una compra local y el costo dado por compra en el extranjero.

A continuación a partir de los registros de la empresa, en la Tabla 18 se presenta el costo de unidad faltante en inventario de los materiales cruciales. El cálculo se realiza mediante la diferencia entre el costo unitario promedio de los materiales exportados y el costo unitario de los materiales comprados localmente.

Tabla 18.- Costo de una faltante en inventario.

<i>TIPO DE MATERIAL</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>COSTO UNITARIO (\$/Kg)</i>	<i>COSTO DE UNIDAD FALTANTE (\$/Kg)</i>
ISOCIANATO DURO	ISO99 isocianato epaflex	4,31	0,19
	ISO P230 isocianato elachem	4,50	
POLIOL LINEAL, SEMIDURO	Resin ES123 polioli epaflex	4,11	0,39
	Elapol V354 polioli elachem	4,50	
ISOCIANATO LINEAL, SEMIDURO	ISO03 isocianato epaflex	4,07	0,43
	ISO03 isocianato elachem	4,50	
POLIOL DURO	Resin ES 350 polioli epaflex	4,33	0,17
	Elapol V354 polioli elachem	4,50	
PERCLORETIENO	Percloretieno solvesa	1,81	0,09
	Percloretieno compra local	1,90	
CATALIZADOR DURO	Flex ES CBH100 catalizador epaflex	4,49	0,11
	Elacat VR20 catalizador elachem	4,60	
CLORURO DE METILENO	Cloruro de metileno solvesa	0,93	0,15
	Cloruro de metileno compra local	1,08	
PASTA NEGRA	Pasta negra epaflex	4,18	0,32
	Pasta negra compra local	4,50	

#### **4.5.Determinación de la capacidad de producción.**

Para determinar la capacidad de producción en planta, se realiza un estudio de tiempos en las estaciones de trabajo del área de producción.

Como objeto de estudio se toma como referencia los modelos de suelas que representan el mayor porcentaje de ventas, es decir el estudio de tiempos se realiza en base a la

producción de las suelas hechas en material duro cuyo acabado requiere de una pintura plana. Por otro lado como técnica se usa el estudio cronométrico de tiempos de vuelta a cero en donde los tiempos se toman directamente y se registran en la hoja de trabajo de estudio de tiempos, ya que no se requiere un estudio profundo y al mismo tiempo usa instrumentos de fácil manejo y bajo costo.

### **Cálculo de muestra**

La precisión del estudio de tiempos depende del número de ciclos cronometrados, cuantos más ciclos se estudien, más preciso es el estudio [24].

Para determinar el número de observaciones a realizar se toma como referencia la información proporcionada por la tabla de la General Electric que se presenta en la Tabla 19; en la cual se determina el número de observaciones en base al tiempo de ciclo en minutos, en el caso de un par de suelas hechas en poliuretano según datos proporcionados por la empresa se sabe que para cualquier tipo se requiere de alrededor de cinco minutos para su fabricación por lo que se realizan 10 observaciones.

Tabla 19.- Número recomendado de observaciones [25].

<b>Tiempo de ciclo (minutos)</b>	<b>Número recomendado de ciclos</b>
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00-5.00	15
5.00-10.00	10
10.00-20.00	8
20.00-40.00	5
40.00 o más	3

### **Calificación porcentual**

La calificación porcentual se refiere a la rapidez con la que se desenvuelve el operador [24]. Es decir, se considera un valor, el cual se realiza mientras se está ejecutando la operación. En este caso se considera que el operario está trabajando al 100 % de su ritmo de trabajo, tomando como referencia lo expuesto en el Anexo 9, es decir se

considera un desempeño activo por parte del operario calificado como medio, quien logra con tranquilidad el nivel de calidad fijado.

### **Tiempo normal**

El tiempo normal se define como el tiempo que demora un operador normal trabajando a ritmo cómodo en producir una parte. Su cálculo se realiza mediante la ecuación 4.10 [24].

$$Tiempo\ normal = Tiempo\ promedio \times \frac{\% \text{ calificación}}{100} \quad (4.10)$$

### **Frecuencia**

La frecuencia indica cuántas veces se lleva a cabo una tarea; por ejemplo: sacar mil partes de la estación de trabajo, trasladar a la tina vacía al otro lado de la estación y traer llena con mil partes nuevas, sólo ocurriría una vez en mil ciclos (1/1000) [24].

### **Tiempo normal unitario**

El tiempo normal unitario se calcula multiplicando la frecuencia por el tiempo normal, como se muestra en la ecuación 4.11.

$$Tiempo\ normal\ unitario = Frecuencia \times Tiempo\ normal \quad (4.11)$$

### **Asignación de suplementos**

Los suplementos son tiempo añadido al tiempo normal para hacer que el estándar sea práctico y alcanzable. Ningún gerente o supervisor espera que sus empleados trabajen todos los minutos de cada hora [24]. Generalmente los suplementos por descanso son la parte esencial que se añaden al tiempo normal, existen otros suplementos que se añaden en condiciones especiales y necesarias. El suplemento por descanso es el que se le añade al tiempo básico para dar al trabajador la posibilidad de reponerse de los efectos fisiológicos y psicológicos causados por la ejecución de determinado trabajo y para que pueda atender sus necesidades personales [26].

Además se sabe que cada departamento o planta tiene una tasa o porcentaje de suplementos propios, por lo que para el estudio se hace referencia a la información proporcionada en el Anexo 10.

### **Tiempo estándar**

El tiempo estándar es el tiempo total de ejecución de una tarea al ritmo tipo. Se encuentra mediante la suma del tiempo básico más algunas holguras por necesidades personales, fatiga del trabajador y las demoras inevitables del trabajo. Y se determina mediante la siguiente ecuación.

$$\textit{Tiempo estándar} = \textit{Tiempo normal total} * (1 + \textit{suplementos}) \quad (4.12)$$

### **Capacidad de producción**

La capacidad de producción es el máximo nivel de actividad que puede alcanzarse con una estructura productiva dada. Para determinar la capacidad de producción a partir del tiempo estándar calculado se utiliza la siguiente ecuación.

$$Cp = \frac{1}{\textit{Tiempo estándar}} \quad (4.13)$$

A continuación se presenta el procedimiento realizado para determinar el tiempo estándar en las estaciones de trabajo del área de producción de la empresa. Como primer paso se identificó las operaciones de estudio y se descompone la tarea en elementos.

Se toma como ejemplo la operación de inyección de sistema poliuretano en los moldes de las suelas debido a que se puede apreciar de mejor manera el estudio realizado.

Descompuesta una vez la operación en elementos, se procede a recolectar los demás datos, tomando en cuenta que se utiliza la técnica de cronometraje de vuelta a cero y un total de 10 observaciones. Entonces se registran los tiempos de las actividades y posteriormente se realiza el cálculo del tiempo total observado, y luego el promedio del mismo. Considerando la calificación se calcula el tiempo normal, aplicando la ecuación 4.11. Una vez obtenido el tiempo normal se determina el tiempo normal unitario para cada elemento de la operación multiplicando el tiempo normal por su frecuencia, para posteriormente encontrar los minutos totales normales de toda la operación.

Lo descrito anteriormente se presenta a continuación en la Tabla 20.

Tabla 20.- Hoja de trabajo de estudio de tiempos: inyección.

LA FORTALEZA CIA. LTDA.		HOJA DE TRABAJO DE ESTUDIO DE TIEMPOS																
<b>Operación:</b> Inyección de sistema poliuretano en los moldes de suelas																		
<b>Departamento:</b> Producción			<b>Sección:</b> Inyección					<b>Máquina:</b> Inyectora Niagara				<b>N° máquina:</b> 01						
<b>Producto/pieza:</b> Suela de poliuretano			<b>Material:</b> Sistema poliuretano					<b>Herramientas:</b> Pesa, herramientas de ajuste				<b>Operario:</b> Bayas Carlos, Meneses Orlando						
<b>Estudio N°:</b> 01			<b>Ficha N°:</b> 2/6					<b>Fecha:</b> 2014/08/11		<b>Hora inicio:</b> 10:30			<b>Hora fin:</b> 12:30					
N°	Descripción	Tiempo observado										Total T.O.	Promedio T.O.	C.	T.N.	F.	T.N.U	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
A	Aspersión de desmoldante sobre el molde.	0,164	0,169	0,165	0,159	0,172	0,169	0,163	0,167	0,174	0,166	1,668	0,167	100	0,1668	1/3	0,0556	
B	Secar exceso de desmoldante.	0,207	0,200	0,162	0,158	0,161	0,172	0,167	0,152	0,159	0,171	1,709	0,171	100	0,1709	1/3	0,057	
C	Inyectar poliuretano y sellar de moldes.	0,157	0,132	0,103	0,130	0,128	0,138	0,146	0,132	0,142	0,109	1,316	0,132	100	0,1316	1/1	0,1316	
D	Abrir molde, extraer suelas, control de fallas y colocar en contenedor.	0,184	0,133	0,133	0,259	0,137	0,169	0,126	0,145	0,191	0,152	1,627	0,163	100	0,1627	1/1	0,1627	
E	Pesado de suelas	0,083	0,096	0,102	0,071	0,112	0,088	0,099	0,102	0,083	0,095	0,931	0,093	100	0,0931	1/24	0,0039	
<b>Elementos extraños:</b>		Notas:										<b>Minutos totales normales</b>						0,4108
<b>Elaborado por:</b> Santiago Sánchez																		
<b>Aprobado por:</b>																		
T.O= Tiempo observado    C=Calificación    T.N= Tiempo normal    F= Frecuencia    T.N.U= Tiempo normal unitario																		

Para determinar el tiempo estándar de la operación, se debe asignar los suplementos, los cuales se toman como referencia del Anexo 10, y para la operación de inyección de poliuretano en moldes de suela los suplementos considerados se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21.- Asignación de suplementos: inyección.

<b>ASIGNACIÓN DE SUPLEMENTOS</b>		
<b>Operación:</b> Inyección de poliuretano en moldes de suelas.		
<b>Suplemento</b>		<b>%</b>
Constantes	Por necesidades personales	5
	Base por fatiga	4
Variables	Trabajar de pie	2
	Uso de la fuerza (levantar, empujar, halar)	1
	Ruido	2
<b>TOTAL</b>		<b>14</b>

El resultado de la sumatoria de los suplementos estipulados para la operación considerada está dado en porcentaje, por lo que se divide el valor total para 100, y posteriormente se aplica la ecuación 4.12, como se muestra a continuación.

$$Tiempo\ estándar = 0,4108 * (1 + 0,14)$$

$$Tiempo\ estándar = 0,47\ minutos/par$$

Para el caso anterior, una vez calculado el tiempo estándar se realiza el cálculo de la capacidad de producción de la operación de inyección.

$$Cp = \frac{1}{0,47\ min/par} = 2,14\ suelas/min$$

De la misma forma se realiza el estudio de tiempos para todas las estaciones de trabajo del área de producción, refiérase al Anexo 11 para observar los cálculos efectuados.

A continuación la Tabla 22 presenta en resumen, el tiempo estándar cada operación efectuada para la fabricación de suelas hechas en poliuretano.

Tabla 22.- Resumen general del estudio de tiempos de la fabricación de par de suelas de material duro.

Operaciones	Tiempo normal (min)	Suplementos (%)	Tiempo estándar (min/par)
Preparación de material	0,40	0,14	0,46
Inyección	0,41	0,14	0,47
Refilado	0,41	0,17	0,48
Lavado	0,40	0,16	0,47
Pintado	0,31	0,13	0,35
Empacado	0,41	0,13	0,46
Tiempo estándar para la fabricación de un par de suelas de material duro, acabado: pintura plana			2,69

En base a los tiempos estándar determinados en la Tabla 23, se procede a calcular la capacidad de producción de todas las operaciones, como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 23.- Producción diaria de pares de suelas de material duro.

Operaciones	Tiempo estándar (min/par)	Capacidad de producción (par/min)	Capacidad total de producción diaria (pares/día)
Preparación de material	0,46	2,18	1045
Inyección	0,47	2,14	1025
<b>Refilado</b>	<b>0,48</b>	<b>2,06</b>	<b>991</b>
Lavado	0,47	2,13	1024
Pintado	0,35	2,82	1354
Empacado	0,46	2,18	1047

Se sabe que la estación más lenta determina la producción por día, por tanto, mediante el análisis de la Figura 23 se dice que se puede producir 991 pares de suelas por día porque es el límite de capacidad total de producción diaria que puede ofrecer la estación de refilado de la suela.

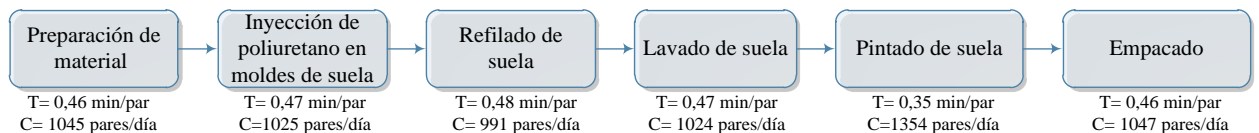


Figura 23.- Flujo general del proceso de producción.

Una vez determinada la capacidad total de producción diaria en la planta de producción procedemos a calcular los kilogramos necesarios que cubran dicha capacidad para los materiales cruciales durante cada uno de los meses del período de planeación.

Entonces como primer paso se detallan el número de días laborables durante el nuevo período de planeación octubre 2014 a septiembre 2015, como se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24.- Número de días laborables durante el período octubre 2014 a septiembre 2015.

	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dic.</b>	<b>Ene.</b>	<b>Feb.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Abr.</b>	<b>May.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Ago.</b>	<b>Sep.</b>
<b>N° días laborables</b>	22	19	21	20	18	22	22	20	22	23	20	22

Luego se realiza el producto de la capacidad total de producción diaria con el número de días laborables de cada mes, para obtener la capacidad total de producción mensual (CPM). Se presenta un ejemplo:

$$CPM_{octubre} = \frac{991 \text{ pares}}{\text{día}} \times 22 \text{ días} \quad (4.14)$$

$$CPM_{octubre} = 21802 \text{ pares/mes}$$

A continuación la Tabla 25 presenta el cálculo efectuado para todos los meses del período de planeación antes mencionado.

Tabla 25.- Capacidad de producción mensual en pares de suelas para el período octubre 2014 a septiembre 2015.

	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dic.</b>	<b>Ene.</b>	<b>Feb.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Abr.</b>	<b>May.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Ago.</b>	<b>Sep.</b>
<b>CPM (pares/mes)</b>	21802	18829	20811	19820	17838	21802	21802	19820	21802	22793	19820	21802

Finalmente se transforma la capacidad de producción mensual a kilogramos, utilizando la cantidad específica de cada material con la información presentada en la Tabla 15. A continuación un ejemplo:

$$CPM_{octubre-isocianato99} = 21802 \frac{\text{pares}}{\text{mes}} \times 0,13794 \frac{\text{kg}}{\text{par}} \quad (4.15)$$

$$CPM_{octubre-isocianato99} = 3007,34 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

El cálculo antes efectuado se realiza para todos los productos. A continuación se presenta en la Tabla 26 la capacidad de producción mensual en kilogramos para los



artículos cruciales, considerando el horizonte de planeación octubre 2014 a septiembre 2015.

Tabla 26.- Capacidad de producción mensual en kilogramos de suelas para material duro durante octubre 2014 a septiembre 2015.

<i>mes</i>	Isocianato epaflex duro 99 (Kg)	Poliol epaflex suave 123 (Kg)	Isocianato epaflex suave 03 (Kg)	Poliol epaflex duro 350 (Kg)	Percloroetileno (Kg)	Catalizador epaflex duro CBH100 (Kg)	Cloruro de metileno (Kg)	Pasta epaflex negro (Kg)
Octubre	3007,34	3120,82	3498,16	1741,64	452,67	360,96	534,32	29,84
Noviembre	2597,25	2695,26	3021,14	1504,14	390,94	311,74	461,46	25,77
Diciembre	2870,64	2978,97	3339,15	1662,47	432,09	344,55	510,04	28,49
Enero	2733,94	2837,11	3180,14	1583,31	411,51	328,15	485,75	27,13
Febrero	2460,55	2553,40	2862,13	1424,98	370,36	295,33	437,17	24,42
Marzo	3007,34	3120,82	3498,16	1741,64	452,67	360,96	534,32	29,84
Abril	3007,34	3120,82	3498,16	1741,64	452,67	360,96	534,32	29,84
Mayo	2733,94	2837,11	3180,14	1583,31	411,51	328,15	485,75	27,13
Junio	3007,34	3120,82	3498,16	1741,64	452,67	360,96	534,32	29,84
Julio	3144,03	3262,68	3657,17	1820,80	473,24	377,37	558,61	31,20
Agosto	2733,94	2837,11	3180,14	1583,31	411,51	328,15	485,75	27,13
Septiembre	3007,34	3120,82	3498,16	1741,64	452,67	360,96	534,32	29,84
<b>TOTAL (Kg/año)</b>	34310,98	35605,74	39910,81	19870,49	5164,51	4118,22	6096,16	340,47

El convertir la capacidad de producción mensual a kilogramos ayuda a que el modelo de programación lineal a ser planteado posea las mismas unidades de medida.

#### 4.6. Modelo de programación lineal para el control de inventario de materia prima

A continuación se presenta un modelo para el control de inventario de materia prima considerando el problema de programación lineal planteado por Ponsot y Márquez [11], con el fin de obtener científicamente una política óptima para el manejo de inventario de materia prima.

Anteriormente, se ha venido desarrollando cálculos con el fin de obtener los datos necesarios para el planteamiento del modelo, entre los datos más relevantes para el planteamiento del modelo de programación lineal se tiene el análisis ABC los costos relacionados con los inventarios, la demanda, la capacidad de producción, el inventario inicial considerado. Por otro lado se sabe que el modelo planteado abarca períodos

múltiples y posee variables lineales, a continuación se definen los elementos que componen los modelos de programación lineal. Se debe resaltar que se plantea un modelo único para aquellos productos más importantes, es decir aquellos que reflejan un costo alto del total del inventario. El procedimiento a seguir para el planteamiento del modelo de programación lineal se presenta a continuación:

#### 4.6.1. Definición de las variables de decisión.

Las variables de decisión son los elementos a través de los cuales se logra el objetivo que se persigue. Según el problema de programación lineal planteado, se define la función objetivo enfocada en minimizar costos para reducir el inventario en función de la producción, por lo tanto hay tres decisiones:

- Decisión 1:  $X_i$  = número de unidades producidas en el período.
- Decisión 2:  $Y_i$  = número de unidades en inventario al final del período.
- Decisión 3:  $Z_i$  = Número de unidades no satisfechas en el período.

A continuación se detalla en la Tabla 27 todas las variables que intervienen en el modelo de programación planteado.

Tabla 27.- Variables de decisión para el modelo de programación lineal [11].

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
k	Número de períodos: cantidad de períodos en que se divide el horizonte de planeación para el cual se ejecuta el modelo, en este modelo $k = 12$ .
$x_i$	Número de unidades producidas en el $i$ -ésimo período, $i = 1, \dots, k$ .
$y_i$	Número de unidades en inventario al final del $i$ -ésimo período, $i = 1, \dots, k$ .
$z_i$	Número de unidades no satisfechas en el $i$ -ésimo período, $i = 1, \dots, k$ .
$d_i$	Número de unidades demandadas del producto en el $i$ -ésimo período, $i = 1, \dots, k$ .
$y_0$	Nivel del inventario inicial del producto (al inicio del período 1).
L	Límite de la capacidad productiva. Número máximo de unidades del producto que pueden ser producidas en un período cualquiera.
$C_1$	Costo unitario del producto.
$C_2$	Costo unitario de mantener.
$C_3$	Costo unitario de escasez.

#### 4.6.2. Definir la función objetivo.

El objetivo del siguiente modelo programación lineal es, minimizar los costos totales de inventario; para lo cual, se debe poner énfasis en la reducción de los costos que influyen en el inventario. Entre los costos más importantes está los costos unitarios del producto, costo unitario de mantener ese producto y costo unitario de escasez del producto. Si se reduce al máximo la suma de estos costos de, se logrará disminuir el costo total.

Considerado lo descrito anteriormente la función objetivo de costos totales sería la siguiente:

$$C = \sum_{i=1}^k C_{1,i}X_i + \sum_{i=1}^k C_{2,i}Y_i + \sum_{i=1}^k C_{3,i}Z_i \quad (4.16)$$

#### 4.6.3. Construcción del sistema de restricciones.

##### a) Nivel de inventario

Se debe considerar la cantidad de inventario con la que se debe contar en cada uno de los períodos, se puede decir que el nivel del inventario al final del primer período es el inventario inicial más la producción en ese período, menos lo vendido en el mismo. Entonces la restricción queda descrita de la siguiente manera.

$$y_i - \sum_{j=1}^i x_j - z_i = y_0 - \sum_{j=1}^i d_j \quad (4.17)$$

$i= 1, \dots, k$

##### b) Capacidad de producción

Para garantizar que en el horizonte de planeación hay un límite máximo en la capacidad productiva de cada período, es necesario agregar esta restricción.

$$x \leq L \quad (4.18)$$

##### c) Unidades faltantes en inventario

Para evitar que en el horizonte de planeación no queden faltantes por surtir en cada período, es necesario agregar la siguiente restricción.

$$z_k = 0 \quad (4.19)$$

$i= 1, \dots, k$

Finalmente es necesario agregar restricciones de no negatividad a las variables, es decir:

$$\begin{aligned} x_i, y_i, z_i &\geq 0 \\ i &= 1, \dots, k \end{aligned} \quad (4.20)$$

### Resumen de la formulación

El análisis realizado de los tres componentes del modelo ha permitido formular el siguiente modelo de programación lineal (en forma algebraica):

$$\text{mín: } C = \sum_{i=1}^k C_{1,i} X_i + \sum_{i=1}^k C_{2,i} Y_i + \sum_{i=1}^k C_{3,i} Z_i$$

Sujeto a:

$$y_i - \sum_{j=1}^i x_j - z_i = y_0 - \sum_{j=1}^i d_j$$

$$x \leq L$$

$$z_k = 0$$

$$x_i, y_i, z_i \geq 0$$

#### 4.6.4. Aplicación el modelo matemático de programación lineal.

Una vez definido el modelo de programación lineal se procede a aplicar el mismo para los ocho artículos cruciales definidos en la Tabla 4, posteriormente se los resuelve los modelos planteados mediante el uso de la herramienta de optimización Lingo®, diseñada para hacer de la elaboración y la solución de modelos de optimización más rápido, más fácil y más eficiente. Lingo® proporciona un paquete completamente integrado que incluye un potente lenguaje para expresar modelos de optimización, un ambiente con todas las características para la construcción y problemas de edición, y un conjunto de rápidas solucionadores incorporadas.

Para la programación de los modelo de programación lineal en Lingo®, se deben considerar los comandos, operadores y funciones utilizados para resolver el modelo matemático; a continuación se detalla, las funciones utilizadas:

- MODEL y END, inicia y termina un modelo en la interfaz de la línea de comandos.
- TITLE, da el título a un modelo.
- SETS y ENDSETS, determinan una sección en un modelo.
- DATA Y ENDDATA, declara los elementos de un conjunto.
- MAX o MIN, sirve para declarar la función objetivo.
- @FOR, repite una tarea para todo i.
- @SUM, suma una expresión para todo i.
- @ OLE, extrae los datos y soluciones de ida y vuelta desde Excel usando transferencias basadas OLE. Para hacer uso de la función, se debe definir previamente las listas que contienen los datos.
- Los comentarios deben comenzar con el signo “!”, los cuales son resaltados en verde.

También, Lingo® dispone de los operadores lógicos siguientes:

- #EQ# igual
- #NE# no igual
- #GE# mayor o igual
- #GT# mayor
- #LT# menor
- #LE# menor o igual
- #AND# y
- #OR# o (inclusivo)
- #NOT# no

Considerando las palabras reservadas para la programación en Lingo®, a continuación se detalla el desarrollo de los modelos de los ocho artículos cruciales.

**a) Modelo de programación lineal para el control de inventario del material isocianato epaflex duro 99.**

A continuación se presenta el modelo para material denominado isocianato epaflex duro 99. Los datos necesarios para el planteamiento del modelo de programación lineal del artículo de materia prima mencionado se muestran a continuación en la Tabla 28, en la que se incluye la demanda, el límite de la capacidad productiva, los costos unitarios del

artículo, costos de mantenimiento y costo por faltantes para cada mes del horizonte de planeación octubre 2014 a septiembre 2015.

Tabla 28.- Datos necesarios para el modelo PL de isocianato epaflex duro 99.

<i>k</i> (mes)	<i>D<sub>i</sub></i> (kg)	<i>L<sub>i</sub></i> (kg)	<i>C<sub>1i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>2i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>3i</sub></i> (\$/período)
1	2475,03	3007,34	4,26	0,53	0,19
2	2238,19	2597,25	4,37	0,55	0,19
3	2412,13	2870,64	4,51	0,56	0,19
4	809,29	2733,94	4,51	0,56	0,19
5	1554,98	2460,55	4,17	0,52	0,19
6	2064,53	3007,34	4,17	0,52	0,19
7	2678,08	3007,34	4,17	0,52	0,19
8	2605,8	2733,94	4,50	0,56	0,19
9	1762,85	3007,34	4,50	0,56	0,19
10	1692,09	3144,03	4,50	0,56	0,19
11	2287,57	2733,94	4,06	0,51	0,19
12	2393,79	3007,34	4,06	0,51	0,19

Los valores que presenta la Tabla 28 son tomados de los cálculos anteriores, la demanda ( $d_i$ ) son tomados de la Tabla 14, mientras que los valores de la capacidad ( $L_i$ ) de la Tabla 26.

Por otro lado los valores de los costos son tomados de las tablas del Anexo 7 para los costos unitarios de los productos, mientras de las tablas del Anexo 8 para los costos de mantenimiento de inventario y por último los costos de unidades faltantes se toman de la Tabla 18.

A continuación se reemplazan los datos en el modelo de programación lineal para el material isocianato epaflex duro 99, el modelo a resolverse es el siguiente:

```

MODEL:

TITLE MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA EL CONTROL DE INVENTARIOS;

SETS:

m/1..12/:Costo1,Costo2,Costo3,D,L,X,Y,Z; !Definición de las variables;
n/1..12/: !Índice j;

ENDSETS

DATA:

Costo1 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Isocianato_99\Datos.XLSX'); !Costo unitario del producto;
Costo2 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Isocianato_99\Datos.XLSX'); !Costo unitario de almacenamiento del producto;
Costo3 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Isocianato_99\Datos.XLSX'); !Costo unitario por faltante del producto;
D = @OLE('E:\Control_de_inventario\Isocianato_99\Datos.XLSX'); !Demanda;
L = @OLE('E:\Control_de_inventario\Isocianato_99\Datos.XLSX'); !Capacidad de producción;
Io = 6480; !Inventario inicial;

ENDDATA

MIN = @sum(m(i):Costo1(i)*X(i) + Costo2(i)*Y(i) + Costo3(i)*Z(i)); !FUNCIÓN OBJETIVO;

@for(m(i): Y(i) = @sum(n(j)|j#LE#i:X(j)) + Z(i) + Io - @sum(n(j)|j#LE#i:D(j)));!Restricción de nivel de inventario;

@for(m(i): X(i) <= L(i));!Restricción de capacidad de producción;

@for(m(i)|i#GE#12:Z(i)=0);!Restricción de falta de unidad en inventario;

END

```

Mediante la interacción de los datos, Lingo® proporciona la solución óptima al modelo de programación lineal planteado con un costo mínimo. Los resultados obtenidos al resolver el modelo matemático para el material isocianato epaflex duro 99, son los siguientes:

```
Global optimal solution found.
Objective value:                81920.43
Total solver iterations:        14
```

Model Title: MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA EL CONTROL DE INVENTARIOS

Variable	Value	Reduced Cost
X( 1)	0.000000	0.8368750
X( 2)	0.000000	0.4075750
X( 3)	645.3500	0.000000
X( 4)	0.000000	0.1442000
X( 5)	2364.270	0.000000
X( 6)	2064.530	0.000000
X( 7)	2678.080	0.000000
X( 8)	2605.800	0.000000
X( 9)	1762.850	0.000000
X( 10)	632.1700	0.000000
X( 11)	2733.940	0.000000
X( 12)	3007.340	0.000000
Y( 1)	4004.970	0.000000
Y( 2)	1766.780	0.000000
Y( 3)	0.000000	0.7076875
Y( 4)	0.000000	0.7533750
Y( 5)	0.000000	0.5216000
Y( 6)	0.000000	0.5218000
Y( 7)	0.000000	0.1941750
Y( 8)	0.000000	0.5625000
Y( 9)	0.000000	0.5625000
Y( 10)	0.000000	0.7525000
Y( 11)	0.000000	0.6968875
Y( 12)	0.000000	4.626887
Z( 1)	0.000000	0.7231000
Z( 2)	0.000000	0.7360750
Z( 3)	0.000000	0.4570000E-01
Z( 4)	809.2900	0.000000
Z( 5)	0.000000	0.1900000
Z( 6)	0.000000	0.1898000
Z( 7)	0.000000	0.5174000
Z( 8)	0.000000	0.1900000
Z( 9)	0.000000	0.1900000
Z( 10)	1059.920	0.000000
Z( 11)	613.5500	0.000000
Z( 12)	0.000000	0.000000

Se explica a continuación los resultados arrojados por Lingo, la columna “Value” representa las cantidades óptimas obtenidas.



**Objective value:** Muestra el valor del menor costo total del modelo aplicado, dando como resultado un valor de \$ 81920.43 que es el costo que se tiene al aplicar este modelo de control de inventario para el artículo de estudio. Este valor suma los costos unitarios del producto, costo de mantener inventarios y el costo por unidades faltantes para los periodos planificados con las cantidades arrojadas. Seguido de esto se presentan los valores de las variables, se cita un ejemplo:

Variable	Value	Reduced Cost
X( 1)	0.000000	0.8368750
X( 2)	0.000000	0.4075750
X( 3)	645.3500	0.000000

Es decir que para el mes uno del ítem uno ( $X_3$ ), se deberá pedir 645.35 kg.

**Reduce Cost.** Se puede interpretar como la cantidad en que debería mejorar el coeficiente de una variable en la función objetivo, antes de que llegue a ser rentable dar a la variable en cuestión un valor.

A continuación se presenta la mejor solución obtenida mediante el modelo de programación lineal, la cual que reduce los costos de inventario, teniendo en cuenta que se trabaja con una exactitud de los mismos. Para un mejor análisis se presentan los resultados del material isocianato epaflex duro 99 en la Tabla 29.

Tabla 29.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de isocianato epaflex duro 99.

Mes	$X_i$ (kg)	$Y_i$ (kg)	$Z_i$ (kg)
1	0,00	4004,97	0,00
2	0,00	1766,78	0,00
3	645,35	0,00	0,00
4	0,00	0,00	809,29
5	2364,27	0,00	0,00
6	2064,53	0,00	0,00
7	2678,08	0,00	0,00
8	2605,80	0,00	0,00
9	1762,85	0,00	0,00
10	632,17	0,00	1059,92
11	2733,94	0,00	613,55
12	3007,34	0,00	0,00
$\Sigma$	18494,33		

Una vez conocido la cantidad requerida de material isocianato epaflex duro 99, se analiza los resultados. Tomando en cuenta la cantidad de inventario inicial y la demanda se tiene las cantidades a requerir que se presentan en la Tabla 29, así como también la cantidad de producto que se debe tener en inventario. Se considera un ejemplo:

$$Y_i = \text{Inventario}_{\text{anterior}} - \text{demanda} \quad (4.21)$$

$$Y_1 = 6480 \text{ kg} - 2475.03 \text{ kg} = 4004,97 \text{ kg}$$

Entonces se sabe que el inventario al final del primer mes es de 4004,97 kg, dicha cantidad satisface la demanda por lo que no se requiere pedir material en ese período. Ahora se muestra otro ejemplo:

$$Y_2 = 4004,97 \text{ kg} - 2238.19 \text{ kg} = 1766,78 \text{ kg}$$

Dicha cantidad satisface la demanda, por lo que la cantidad en inventario al final del segundo mes es de 1766,78 kg por lo que no se requiere pedir material en ese período. Para el tercer mes se tiene lo siguiente:

$$Y_3 = 1766,78 \text{ kg} - 2412.13 \text{ kg} = -645,35 \text{ kg}$$

Se nota que la cantidad de inventario no cubre la demanda, por lo se requiere realizar un pedido de materia prima el cual se muestra en  $X_3 = 645,35 \text{ kg}$  que ayudan a cubrir la demanda. Ahora para el cuarto mes se presenta lo siguiente:

$$Y_3 = 0 \text{ kg} - 809.29 \text{ kg} = -809.29 \text{ kg}$$

Existe un falta de unidad en inventario por lo que  $Z_4 = 809,29$  y por tal motivo se requiere realizar un pedido, por lo que para el siguiente mes, es decir el quinta se realiza un pedido y  $X_5$  toma el valor de 2364,27 kg, el cual cubre la demanda insatisfecha del cuarto mes y la demanda propia del quinto mes.

Por otro lado se sabe que en el décimo mes existen unidades faltantes en inventario, puesto que para contrarrestar la restricción de unidad faltante al final del horizonte de planeación, la cantidad a requerir en el onceavo mes es la sumatoria de las demandas pronosticadas en el décimo y onceavo mes. El proceso de cálculo se realiza para todos los meses del horizonte de planeación y los resultados se muestran en la Tabla 29.

Ahora se realiza un análisis con respecto a los datos históricos correspondientes al año anterior, para analizar de mejor manera los resultados obtenidos. Se presenta la Tabla 30 considerando el horizonte de planeación dividido en trimestres con las cantidades de unidades requeridas. Los datos de las cantidades requeridas en el año anterior son tomados de las tablas presentadas en el Anexo 13.

Tabla 30.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de isocianato epaflex duro 99.

	<i>Oct. 2013 – Sep. 2014 (kg)</i>	<i>Oct. 2014 – Sep. 2015 (kg)</i>
<i>Trimestre 1</i>	5520	645,35
<i>Trimestre 2</i>	5520	4428,80
<i>Trimestre 3</i>	0	7046,73
<i>Trimestre 4</i>	10800	6373,45
$\Sigma$	21840	18494,33

De manera gráfica el análisis de la Tabla 30 se presenta la Figura 24 en dónde claramente se ve que la cantidad a ser requerida disminuye, pues esta se equilibra en función de la demanda estimada.

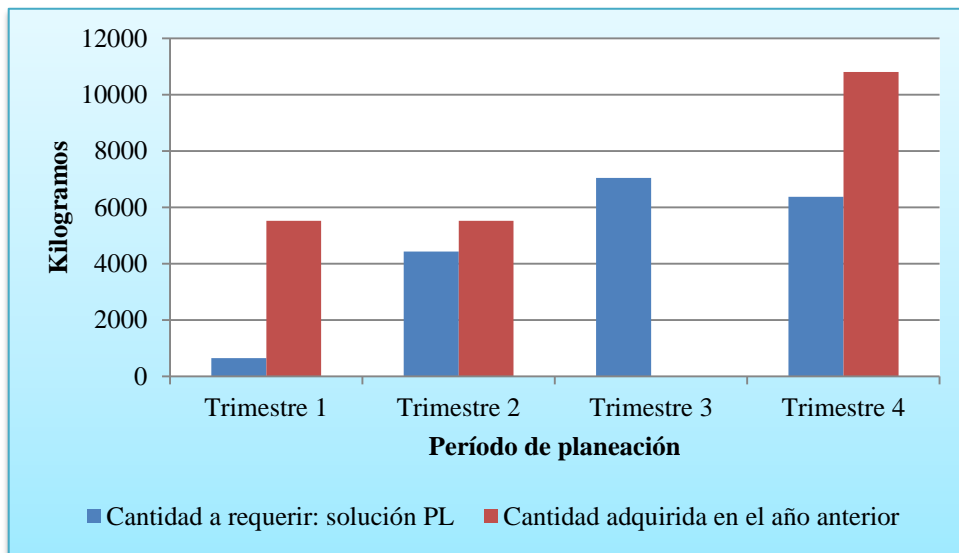


Figura 24.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de isocianato epaflex duro 99.

Se observa que la cantidad a requerir disminuye, pues sólo se considera requerir lo que se necesita en base a la demanda. Además se realiza un análisis en base a la cantidad que se debe mantener de material en bodega, con respecto a la cantidad que se venía manteniendo en el año anterior.

Tabla 31.- Análisis de inventario al final de cada mes de isocianato epaflex duro 99.

<b>MES</b>	<b>Oct. 2013 – Sep. 2014 (kg)</b>	<b>Oct. 2014 – Sep. 2015 (kg)</b>
1	5760,00	4004,97
2	3600,00	1766,78
3	2400,00	0,00
4	1200,00	0,00
5	6240,00	0,00
6	5520,00	0,00
7	1200,00	0,00
8	720,00	0,00
9	480,00	0,00
10	2160,00	0,00
11	8640,00	0,00
12	6480,00	0,00

De manera gráfica el análisis de la Tabla 31 se presenta la Figura 25 en dónde claramente se ve que la cantidad se equilibra en función de la demanda estimada. Se observa que al inicio del período de planeación se mantiene mayor cantidad de inventario debido a que representa el sobrante del año anterior, posteriormente la cantidad disminuye y solo se posee lo que se necesita.

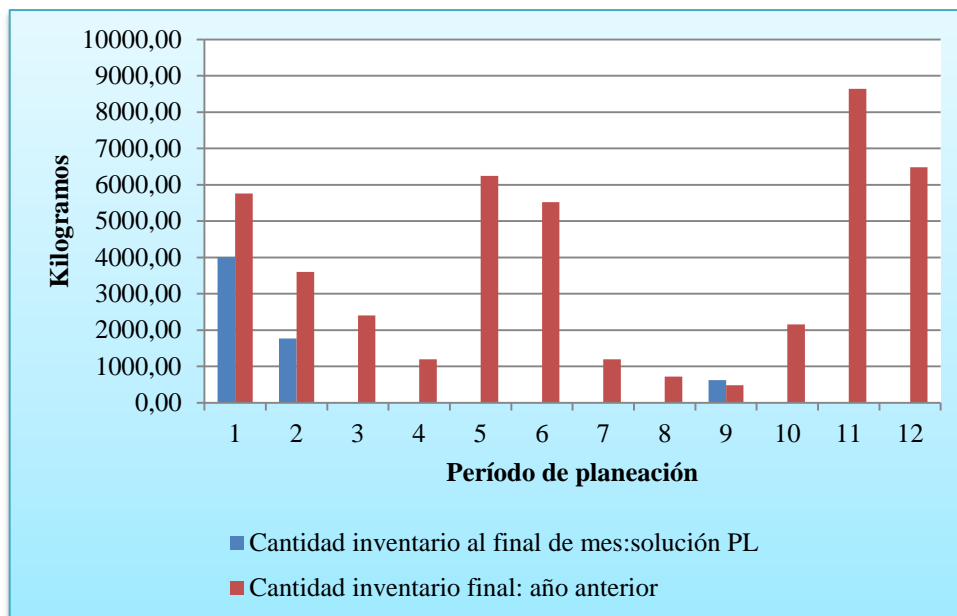
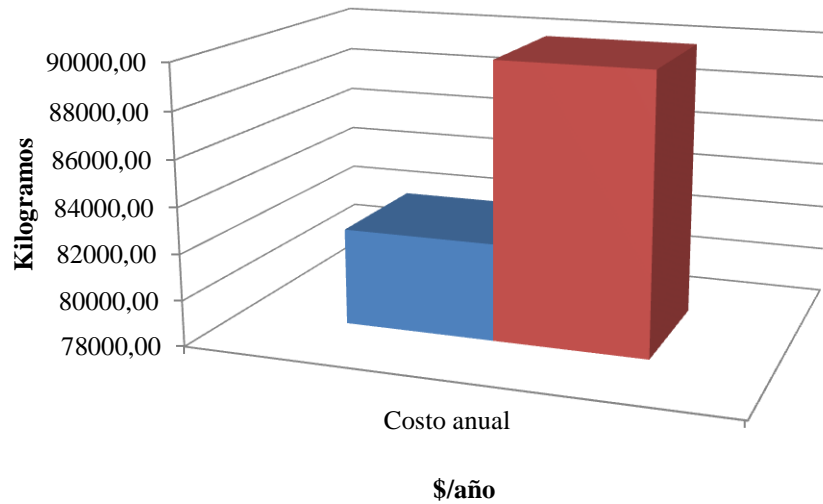


Figura 25.- Cantidad en inventario al final de cada mes de isocianato epaflex duro 99.

También se considera que mantener inventario representa un costo por lo que la Figura 26 representa en análisis del mismo. En dónde se considera los costos invertidos en el año anterior frente a los costos arrojados por la función objetivo. Los datos de los costos anteriores son tomados del Anexo 13 que sumados dan el costo total anual.



■ Costo total de inventario: solución PL ■ Costo inventario adquirido período anterior

Figura 26.- Análisis de costo total de inventario de isocianato epaflex duro 99.

Se debe resaltar que para el año anterior sólo se considera el costo del producto, mientras que el modelo de programación lineal proporciona el costo total de inventario, incluido el costo del producto, costo de mantener y el costo de escasez. Aun así se considera que el costo total disminuye notablemente.

Además para saber cuan eficiente es el modelo se aplica la ecuación siguiente:

$$\% \text{ mejora} = \frac{(\text{Costo anterior} - \text{costo calculado})}{\text{Costo anterior}} \times 100 \quad (4.22)$$

$$\% \text{ mejora}_{\text{isocianato99}} = \frac{(89978,40 - 81920,43) \frac{\$}{\text{año}}}{89978,40 \frac{\$}{\text{año}}} \times 100 = 8,96 \%$$

Determinado la eficiencia comprobamos que el modelo arroja cantidades óptimas por lo que se procede a realizar la modelización para todos los artículos cruciales.

**b) Modelo de programación lineal para el control de inventario del material polioli epaflex suave 123.**

Ahora se presenta el modelo de programación lineal para el material polioli epaflex suave 123. Los datos necesarios para el planteamiento del modelo de programación lineal del producto de materia prima mencionado se muestran a continuación en la Tabla 32, considerando el horizonte de planeación octubre 2014 a septiembre 2015.

Tabla 32.- Datos necesarios para el modelo PL de polioli epaflex suave 123.

<i>k</i> (mes)	<i>D<sub>i</sub></i> (kg)	<i>L<sub>i</sub></i> (kg)	<i>C<sub>1i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>2i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>3i</sub></i> (\$/período)
1	1301,75	3120,82	4,18	0,52	0,39
2	1275,70	2695,26	4,21	0,53	0,39
3	792,16	2978,97	4,23	0,53	0,39
4	611,08	2837,11	4,23	0,53	0,39
5	819,78	2553,40	4,13	0,52	0,39
6	836,68	3120,82	4,06	0,51	0,39
7	1020,33	3120,82	4,06	0,51	0,39
8	1040,51	2837,11	4,06	0,51	0,39
9	927,43	3120,82	4,06	0,51	0,39
10	990,70	3262,68	4,06	0,51	0,39
11	769,40	2837,11	4,06	0,51	0,39
12	902,09	3120,82	4,06	0,51	0,39

Los valores que presenta la Tabla 28 son tomados de los cálculos anteriores, la demanda ( $d_i$ ) son tomados de la Tabla 14, mientras que los valores de la capacidad ( $L_i$ ) de la Tabla 26.

Por otro lado los valores de los costos son tomados de las tablas del Anexo 7 para los costos unitarios de los productos, mientras de las tablas del Anexo 8 para los costos de mantenimiento de inventario y por último los costos de unidades faltantes se toman de la Tabla 18.

A continuación se reemplazan los datos en el modelo de programación lineal para el polioli epaflex suave 123, el modelo a resolverse es el siguiente:

```

MODEL:

TITLE MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA EL CONTROL DE INVENTARIOS;

SETS:

m/1..12/:Costo1,Costo2,Costo3,D,L,X,Y,Z; !Definición de las variables;
n/1..12/; !Índice j;

ENDSETS

DATA:

Costo1 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Poliol _123\Datos.XLSX'); !Costo unitario del producto;
Costo2 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Poliol _123\Datos.XLSX'); !Costo unitario de almacenamiento del producto;
Costo3 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Poliol _123\Datos.XLSX'); !Costo unitario por faltante del producto;
D = @OLE('E:\Control_de_inventario\Poliol _123\Datos.XLSX'); !Demanda;
L = @OLE('E:\Control_de_inventario\Poliol _123\Datos.XLSX'); !Capacidad de producción;
Io = 329; !Inventario inicial;

ENDDATA

MIN = @sum(m(i):Costo1(i)*X(i) + Costo2(i)*Y(i) + Costo3(i)*Z(i)); !FUNCIÓN OBJETIVO;

@for(m(i): Y(i) = @sum(n(j)|j#LE#i:X(j)) + Z(i) + Io - @sum(n(j)|j#LE#i:D(j)));!Restricción de nivel de inventario;

@for(m(i): X(i) <= L(i));!Restricción de capacidad de producción;

@for(m(i)|i#GE#12:Z(i)=0);!Restricción de falta de unidad en inventario;

END

```

El valor del menor costo total del modelo aplicado, da como resultado un valor de \$ 45441,75 que es el costo total por manejo de inventario. Además se presenta la mejor las cantidades óptimas a ser requeridas, mantenidas y faltantes de inventario, con las cuales que reduce los costos de inventario. Para un mejor análisis se presentan los resultados del material polioli epaflex suave 123 en la Tabla 33.

Tabla 33.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de polioli epaflex suave 123.

<b>Mes</b>	<b><math>X_i</math> (kg)</b>	<b><math>Y_i</math> (kg)</b>	<b><math>Z_i</math> (kg)</b>
<b>1</b>	972,75	0,00	0,00
<b>2</b>	1275,70	0,00	0,00
<b>3</b>	792,16	0,00	0,00
<b>4</b>	611,08	0,00	0,00
<b>5</b>	819,78	0,00	0,00
<b>6</b>	836,68	0,00	0,00
<b>7</b>	1020,33	0,00	0,00
<b>8</b>	1040,51	0,00	0,00
<b>9</b>	927,43	0,00	0,00
<b>10</b>	0,00	0,00	990,70
<b>11</b>	1760,10	0,00	0,00
<b>12</b>	892,09	0,00	0,00
<b><math>\Sigma</math></b>	10948,61		

Se conoce que no existe almacenamiento de inventario en ningún período del horizonte de planeación, por lo que se analiza el nivel de inventario junto con las cantidades a requerir. Se muestra un ejemplo, se toma el inventario inicial y se resta la demanda en el primer mes:

$$Y_1 = 329 \text{ kg} - 1301,75 \text{ kg} = -972,75 \text{ kg}$$

Entonces se sabe que el inventario inicial que es igual a 329 kg no cubre la demanda pronosticada para el primer mes, por lo que la cantidad restante para cubrir la demanda en el primer mes igual a 972,75 kg, es la que se requiere en dicho mes.

Por otro lado se sabe que en el décimo mes existen unidades faltantes en inventario, puesto que para contrarrestar la restricción de unidad faltante al final del horizonte de



planeación, la cantidad a requerir en el onceavo mes es la sumatoria de las demandas pronosticadas en el décimo y onceavo mes.

El proceso de cálculo se efectúa para cada mes del horizonte de planeación y los resultados son presentados en la Tabla 33.

Ahora se realiza un análisis con respecto a los datos históricos correspondientes al año anterior, entonces se presenta la Tabla 34 con el total de la cantidad a requerir considerando el horizonte de planeación dividido en trimestres. Los datos de las cantidades requeridas en el año anterior son tomados de las tablas presentadas en el Anexo 13.

Tabla 34.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de poliol epaflex suave 123.

	<i>oct 2013 - sep. 2014</i>	<i>oct 2014 - sep. 2015</i>
<b>Trimestre 1</b>	5220	3040,61
<b>Trimestre 2</b>	4140	2267,54
<b>Trimestre 3</b>	0	2988,27
<b>Trimestre 4</b>	1440	2652,19
$\Sigma$	10800	10948,61

De manera gráfica el análisis de la Tabla 32 se presenta la Figura 27 en dónde se ve que la cantidad se equilibra en función de la demanda estimada, para el año anterior las cantidades requeridas por trimestre son mayores.

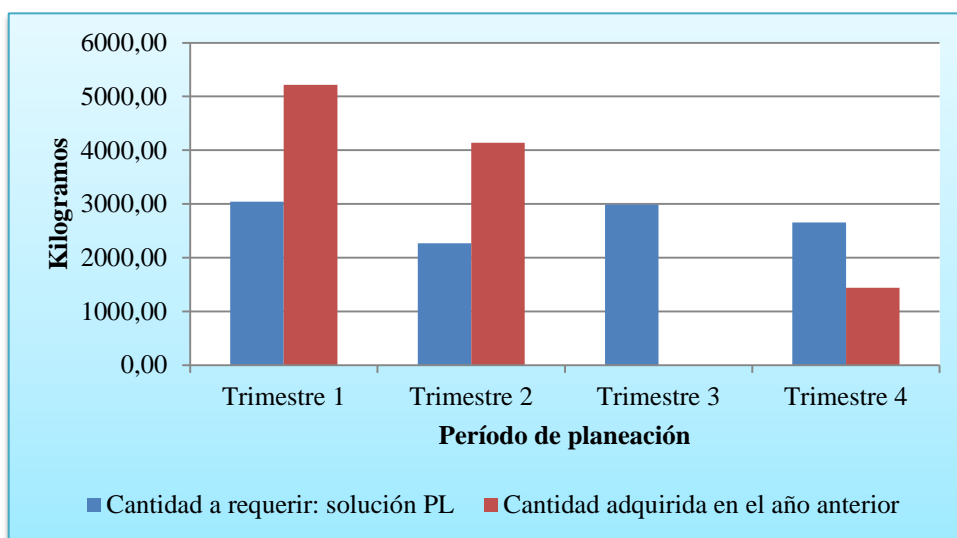
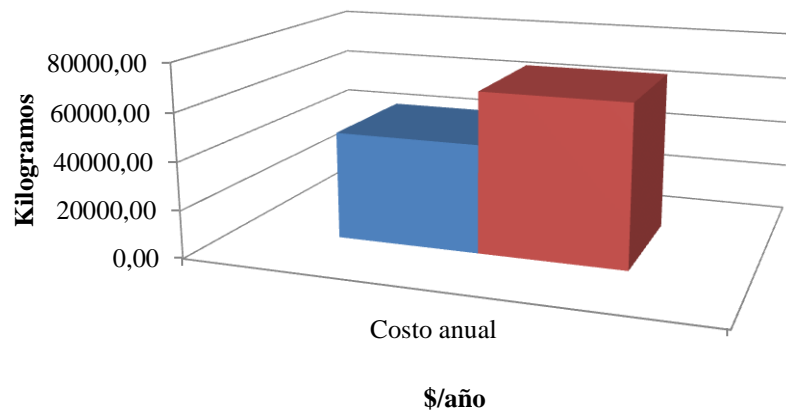


Figura 27.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de poliol epaflex suave 123.

Para este producto no se analiza la cantidad que se mantiene en inventario al final de cada mes, puesto que la solución encontrada sugiere que no se almacene material y se trabaje con lo que se requiere.

También se considera que mantener inventario representa un costo por lo que la Figura 28 representa en análisis del mismo. En dónde se considera los costos invertidos en el año anterior frente a los costos arrojados por la función objetivo. Los datos de los costos anteriores son tomados del Anexo 13 que sumados dan el costo total anual.



■ Costo total de inventario: solución PL ■ Costo inventario adquirido período anterior

Figura 28.- Análisis de costo total de inventario de poliol Epaflex suave 123.

Se considera los costos por manejo de inventario, y se observa que el costo total disminuye notablemente, pues al considerar las cantidades óptimas se reducen costos.

Además para saber cuan eficiente es el modelo se aplica la ecuación siguiente:

$$\% mejora_{poliol123} = \frac{(67246,50 - 45441,75) \frac{\$}{año}}{67246,50 \frac{\$}{año}} \times 100 = 32,41 \%$$

Se considera que el modelo brinda las soluciones óptimas y disminuye parcialmente el costo total por manejo de inventario, y presenta una mejora de 32,41 %, con relación al manejo que se venía dando al inventario anteriormente.

**c) Modelo de programación lineal para el control de inventario del material isocianato epaflex suave 03.**

Se presenta el modelo de programación lineal para el material isocianato epaflex suave 03. Los datos necesarios para el planteamiento del modelo de programación lineal del producto de materia prima mencionado se muestran a continuación en la Tabla 35 considerando el horizonte de planeación octubre 2014 a septiembre 2015.

Tabla 35.- Datos necesarios para el modelo PL de isocianato epaflex suave 03.

<i>k</i> (mes)	<i>D<sub>i</sub></i> (kg)	<i>L<sub>i</sub></i> (kg)	<i>C<sub>1i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>2i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>3i</sub></i> (\$/período)
1	1459,14	3498,16	4,13	0,52	0,43
2	1429,94	3021,14	4,13	0,52	0,43
3	887,94	3339,15	4,14	0,52	0,43
4	684,97	3180,14	4,14	0,52	0,43
5	918,90	2862,13	4,14	0,52	0,43
6	937,84	3498,16	4,02	0,50	0,43
7	1143,70	3498,16	4,02	0,50	0,43
8	1166,32	3180,14	4,02	0,50	0,43
9	1039,56	3498,16	4,02	0,50	0,43
10	1110,48	3657,17	4,02	0,50	0,43
11	862,43	3180,14	4,02	0,50	0,43
12	1011,16	3498,16	4,10	0,51	0,43

Los valores que presenta la Tabla 28 son tomados de los cálculos anteriores, la demanda ( $d_i$ ) son tomados de la Tabla 14, mientras que los valores de la capacidad ( $L_i$ ) de la Tabla 26.

Por otro lado los valores de los costos son tomados de las tablas del Anexo 7 para los costos unitarios de los productos, mientras de las tablas del Anexo 8 para los costos de mantenimiento de inventario y por último los costos de unidades faltantes se toman de la Tabla 18.

A continuación se reemplazan los datos en el modelo de programación lineal para el isocianato epaflex suave 03, el modelo a resolverse es el siguiente:

```

MODEL:

TITLE MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA EL CONTROL DE INVENTARIOS;

SETS:

m/1..12/:Costo1,Costo2,Costo3,D,L,X,Y,Z; !Definición de las variables;
n/1..12/; !Índice j;

ENDSETS

DATA:

Costo1 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Isocianato_03\Datos.XLSX'); !Costo unitario del producto;
Costo2 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Isocianato_03\Datos.XLSX'); !Costo unitario de almacenamiento del producto;
Costo3 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Isocianato_03\Datos.XLSX'); !Costo unitario por faltante del producto;
D = @OLE('E:\Control_de_inventario\Isocianato_03\Datos.XLSX'); !Demanda;
L = @OLE('E:\Control_de_inventario\Isocianato_03\Datos.XLSX'); !Capacidad de producción;
Io = 360; !Inventario inicial;

ENDDATA

MIN = @sum(m(i):Costo1(i)*X(i) + Costo2(i)*Y(i) + Costo3(i)*Z(i)); !FUNCIÓN OBJETIVO;

@for(m(i): Y(i) = @sum(n(j)|j#LE#i:X(j)) + Z(i) + Io - @sum(n(j)|j#LE#i:D(j)));!Restricción de nivel de inventario;

@for(m(i): X(i) <= L(i));!Restricción de capacidad de producción;

@for(m(i)|i#GE#12:Z(i)=0);!Restricción de falta de unidad en inventario;

END

```

El costo total del modelo aplicado da como resultado un valor de \$ 50509,98 que es el costo total por manejo de inventario, al aplicar este modelo de control de inventario. Además a continuación se presenta la mejor solución obtenida mediante el modelo de programación lineal, para un mejor análisis se presentan los resultados del material isocianato epaflex suave 03 en la Tabla 36.

Tabla 36.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de isocianato epaflex suave 03.

<b>Mes</b>	<b><i>X<sub>i</sub></i> (kg)</b>	<b><i>Y<sub>i</sub></i> (kg)</b>	<b><i>Z<sub>i</sub></i> (kg)</b>
<b>1</b>	1099,14	0,00	0,00
<b>2</b>	1429,94	0,00	0,00
<b>3</b>	887,94	0,00	0,00
<b>4</b>	684,97	0,00	0,00
<b>5</b>	918,90	0,00	0,00
<b>6</b>	937,84	0,00	0,00
<b>7</b>	1143,70	0,00	0,00
<b>8</b>	1166,32	0,00	0,00
<b>9</b>	1039,56	0,00	0,00
<b>10</b>	0,00	0,00	1110,48
<b>11</b>	1972,91	0,00	0,00
<b>12</b>	1001,16	0,00	0,00
<b>Σ</b>	12282,38		

Se conoce que no existe almacenamiento de inventario en ningún período del horizonte de planeación, por lo que se analiza el nivel de inventario junto con las cantidades a requerir. Se muestra un ejemplo, se toma el inventario inicial y se resta la demanda en el primer mes:

$$Y_1 = 360 \text{ kg} - 1459,14 \text{ kg} = -1099,14 \text{ kg}$$

Entonces se sabe que el inventario inicial que es igual a 360 kg no cubre la demanda pronosticada para el primer mes, por lo que la cantidad restante para cubrir la demanda en el primer mes igual a 1099,14 kg, es la que se requiere en dicho mes.

Por otro lado se sabe que en el décimo mes existen unidades faltantes en inventario, puesto que para contrarrestar la restricción de unidad faltante al final del horizonte de planeación, la cantidad a requerir en el onceavo mes es la sumatoria de las demandas pronosticadas en el décimo y onceavo mes.

El proceso de cálculo se efectúa para cada mes del horizonte de planeación y los resultados son presentados en la Tabla 36.

Ahora se realiza un análisis con respecto a los datos históricos correspondientes al año anterior, para analizar de mejor manera los resultados obtenidos, se presenta la Tabla 37 con el total de la cantidad a requerir considerando el horizonte de planeación dividido en trimestres. Los datos de las cantidades requeridas en el año anterior son tomados de las tablas presentadas en el Anexo 13.

Tabla 37.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de isocianato epaflex suave 03.

	<i>oct 2013 - sep. 2014</i>	<i>oct 2014 - sep. 2015</i>
<b>Trimestre 1</b>	4080	3417,02
<b>Trimestre 2</b>	4080	2541,71
<b>Trimestre 3</b>	0	3349,58
<b>Trimestre 4</b>	1921	2974,07
$\Sigma$	10081	12282,38

De manera gráfica el análisis de la Tabla 37 se presenta la Figura 29 en dónde se ve que la cantidad se equilibra en función de la demanda estimada, para el año anterior las cantidades requeridas por trimestre son mayores.

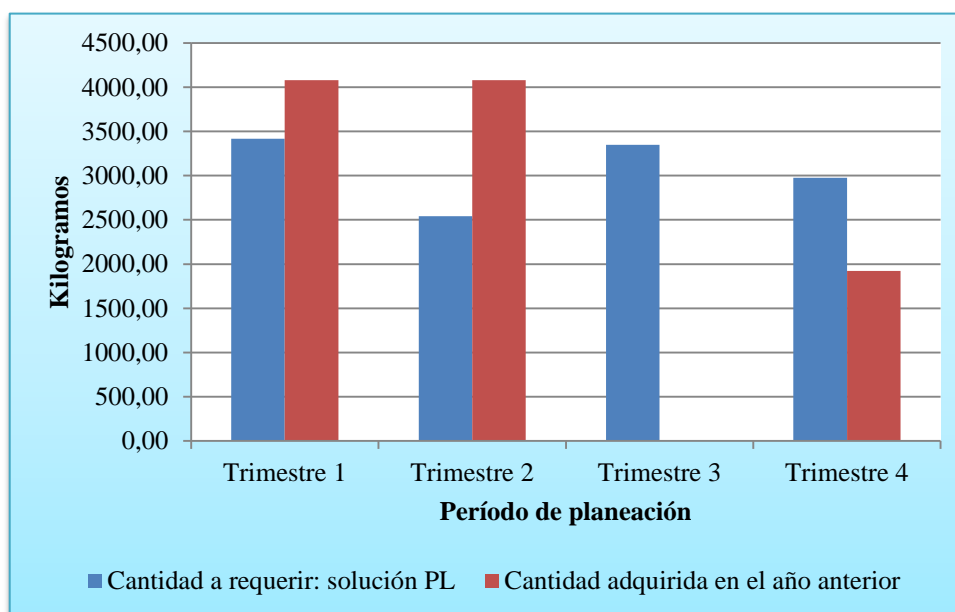


Figura 29.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de isocianato epaflex suave 03.

Para este producto no se analiza la cantidad que se mantiene en inventario al final de cada mes, puesto que la solución encontrada sugiere que no se almacene material y se trabaje con lo que se requiere.

También se considera que mantener inventario representa un costo por lo que la Figura 28 representa en análisis del mismo. Los datos de los costos anteriores son tomados del Anexo 13 que sumados dan el costo total anual.

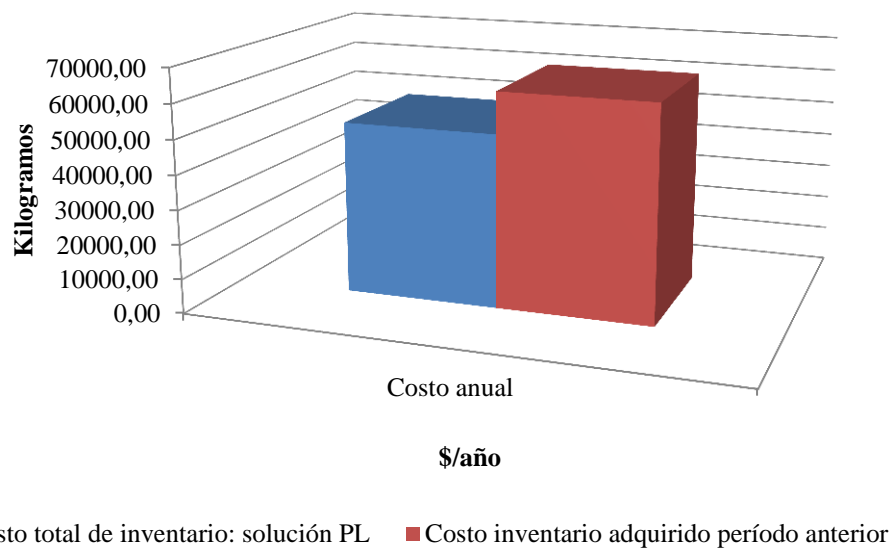


Figura 30.- Análisis de costo total de inventario de isocianato epaflex suave 03.

Se observa que el costo total calculado por el modelo es menor que el costo que se invirtió en el período anterior, pues el modelo ofrece las cantidades óptimas que ayudan a reducir costos relacionados con el manejo de inventario. Además para saber cuan eficiente es el modelo se aplica la ecuación siguiente:

$$\% \text{ mejora}_{\text{isocianato03}} = \frac{(62590,43 - 50509,98) \frac{\$}{\text{año}}}{62590,43 \frac{\$}{\text{año}}} \times 100 = 19,30 \%$$

Se considera que el modelo brinda las soluciones óptimas y disminuye parcialmente el costo total por manejo de inventario, y presenta una mejora en la eficiencia de 19,30 %, con relación al manejo que se venía dando al inventario anteriormente.

**d) Modelo de programación lineal para el control de inventario del material polioli epaflex duro 350.**

En este caso se plantea un modelo para material polioli epaflex duro 350. Los datos necesarios para el planteamiento del modelo de programación lineal del producto de materia prima mencionado se muestran a continuación en la Tabla 38, considerando el horizonte de planeación octubre 2014 a septiembre 2015.

Tabla 38.- Datos necesarios para el modelo PL de polioli epaflex duro 350.

<i>k</i> (Mes)	<i>D<sub>i</sub></i> (kg)	<i>L<sub>i</sub></i> (kg)	<i>C<sub>1i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>2i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>3i</sub></i> (\$/período)
1	1433,36	1741,64	4,30	0,54	0,17
2	1296,2	1504,14	4,43	0,55	0,17
3	1396,94	1662,47	4,59	0,57	0,17
4	468,68	1583,31	4,59	0,57	0,17
5	900,54	1424,98	4,16	0,52	0,17
6	1195,63	1741,64	4,16	0,52	0,17
7	1550,95	1741,64	4,16	0,52	0,17
8	1509,09	1583,31	4,45	0,56	0,17
9	1020,92	1741,64	4,48	0,56	0,17
10	979,94	1820,8	4,50	0,56	0,17
11	1324,8	1583,31	4,06	0,51	0,17
12	1386,31	1741,64	4,06	0,51	0,17

Los valores que presenta la Tabla 28 son tomados de los cálculos anteriores, la demanda ( $d_i$ ) son tomados de la Tabla 14, mientras que los valores de la capacidad ( $L_i$ ) de la Tabla 26.

Por otro lado los valores de los costos son tomados de las tablas del Anexo 7 para los costos unitarios de los productos, mientras de las tablas del Anexo 8 para los costos de mantenimiento de inventario y por último los costos de unidades faltantes se toman de la Tabla 18.

A continuación se reemplazan los datos en el modelo de programación lineal para el polioli epaflex duro 350, el modelo a resolverse es el siguiente:



```

MODEL:

TITLE MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA EL CONTROL DE INVENTARIOS;

SETS:

m/1..12/:Costo1,Costo2,Costo3,D,L,X,Y,Z; !Definición de las variables;
n/1..12/; !Índice j;

ENDSETS

DATA:

Costo1 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Poliol_350\Datos.XLSX'); !Costo unitario del producto;
Costo2 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Poliol_350\Datos.XLSX'); !Costo unitario de almacenamiento del producto;
Costo3 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Poliol_350\Datos.XLSX'); !Costo unitario por faltante del producto;
D = @OLE('E:\Control_de_inventario\Poliol_350\Datos.XLSX'); !Demanda;
L = @OLE('E:\Control_de_inventario\Poliol_350\Datos.XLSX'); !Capacidad de producción;
Io = 3720; !Inventario inicial;

ENDDATA

MIN = @sum(m(i):Costo1(i)*X(i) + Costo2(i)*Y(i) + Costo3(i)*Z(i)); !FUNCIÓN OBJETIVO;

@for(m(i): Y(i) = @sum(n(j)|j#LE#i:X(j)) + Z(i) + Io - @sum(n(j)|j#LE#i:D(j)));!Restricción de nivel de inventario;

@for(m(i): X(i) <= L(i));!Restricción de capacidad de producción;

@for(m(i)|i#GE#12:Z(i)=0);!Restricción de falta de unidad en inventario;

END

```

Mediante la interacción de los datos, el valor costo total del modelo aplicado que lingo da como resultado es de \$ 47593,12 que es el costo que se tiene al aplicar éste control de inventario. A continuación se presenta la mejor solución del material isocianato epaflex duro 99 en la Tabla 39.

Tabla 39.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de polioli epaflex duro 350.

Mes	$X_i$ (kg)	$Y_i$ (kg)	$Z_i$ (kg)
1	0,00	2286,64	0,00
2	0,00	990,44	0,00
3	350,74	0,00	55,76
4	0,00	0,00	524,44
5	1424,98	0,00	0,00
6	1195,63	0,00	0,00
7	1550,95	0,00	0,00
8	1509,09	0,00	0,00
9	1377,02	356,10	0,00
10	0,00	0,00	623,84
11	1583,31	0,00	365,33
12	1741,64	0,00	0,00
$\Sigma$	10733,36		

Una vez conocido la cantidad requerida de material polioli epaflex duro 350, se analiza los resultados. Tomando en cuenta la cantidad de inventario inicial y la demanda se tiene las cantidades a requerir que se presentan en la Tabla 35, así como también la cantidad de producto que se debe tener en inventario.

Se considera un ejemplo:

$$Y_1 = 3720 \text{ kg} - 1433,36 \text{ kg} = 2286,64 \text{ kg}$$

Entonces se sabe que el inventario al final del primer mes es de 2286,64 kg, dicha cantidad satisface la demanda por lo que no se requiere pedir material en ese período. Ahora se muestra otro ejemplo:

$$Y_2 = 2286,64 \text{ kg} - 1296,20 \text{ kg} = 990,44 \text{ kg}$$

Dicha cantidad satisface la demanda, por lo que la cantidad en inventario al final del segundo mes es de 990,44 kg por lo que no se requiere pedir material en ese período. Para el tercer mes se tiene lo siguiente:

$$Y_3 = 990,44 \text{ kg} - 1396,94 \text{ kg} = -406,50 \text{ kg}$$

Se nota que la cantidad de inventario no cubre la demanda, por lo se requiere realizar un pedido de materia prima el cual se muestra en  $X_3 = 350,74$  kg que ayudan a cubrir la demanda y existe cantidad de unidad de inventario faltante igual  $Z_3 = 55,76$ .

Existe un falta de unidad en inventario por lo que  $Z_4 = 809,29$  y por tal motivo se requiere realizar un pedido, por lo que para el siguiente mes, es decir el quinto se realiza un pedido y  $X_5$  toma el valor de 1424,98 kg, el cual cubre la demanda insatisfecha del tercer y cuarto mes. El proceso se realiza para todos los meses del horizonte y planeación y los resultados son presentados en la Tabla 39.

Ahora se realiza un análisis con respecto a los datos históricos correspondientes al año anterior, para analizar de mejor manera los resultados obtenidos. Se presenta la Tabla 40 considerando el horizonte de planeación dividido en trimestres con las cantidades de unidades requeridas. Los datos de las cantidades requeridas en el año anterior son tomados de las tablas presentadas en el Anexo 13.

Tabla 40.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de polioli epaflex duro 350.

	<i>oct 2013 - sep. 2014</i>	<i>oct 2014 - sep. 2015</i>
<b><i>Trimestre 1</i></b>	3060	350,74
<b><i>Trimestre 2</i></b>	3060	2620,61
<b><i>Trimestre 3</i></b>	0	4437,06
<b><i>Trimestre 4</i></b>	6300	3324,95
$\Sigma$	12420	10382,62

De manera gráfica el análisis de la Tabla 40 se presenta la Figura 31 en dónde claramente se ve que la cantidad a ser requerida disminuye, pues esta se equilibra en función de la demanda estimada.

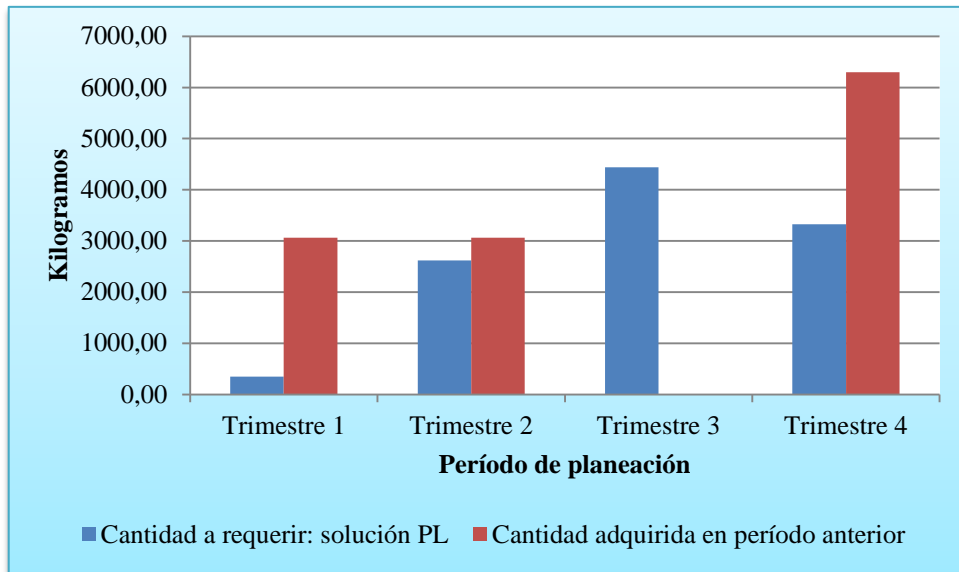


Figura 31.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de polioli epaflex duro 350.

Se observa que la cantidad a requerir disminuye, pues sólo se considera requerir lo que se necesita en base a la demanda. Además se realiza un análisis en base a la cantidad que se debe mantener de material en bodega, con respecto a la cantidad que se venía manteniendo en el año anterior., como se muestra en la Tabla 41.

Tabla 41.- Análisis de inventario al final de cada mes de polioli epaflex duro 350.

<i>MES</i>	<i>oct 2013 - sep. 2014</i>	<i>oct 2014 - sep. 2015</i>
1	178,00	2331,22
2	150,50	1075,35
3	25,00	0,00
4	-3,00	0,00
5	155,00	0,00
6	118,50	0,00
7	151,00	0,00
8	110,00	0,00
9	72,00	344,70
10	72,00	0,00
11	187,00	0,00
12	73,58	0,00

De manera gráfica el análisis de la Tabla 41 se presenta la Figura 32 en dónde claramente se ve que la cantidad se equilibra en función de la demanda estimada. Se observa que al inicio del período de planeación se mantiene mayor cantidad de

inventario debido a que representa el sobrante del año anterior, posteriormente la cantidad disminuye y solo se posee lo que se necesita.

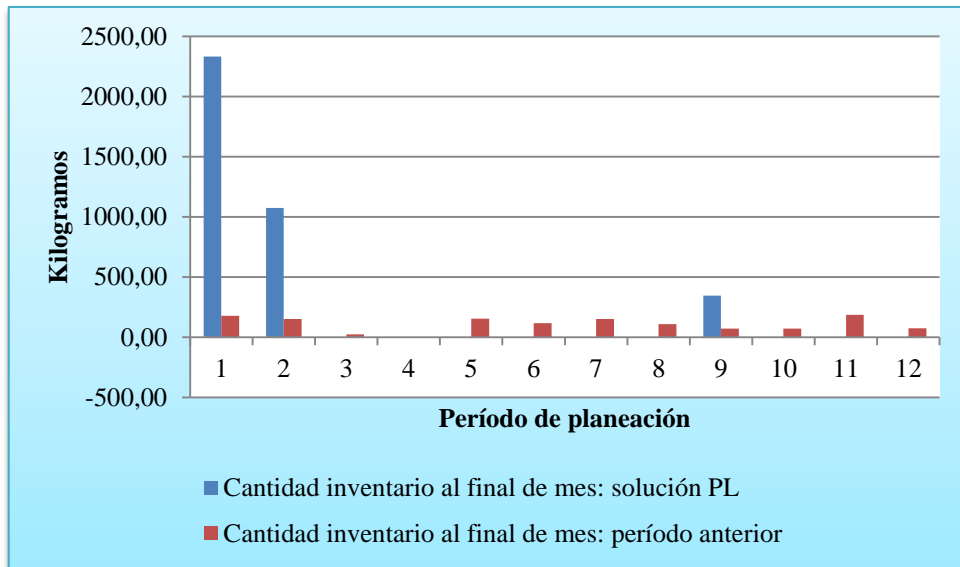


Figura 32.- Cantidad en inventario al final de cada mes de poliol epaflex duro 350.

También se considera que mantener inventario representa un costo por lo que la Figura 33 representa en análisis del mismo. En dónde se considera los costos invertidos en el año anterior frente a los costos arrojados por la función objetivo. Los datos de los costos anteriores son tomados del Anexo 13 que sumados dan el costo total anual.

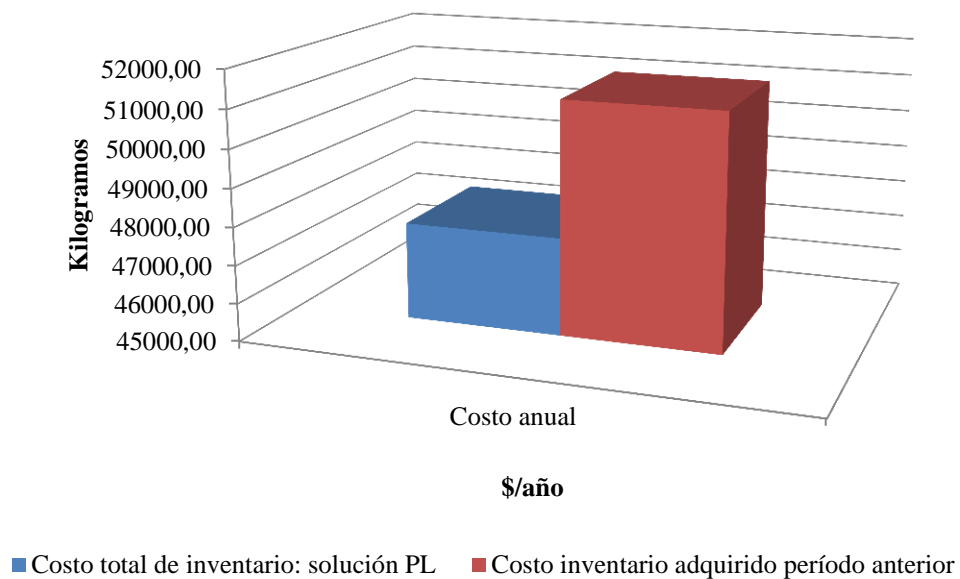


Figura 33.- Análisis de costo total de inventario de poliol epaflex duro 350.

Se demuestra que el costo total disminuye notablemente y para determinar el porcentaje de cuan eficiente es el modelo de control de inventario aplicado, se utiliza la ecuación siguiente:

$$\% \text{ mejora}_{\text{potiol350}} = \frac{(51172,20 - 47593,12) \frac{\$}{\text{año}}}{51172,20 \frac{\$}{\text{año}}} \times 100 = 6,99 \%$$

Se considera que el modelo brinda las soluciones óptimas y disminuye parcialmente el costo total por manejo de inventario, y presenta una mejora en la eficiencia de 6,99 %, con relación al manejo que se venía dando al inventario anteriormente.

**e) Modelo de programación lineal para el control de inventario del material percloretileno.**

A continuación se propone un modelo para material percloretileno. Los datos necesarios para el planteamiento del modelo de programación lineal del producto de materia prima mencionado se muestran a continuación en la Tabla 42, considerando el horizonte de planeación octubre 2014 a septiembre 2015.

Tabla 42.- Datos necesarios para el modelo PL de percloretileno.

<i>k</i> (mes)	<i>D<sub>i</sub></i> (kg)	<i>L<sub>i</sub></i> (kg)	<i>C<sub>1i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>2i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>3i</sub></i> (\$/período)
1	372,54	452,67	1,92	0,24	0,09
2	336,89	390,94	1,78	0,22	0,09
3	363,08	432,09	1,79	0,22	0,09
4	121,81	411,51	1,73	0,22	0,09
5	234,06	370,36	1,70	0,21	0,09
6	310,75	452,67	1,70	0,21	0,09
7	403,11	452,67	1,70	0,21	0,09
8	392,23	411,51	1,70	0,21	0,09
9	265,35	452,67	1,55	0,19	0,09
10	254,69	473,24	1,54	0,19	0,09
11	344,33	411,51	1,38	0,17	0,09
12	360,31	452,67	1,39	0,17	0,09

A continuación se reemplazan los datos en el modelo de programación lineal para el material percloretileno, el modelo a resolverse es el siguiente:

MODEL:

TITLE MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA EL CONTROL DE INVENTARIOS;

SETS:

m/1..12/:Costo1,Costo2,Costo3,D,L,X,Y,Z; !Definición de las variables;

n/1..12/; !Índice j;

ENDSETS

DATA:

Costo1 = @OLE('E:\Control\_de\_inventario\Percloroetileno\Datos.XLSX'); !Costo unitario del producto;  
Costo2 = @OLE('E:\Control\_de\_inventario\Percloroetileno\Datos.XLSX'); !Costo unitario de almacenamiento del producto  
Costo3 = @OLE('E:\Control\_de\_inventario\Percloroetileno\Datos.XLSX'); !Costo unitario por faltante del producto;  
D = @OLE('E:\Control\_de\_inventario\Percloroetileno\Datos.XLSX'); !Demanda;  
L = @OLE('E:\Control\_de\_inventario\Percloroetileno\Datos.XLSX'); !Capacidad de producción;  
Io = 542.50; !Inventario inicial;

ENDDATA

MIN = @sum(m(i):Costo1(i)\*X(i) + Costo2(i)\*Y(i) + Costo3(i)\*Z(i)); !FUNCIÓN OBJETIVO;

@for(m(i): Y(i) = @sum(n(j)|j#LE#i:X(j)) + Z(i) + Io - @sum(n(j)|j#LE#i:D(j)));!Restricción de nivel de inventario;

@for(m(i): X(i) <= L(i));!Restricción de capacidad de producción;

@for(m(i)|i#GE#12:Z(i)=0);!Restricción de falta de unidad en inventario;

END

El valor costo total del modelo aplicado es de \$ 5251,61 que es el costo que se tiene al aplicar éste control de inventario, este valor suma los costos unitarios del producto, costo de mantener inventarios y el costo por unidades faltantes para los periodos planificados con las cantidades arrojadas. A continuación se presenta la mejor solución del material percloroetileno en la Tabla 43.

Tabla 43.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de percloroetileno.

Mes	$X_i$ (kg)	$Y_i$ (kg)	$Z_i$ (kg)
1	0,00	169,96	0,00
2	166,93	0,00	0,00
3	363,07	0,00	0,00
4	121,81	0,00	0,00
5	234,05	0,00	0,00
6	310,75	0,00	0,00
7	403,10	0,00	0,00
8	290,03	0,00	102,19
9	452,67	85,14	0,00
10	0,00	0,00	169,55
11	411,51	0,00	102,36
12	452,67	0,00	0,00
$\Sigma$	3206,59		

Una vez conocido la cantidad requerida de material percloroetileno, se analiza los resultados. Tomando en cuenta la cantidad de inventario inicial y la demanda se tiene las cantidades a requerir que se presentan en la Tabla 43, así como también la cantidad de producto que se debe tener en inventario. Se considera un ejemplo:

$$Y_1 = 542,50 \text{ kg} - 372,54 \text{ kg} = 169,96 \text{ kg}$$

Entonces se sabe que el inventario al final del primer mes es de 169,96 kg, dicha cantidad satisface la demanda por lo que no se requiere pedir material en ese período. Ahora se muestra otro ejemplo:

$$Y_2 = 169,96 \text{ kg} - 336,89 \text{ kg} = -166,93 \text{ kg}$$

Se nota que la cantidad de inventario no cubre la demanda, por lo se requiere realizar un pedido de materia prima el cual se muestra en  $X_2= 166,93$  kg que ayudan a cubrir la demanda y existe cantidad de unidad de inventario faltante igual  $Z_3= 55,76$ . El proceso



se realiza para todos los meses del horizonte y planeación y los resultados son presentados en la Tabla 39.

Ahora se realiza un análisis con respecto a los datos históricos correspondientes al año anterior, para analizar de mejor manera los resultados obtenidos. Se presenta la Tabla 44 considerando el horizonte de planeación dividido en trimestres con las cantidades de unidades requeridas. Los datos de las cantidades requeridas en el año anterior son tomados de las tablas presentadas en el Anexo 13.

Tabla 44.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de percloretileno.

	<i>oct 2013 - sep. 2014</i>	<i>oct 2014 - sep. 2015</i>
<b>Trimestre 1</b>	952,56	530,00
<b>Trimestre 2</b>	1905,12	666,61
<b>Trimestre 3</b>	952,56	1145,80
<b>Trimestre 4</b>	2117,6	864,18
$\Sigma$	5927,84	3206,59

De manera gráfica el análisis de la Tabla 44 se presenta la Figura 31 en dónde claramente se ve que la cantidad a ser requerida disminuye, pues esta se equilibra en función de la demanda estimada.

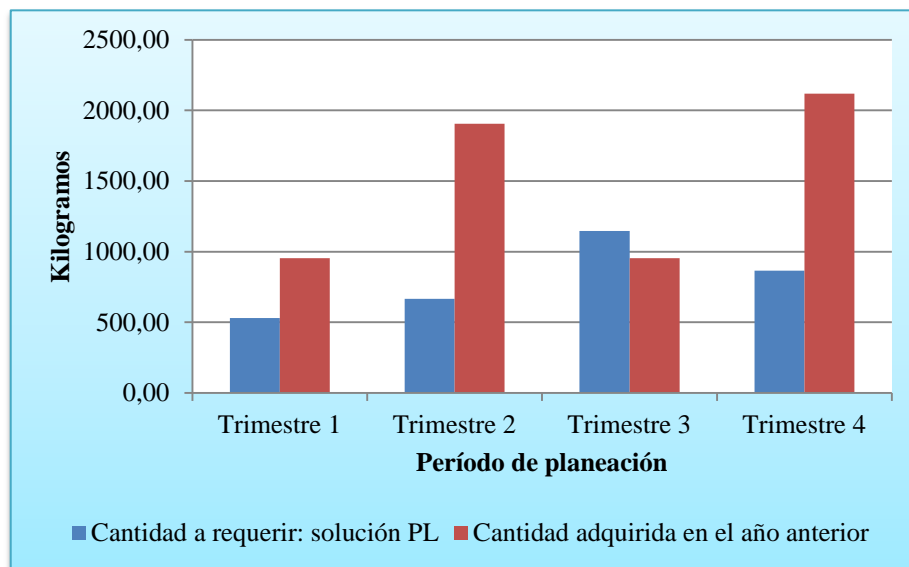


Figura 34.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de percloretileno

Se observa que la cantidad a requerir disminuye, pues sólo se considera requerir lo que se necesita en base a la demanda. Además se realiza un análisis en base a la cantidad que se debe mantener de material en bodega, con respecto a la cantidad que se venía manteniendo en el año anterior, como se muestra en la Tabla 45.

Tabla 45.- Análisis de inventario al final de cada mes de percloroetileno.

<i>MES</i>	<i>oct 2013 - sep. 2014</i>	<i>oct 2014 - sep. 2015</i>
1	451,00	169,96
2	384,50	0,00
3	321,00	0,00
4	272,00	0,00
5	512,50	0,00
6	405,00	0,00
7	247,00	0,00
8	154,00	0,00
9	65,50	85,14
10	105,50	0,00
11	399,50	0,00
12	265,00	0,00

De manera gráfica el análisis de la Tabla 45 se presenta la Figura 32 en dónde claramente se ve que la cantidad se equilibra en función de la demanda estimada.

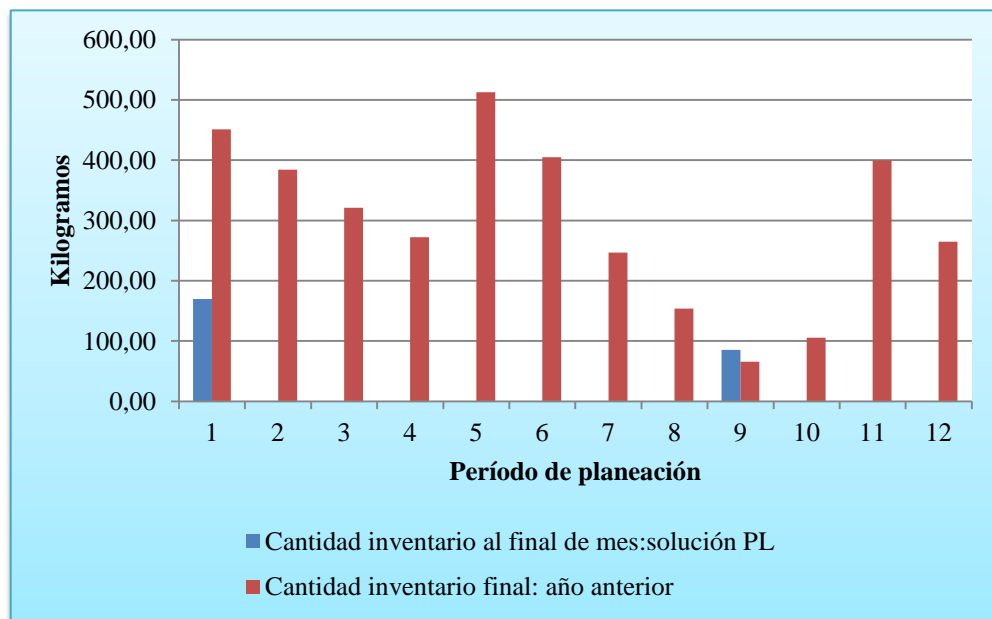


Figura 35.- Cantidad en inventario al final de cada mes de percloroetileno.

También se considera que mantener inventario representa un costo por lo que la Figura 36 representa en análisis del mismo. En dónde se considera los costos invertidos en el año anterior frente a los costos arrojados por la función objetivo.

Los datos de los costos anteriores son tomados del Anexo 13 que sumados dan el costo total anual.

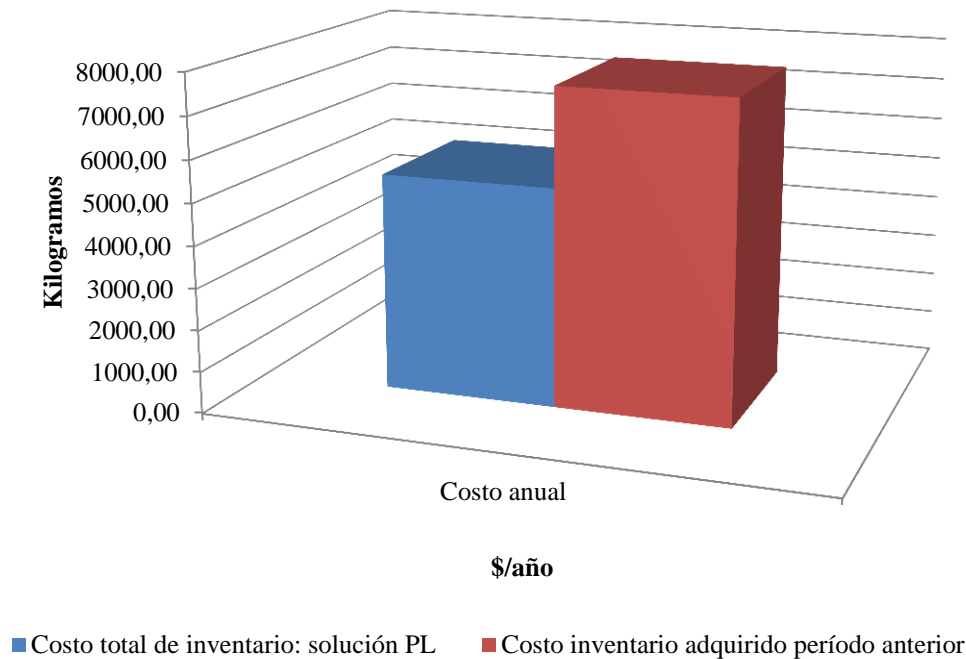


Figura 36.- Análisis de costo total de inventario de percloroetileno.

Se demuestra que el costo total disminuye notablemente y para determinar el porcentaje de cuan eficiente es el modelo de control de inventario aplicado, se utiliza la ecuación siguiente:

$$\% \text{ mejora}_{\text{percloroetileno}} = \frac{(7612,18 - 5251,61) \frac{\$}{\text{año}}}{7612,18 \frac{\$}{\text{año}}} \times 100 = 31,01 \%$$

Se considera que el modelo brinda las soluciones óptimas y disminuye parcialmente el costo total por manejo de inventario, y presenta una mejora en la eficiencia de 31,01 %, con relación al manejo que se venía dando al inventario anteriormente.

**f) Modelo de programación lineal para el control de inventario del material catalizador epaflex duro CBH100.**

Se propone a continuación un modelo para material catalizador epaflex duro CBH100. Los datos necesarios para el planteamiento del modelo de programación lineal del producto de materia prima mencionado se muestran a continuación en la Tabla 42, considerando el horizonte de planeación octubre 2014 a septiembre 2015.

Tabla 46.- Datos necesarios para el modelo PL de catalizador epaflex duro CBH100.

<i>k</i> (mes)	<i>D<sub>i</sub></i> (kg)	<i>L<sub>i</sub></i> (kg)	<i>C<sub>1i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>2i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>3i</sub></i> (\$/período)
1	297,07	360,96	3,96	0,50	0,11
2	268,64	311,74	3,96	0,50	0,11
3	289,52	344,55	5,36	0,67	0,11
4	97,14	328,15	5,36	0,67	0,11
5	186,64	295,33	5,36	0,67	0,11
6	247,80	360,96	4,10	0,51	0,11
7	321,44	360,96	4,10	0,51	0,11
8	312,76	328,15	4,50	0,56	0,11
9	211,59	360,96	4,50	0,56	0,11
10	203,10	377,37	4,50	0,56	0,11
11	274,57	328,15	4,06	0,51	0,11
12	287,32	360,96	4,06	0,51	0,11

Los valores que presenta la Tabla 28 son tomados de los cálculos anteriores, la demanda (*d<sub>i</sub>*) son tomados de la Tabla 14, mientras que los valores de la capacidad (*L<sub>i</sub>*) de la Tabla 26.

Por otro lado los valores de los costos son tomados de las tablas del Anexo 7 para los costos unitarios de los productos, mientras de las tablas del Anexo 8 para los costos de mantenimiento de inventario y por último los costos de unidades faltantes se toman de la Tabla 18.

A continuación se reemplazan los datos en el modelo de programación lineal para el material catalizador epaflex duro CBH100, el modelo a resolverse es el siguiente:

```

MODEL:

TITLE MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA EL CONTROL DE INVENTARIOS;

SETS:

m/1..12/:Costo1,Costo2,Costo3,D,L,X,Y,Z; !Definición de las variables;
n/1..12/; !Índice j;

ENDSETS

DATA:

Costo1 = @OLE('E:\Control_de_inventario\CBH_100\Datos.XLSX'); !Costo unitario del producto;
Costo2 = @OLE('E:\Control_de_inventario\CBH_100\Datos.XLSX'); !Costo unitario de almacenamiento del producto;
Costo3 = @OLE('E:\Control_de_inventario\CBH_100\Datos.XLSX'); !Costo unitario por faltante del producto;
D = @OLE('E:\Control_de_inventario\CBH_100\Datos.XLSX'); !Demanda;
L = @OLE('E:\Control_de_inventario\CBH_100\Datos.XLSX'); !Capacidad de producción;
Io = 720; !Inventario inicial;

ENDDATA

MIN = @sum(m(i):Costo1(i)*X(i) + Costo2(i)*Y(i) + Costo3(i)*Z(i)); !FUNCIÓN OBJETIVO;

@for(m(i): Y(i) = @sum(n(j)|j#LE#i:X(j)) + Z(i) + Io - @sum(n(j)|j#LE#i:D(j)));!Restricción de nivel de inventario;

@for(m(i): X(i) <= L(i));!Restricción de capacidad de producción;

@for(m(i)|i#GE#12:Z(i)=0);!Restricción de falta de unidad en inventario;

END

```

Mediante la interacción de los datos, el valor del total del modelo aplicado es de \$ 10046,96 que es el costo que se tiene al aplicar éste control de inventario. A continuación se presenta la mejor solución del material catalizador epaflex duro CBH100 en la Tabla 47.

Tabla 47.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de catalizador epaflex duro CBH100.

<b>Mes</b>	<b><i>X<sub>i</sub></i> (kg)</b>	<b><i>Y<sub>i</sub></i> (kg)</b>	<b><i>Z<sub>i</sub></i> (kg)</b>
<b>1</b>	0,00	422,93	0,00
<b>2</b>	167,45	321,74	0,00
<b>3</b>	0,00	32,22	0,00
<b>4</b>	0,00	0,00	64,92
<b>5</b>	0,00	0,00	251,56
<b>6</b>	360,96	0,00	138,40
<b>7</b>	360,96	0,00	98,88
<b>8</b>	328,15	0,00	83,49
<b>9</b>	360,96	65,88	0,00
<b>10</b>	0,00	0,00	137,22
<b>11</b>	328,15	0,00	83,64
<b>12</b>	360,96	0,00	0,00
<b>Σ</b>	2267,59		

Una vez conocido la cantidad requerida de material catalizador epaflex duro CBH100, se analiza los resultados. Tomando en cuenta la cantidad de inventario inicial y la demanda se tiene las cantidades a requerir que se presentan en la Tabla 47, así como también la cantidad de producto que se debe tener en inventario. Se considera un ejemplo:

$$Y_1 = 720 \text{ kg} - 297,07 \text{ kg} = 422,93 \text{ kg}$$

Entonces se sabe que el inventario al final del primer mes es de 422,93 kg, dicha cantidad satisface la demanda por lo que no se requiere pedir material en ese período. El proceso se realiza para todos los meses del horizonte y planeación y los resultados son presentados en la Tabla 47.

Ahora se realiza un análisis con respecto a los datos históricos correspondientes al año anterior, para analizar de mejor manera los resultados obtenidos. Se presenta la Tabla 48 considerando el horizonte de planeación dividido en trimestres con las cantidades de

unidades requeridas. Los datos de las cantidades requeridas en el año anterior son tomados de las tablas presentadas en el Anexo 13.

Tabla 48.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de catalizador epaflex duro CBH100.

	<i>oct 2013 - sep. 2014</i>	<i>oct 2014 - sep. 2015</i>
<b>Trimestre 1</b>	612	167,45
<b>Trimestre 2</b>	612	360,96
<b>Trimestre 3</b>	0	1050,07
<b>Trimestre 4</b>	1260	689,11
$\Sigma$	2484	2267,59

De manera gráfica el análisis de la Tabla 48 se presenta la Figura 37 en dónde claramente se ve que la cantidad a ser requerida disminuye, pues esta se equilibra en función de la demanda estimada.

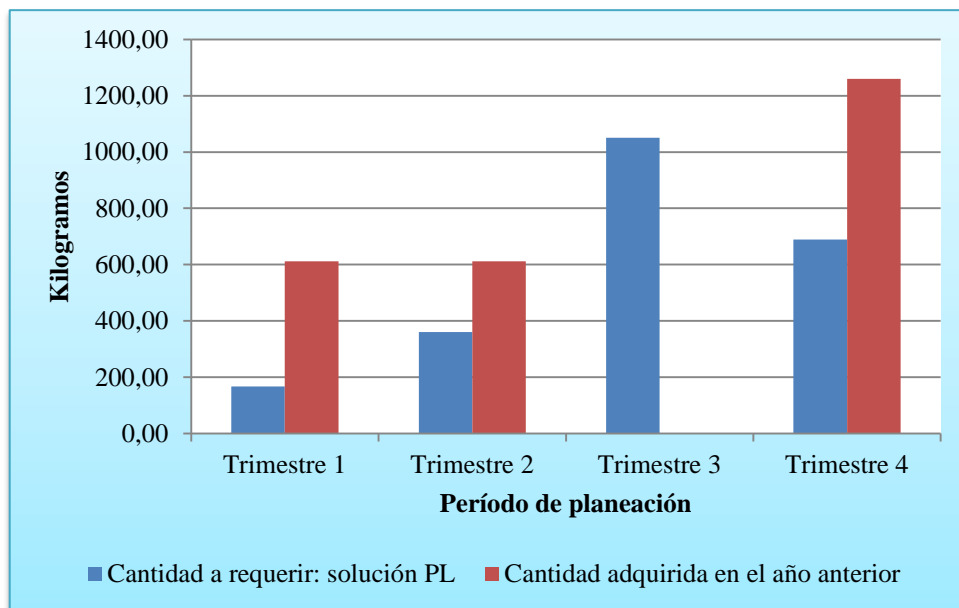


Figura 37.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de catalizador epaflex duro CBH100.

Se observa que la cantidad a requerir disminuye, pues sólo se considera requerir lo que se necesita en base a la demanda. Además se realiza un análisis en base a la cantidad que se debe mantener de material en bodega, con respecto a la cantidad que se venía manteniendo en el año anterior, como se muestra en la Tabla 49.

Tabla 49.- Análisis de inventario al final de cada mes de catalizador epaflex duro CBH100.

MES	oct 2013 - sep. 2014	oct 2014 - sep. 2015
1	648,00	422,93
2	648,00	321,74
3	252,00	32,22
4	72,00	0,00
5	36,00	0,00
6	576,00	0,00
7	72,00	0,00
8	88,00	0,00
9	44,00	65,88
10	258,00	0,00
11	1006,00	0,00
12	720,00	0,00

De manera gráfica el análisis de la Tabla 49 se presenta la Figura 38 en dónde claramente se ve que la cantidad se equilibra en función de la demanda estimada.

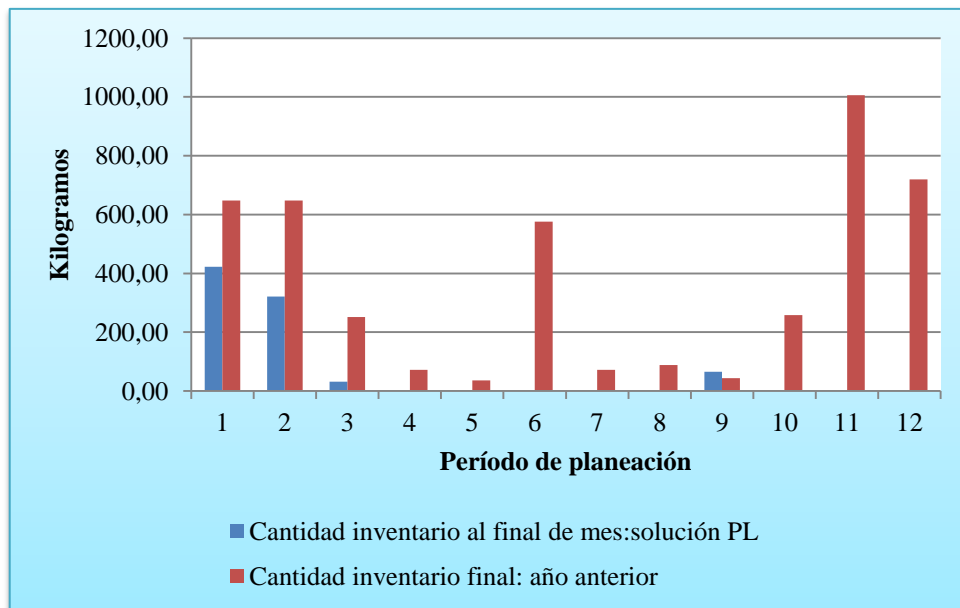


Figura 38.- Cantidad en inventario al final de cada mes de catalizador epaflex duro CBH100.

También se considera que mantener inventario representa un costo por lo que la Figura 39 representa en análisis del mismo. En dónde se considera los costos invertidos en el año anterior frente a los costos arrojados por la función objetivo.



Los datos de los costos anteriores son tomados del Anexo 13 que sumados dan el costo total anual.

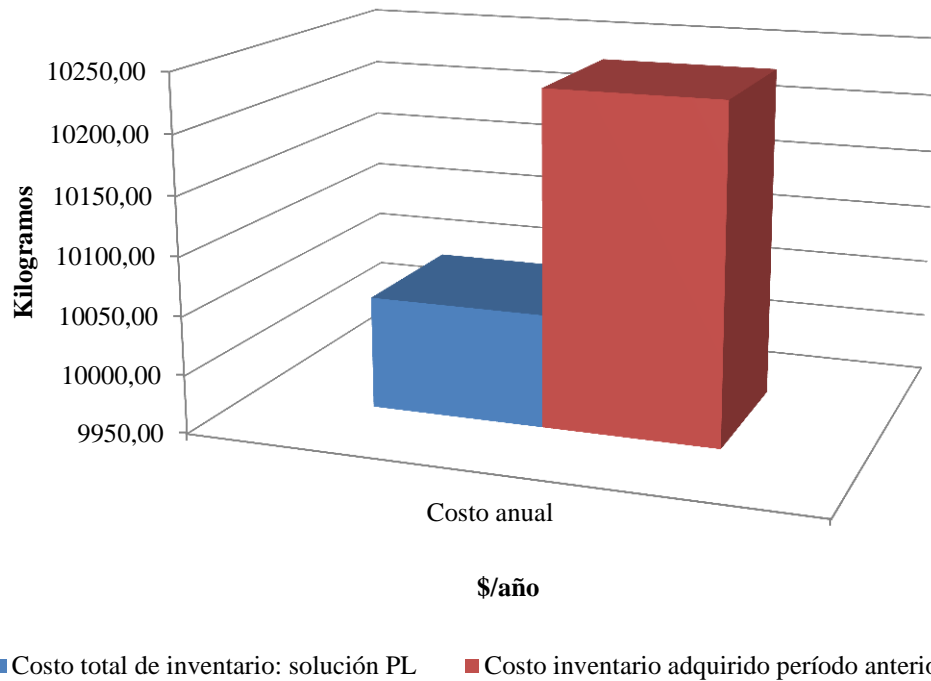


Figura 39.- Análisis de costo total de inventario de catalizador epaflex duro CBH100.

Se considera los costos por manejo de inventario, y se observa que el costo total disminuye notablemente., pues al considerar las cantidades óptimas se reducen costos.

Además para saber cuan eficiente es el modelo se aplica la ecuación siguiente:

$$\% \text{ mejora}_{CBH100} = \frac{(10234,44 - 10046,96) \frac{\$}{\text{año}}}{10234,44 \frac{\$}{\text{año}}} \times 100 = 1,83 \%$$

Se considera que el modelo brinda las soluciones óptimas y disminuye parcialmente el costo total por manejo de inventario, y presenta una mejora en la eficiencia de 1,83%, con relación al manejo que se venía dando al inventario anteriormente.

**g) Modelo de programación lineal para el control de inventario del material cloruro de metileno.**

A continuación se presenta un modelo para material cloruro de metileno. Los datos necesarios para el planteamiento del modelo de programación lineal del producto de materia prima mencionado se muestran a continuación en la Tabla 50, considerando el horizonte de planeación octubre 2014 a septiembre 2015.

Tabla 50.- Datos necesarios para el modelo PL de cloruro de metileno.

<i>k</i> (mes)	<i>D<sub>i</sub></i> (kg)	<i>L<sub>i</sub></i> (kg)	<i>C<sub>1i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>2i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>3i</sub></i> (\$/período)
1	439,75	534,32	1,02	0,13	0,15
2	397,67	461,46	0,98	0,12	0,15
3	428,57	510,04	1,05	0,13	0,15
4	143,79	485,75	0,92	0,11	0,15
5	276,28	437,17	0,91	0,11	0,15
6	366,81	534,32	0,91	0,11	0,15
7	475,82	534,32	0,90	0,11	0,15
8	462,98	485,75	0,90	0,11	0,15
9	313,21	534,32	0,90	0,11	0,15
10	300,64	558,61	0,90	0,11	0,15
11	406,44	485,75	0,90	0,11	0,15
12	425,31	534,32	0,90	0,11	0,15

Los valores que presenta la Tabla 28 son tomados de los cálculos anteriores, la demanda ( $d_i$ ) son tomados de la Tabla 14, mientras que los valores de la capacidad ( $L_i$ ) de la Tabla 26.

Por otro lado los valores de los costos son tomados de las tablas del Anexo 7 para los costos unitarios de los productos, mientras de las tablas del Anexo 8 para los costos de mantenimiento de inventario y por último los costos de unidades faltantes se toman de la Tabla 18.

A continuación se reemplazan los datos en el modelo de programación lineal para el material cloruro de metileno, el modelo a resolverse es el siguiente:

```

MODEL:

TITLE MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA EL CONTROL DE INVENTARIOS;

SETS:

m/1..12/:Costo1,Costo2,Costo3,D,L,X,Y,Z; !Definición de las variables;
n/1..12/; !Índice j;

ENDSETS

DATA:

Costo1 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Cloruro_metileno\Datos.XLSX'); !Costo unitario del producto;
Costo2 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Cloruro_metileno\Datos.XLSX'); !Costo unitario de almacenamiento del producto;
Costo3 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Cloruro_metileno\Datos.XLSX'); !Costo unitario por faltante del producto;
D = @OLE('E:\Control_de_inventario\Cloruro_metileno\Datos.XLSX'); !Demanda;
L = @OLE('E:\Control_de_inventario\Cloruro_metileno\Datos.XLSX'); !Capacidad de producción;
Io = 377; !Inventario inicial;

ENDDATA

MIN = @sum(m(i):Costo1(i)*X(i) + Costo2(i)*Y(i) + Costo3(i)*Z(i)); !FUNCIÓN OBJETIVO;

@for(m(i): Y(i) = @sum(n(j)|j#LE#i:X(j)) + Z(i) + Io - @sum(n(j)|j#LE#i:D(j)));!Restricción de nivel de inventario;

@for(m(i): X(i) <= L(i));!Restricción de capacidad de producción;

@for(m(i)|i#GE#12:Z(i)=0);!Restricción de falta de unidad en inventario;

END

```

El valor del menor costo total del modelo aplicado, que lingo da como resultado es de \$ 3794,446 que es el costo que se tiene al aplicar éste control de inventario. A continuación se presenta la mejor solución del material cloruro de metileno en la Tabla 51.

Tabla 51.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de cloruro de metileno.

<b>Mes</b>	<b><i>X<sub>i</sub></i> (kg)</b>	<b><i>Y<sub>i</sub></i> (kg)</b>	<b><i>Z<sub>i</sub></i> (kg)</b>
<b>1</b>	62,75	0,00	0,00
<b>2</b>	397,67	0,00	0,00
<b>3</b>	428,57	0,00	0,00
<b>4</b>	143,79	0,00	0,00
<b>5</b>	276,28	0,00	0,00
<b>6</b>	366,81	0,00	0,00
<b>7</b>	475,82	0,00	0,00
<b>8</b>	463,20	0,22	0,00
<b>9</b>	534,32	221,33	0,00
<b>10</b>	0,00	0,00	79,31
<b>11</b>	485,75	0,00	0,00
<b>12</b>	415,31	0,00	0,00
<b>Σ</b>	4050,27		

Una vez conocido la cantidad requerida de material cloruro de metileno, se analiza los resultados. Tomando en cuenta la cantidad de inventario inicial y la demanda se tiene las cantidades a requerir que se presentan en la Tabla 47, así como también la cantidad de producto que se debe tener en inventario. Se considera un ejemplo:

$$Y_1 = 377 \text{ kg} - 439,75 \text{ kg} = -62,75 \text{ kg}$$

Entonces se sabe que la cantidad de inventario no cubre la demanda, por lo se requiere realizar un pedido de materia prima el cual se muestra en  $X_1 = 62,75 \text{ kg}$  que ayudan a cubrir la demanda. El proceso se realiza para todos los meses del horizonte y planeación y los resultados son presentados en la Tabla 51.

Ahora se realiza un análisis con respecto a los datos históricos correspondientes al año anterior, para analizar de mejor manera los resultados obtenidos. Se presenta la Tabla 52 considerando el horizonte de planeación dividido en trimestres con las cantidades de

unidades requeridas. Los datos de las cantidades requeridas en el año anterior son tomados de las tablas presentadas en el Anexo 13.

Tabla 52.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de cloruro de metileno.

	<i>oct 2013 - sep. 2014</i>	<i>oct 2014 - sep. 2015</i>
<b>Trimestre 1</b>	1840	888,99
<b>Trimestre 2</b>	2385	786,88
<b>Trimestre 3</b>	3180	1473,34
<b>Trimestre 4</b>	795	901,06
$\Sigma$	8200	4050,27

De manera gráfica el análisis de la Tabla 52 se presenta la Figura 40 en dónde claramente se ve que la cantidad a ser requerida disminuye, pues esta se equilibra en función de la demanda estimada.

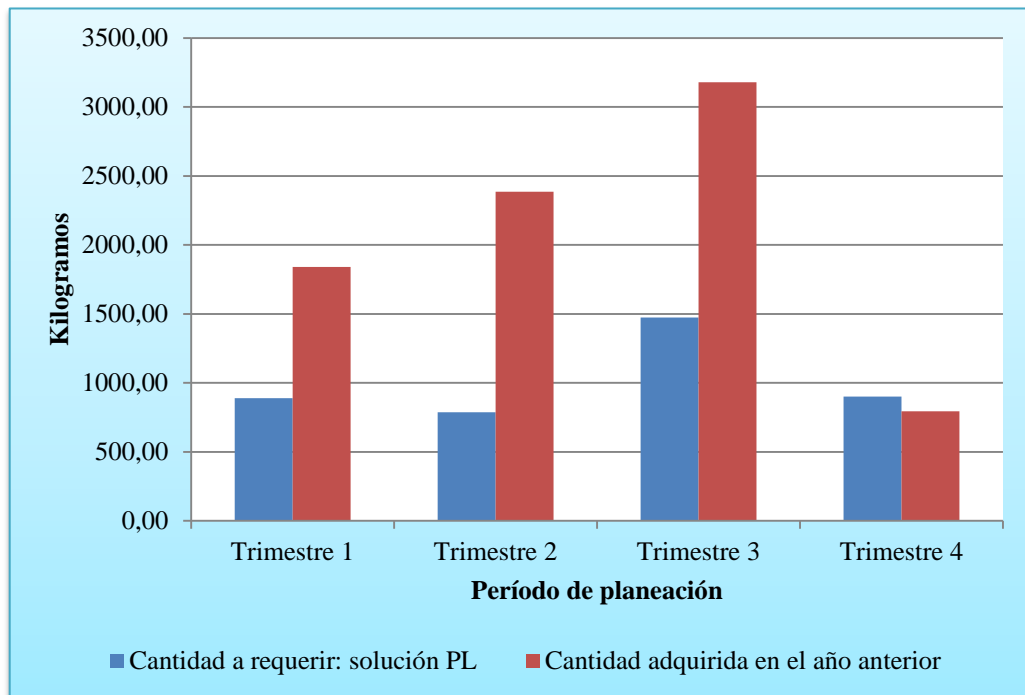


Figura 40.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de cloruro de metileno.

Se observa que la cantidad a requerir disminuye, pues sólo se considera requerir lo que se necesita en base a la demanda.

También se considera que mantener inventario representa un costo por lo que la Figura 39 representa en análisis del mismo. En dónde se considera los costos invertidos en el año anterior frente a los costos arrojados por la función objetivo.

Los datos de los costos anteriores son tomados del Anexo 13 que sumados dan el costo total anual.

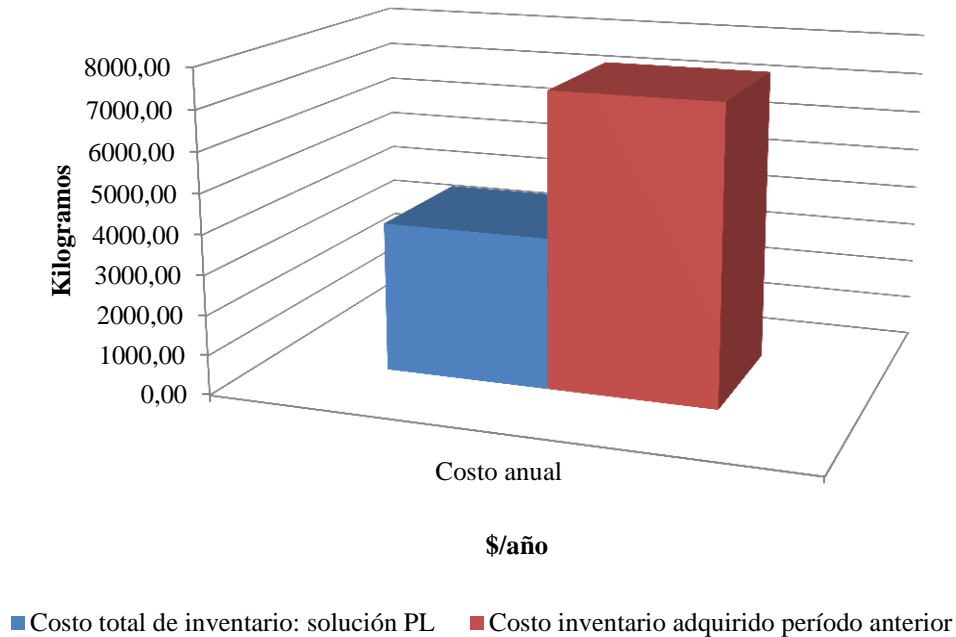


Figura 41.- Análisis de costo total de inventario de cloruro de metileno.

Se considera los costos por manejo de inventario, y se observa que el costo total disminuye notablemente., pues al considerar las cantidades óptimas se reducen costos.

Además para saber cuan eficiente es el modelo se aplica la ecuación siguiente:

$$\% \text{ mejora}_{c_{\text{metileno}}} = \frac{(7380,00 - 3794,45) \frac{\$}{\text{año}}}{7380,00 \frac{\$}{\text{año}}} \times 100 = 48,58 \%$$

Se considera que el modelo brinda las soluciones óptimas y disminuye parcialmente el costo total por manejo de inventario, y presenta una mejora en la eficiencia de 48,58 %, con relación al manejo que se venía dando al inventario anteriormente.

**h) Modelo de programación lineal para el control de inventario del material pasta epaflex negro.**

A continuación se propone un modelo para material pasta epaflex negro. Los datos necesarios para el planteamiento del modelo de programación lineal del producto de materia prima mencionado se muestran a continuación en la Tabla 53, considerando el horizonte de planeación octubre 2014 a septiembre 2015.

Tabla 53.- Datos necesarios para el modelo PL de pasta epaflex negro.

<i>k</i> (mes)	<i>D<sub>i</sub></i> (kg)	<i>L<sub>i</sub></i> (kg)	<i>C<sub>1i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>2i</sub></i> (\$/período)	<i>C<sub>3i</sub></i> (\$/período)
1	24,56	29,84	4,10	0,51	0,32
2	22,21	25,77	4,10	0,51	0,32
3	23,94	28,49	4,10	0,51	0,32
4	8,03	27,13	4,10	0,51	0,32
5	15,43	24,42	4,23	0,53	0,32
6	20,49	29,84	4,23	0,53	0,32
7	26,57	29,84	4,22	0,53	0,32
8	25,86	27,13	4,22	0,53	0,32
9	17,49	29,84	4,22	0,53	0,32
10	16,79	31,20	4,22	0,53	0,32
11	22,70	27,13	4,19	0,52	0,32
12	23,75	29,84	4,18	0,52	0,32

Los valores que presenta la Tabla 28 son tomados de los cálculos anteriores, la demanda ( $d_i$ ) son tomados de la Tabla 14, mientras que los valores de la capacidad ( $L_i$ ) de la Tabla 26.

Por otro lado los valores de los costos son tomados de las tablas del Anexo 7 para los costos unitarios de los productos, mientras de las tablas del Anexo 8 para los costos de mantenimiento de inventario y por último los costos de unidades faltantes se toman de la Tabla 18.

A continuación se reemplazan los datos en el modelo de programación lineal para el material pasta epaflex negra, el modelo a resolverse es el siguiente:

```

MODEL:

TITLE MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA EL CONTROL DE INVENTARIOS;

SETS:

m/1..12/:Costo1,Costo2,Costo3,D,L,X,Y,Z; !Definición de las variables;
n/1..12/; !Índice j;

ENDSETS

DATA:

Costo1 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Pasta_negra\Datos.XLSX'); !Costo unitario del producto;
Costo2 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Pasta_negra\Datos.XLSX'); !Costo unitario de almacenamiento del producto;
Costo3 = @OLE('E:\Control_de_inventario\Pasta_negra\Datos.XLSX'); !Costo unitario por faltante del producto;
D = @OLE('E:\Control_de_inventario\Pasta_negra\Datos.XLSX'); !Demanda;
L = @OLE('E:\Control_de_inventario\Pasta_negra\Datos.XLSX'); !Capacidad de producción;
Io = 73.58; !Inventario inicial;

ENDDATA

MIN = @sum(m(i):Costo1(i)*X(i) + Costo2(i)*Y(i) + Costo3(i)*Z(i)); !FUNCIÓN OBJETIVO;

@for(m(i): Y(i) = @sum(n(j)|j#LE#i:X(j)) + Z(i) + Io - @sum(n(j)|j#LE#i:D(j)));!Restricción de nivel de inventario;

@for(m(i): X(i) <= L(i));!Restricción de capacidad de producción;

@for(m(i)|i#GE#12:Z(i)=0);!Restricción de falta de unidad en inventario;

END

```



Mediante la interacción de los datos, el valor del menor costo total del modelo aplicado, lingo da como resultado un valor de \$ 739,35 que es el costo que se tiene al aplicar éste control de inventario, este valor suma los costos unitarios del producto, costo de mantener inventarios y el costo por unidades faltantes para los periodos planificados con las cantidades arrojadas. A continuación se presenta la mejor solución del material percloroetileno en la Tabla 54.

Tabla 54.- Solución encontrada mediante la ayuda de software de pasta epaflex negro.

<i>mes</i>	<i>Xi</i> (kg)	<i>Yi</i> (kg)	<i>Zi</i> (kg)
<b>1</b>	0,00	49,03	0,00
<b>2</b>	0,00	26,83	0,00
<b>3</b>	0,00	2,90	0,00
<b>4</b>	5,13	0,00	0,00
<b>5</b>	15,43	0,00	0,00
<b>6</b>	20,48	0,00	0,00
<b>7</b>	26,57	0,00	0,00
<b>8</b>	25,85	0,00	0,00
<b>9</b>	29,84	12,35	0,00
<b>10</b>	0,00	0,00	4,44
<b>11</b>	27,13	0,00	0,00
<b>12</b>	13,75	0,00	0,00
$\Sigma$	164,18		

Una vez conocido la cantidad requerida de pasta epaflex negro, se analiza los resultados. Tomando en cuenta la cantidad de inventario inicial y la demanda se tiene las cantidades a requerir que se presentan en la Tabla 54, así como también la cantidad de producto que se debe tener en inventario. Se considera un ejemplo:

$$Y_1 = 73,58 \text{ kg} - 24,55 \text{ kg} = 49,03 \text{ kg}$$

Entonces se sabe que el inventario al final del primer mes es de 49,03 kg, dicha cantidad satisface la demanda por lo que no se requiere pedir material en ese período. Ahora se muestra otro ejemplo:

$$Y_2 = 49,03 \text{ kg} - 22,20 \text{ kg} = 26,83 \text{ kg}$$

El inventario al final del segundo mes es de 26,83 kg, dicha cantidad satisface la demanda por lo que no se requiere pedir material en ese período.

Ahora se muestra otro ejemplo:

$$Y_3 = 26,83 \text{ kg} - 23,93 \text{ kg} = 2,9 \text{ kg}$$

El inventario al final del tercer mes es de 2,9 kg, dicha cantidad satisface la demanda por lo que no se requiere pedir material en ese período.

Se muestra otro ejemplo:

$$Y_4 = 2,9 \text{ kg} - 8,03 \text{ kg} = -5,13 \text{ kg}$$

Se nota que la cantidad de inventario no cubre la demanda, por lo se requiere realizar un pedido de materia prima el cual se muestra en  $X_4 = 5,13 \text{ kg}$  que ayudan a cubrir la demanda. El proceso se realiza para todos los meses del horizonte y planeación y los resultados son presentados en la Tabla 54.

Ahora se realiza un análisis con respecto a los datos históricos correspondientes al año anterior, para analizar de mejor manera los resultados obtenidos. Se presenta la Tabla 55 considerando el horizonte de planeación dividido en trimestres con las cantidades de unidades requeridas. Los datos de las cantidades requeridas en el año anterior son tomados de las tablas presentadas en el Anexo 13.

Tabla 55.- Análisis de las cantidad a requerir con respecto al año anterior de pasta epaflex negro.

	<i>oct 2013 - sep. 2014</i>	<i>oct 2014 - sep. 2015</i>
<i>Trimestre 1</i>	0	0,00
<i>Trimestre 2</i>	200	41,04
<i>Trimestre 3</i>	0	82,26
<i>Trimestre 4</i>	200	40,88
$\Sigma$	400	164,18

De manera gráfica el análisis de la Tabla 55 se presenta la Figura 42 en dónde claramente se ve que la cantidad a ser requerida disminuye, pues esta se equilibra en función de la demanda estimada.

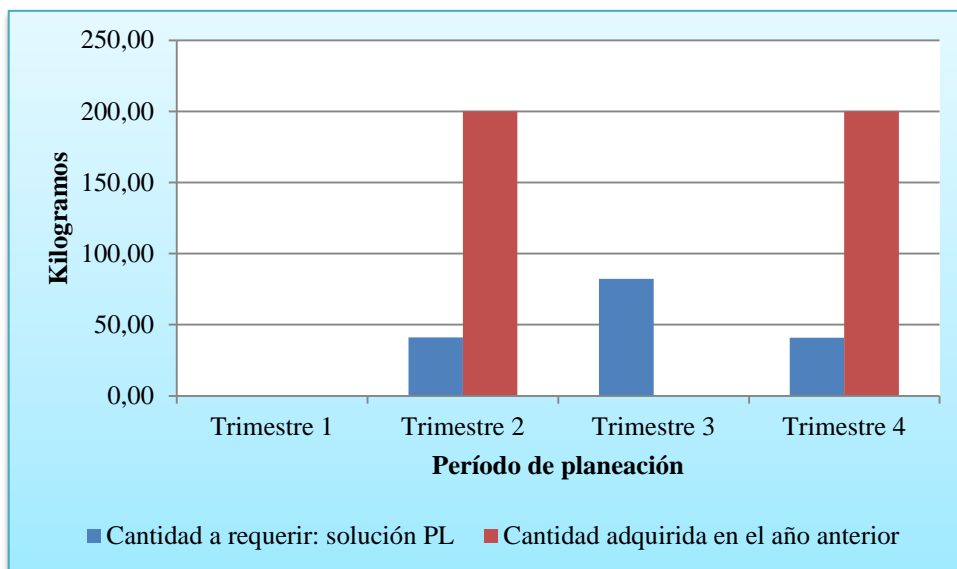


Figura 42.- Análisis de cantidad a requerir: kilogramos de pasta epaflex negro.

Se observa que la cantidad a requerir disminuye, pues sólo se considera requerir lo que se necesita en base a la demanda. Además se realiza un análisis en base a la cantidad que se debe mantener de material en bodega, con respecto a la cantidad que se venía manteniendo en el año anterior, como se muestra en la Tabla 56.

Tabla 56.- Análisis de inventario al final de cada mes de pasta epaflex negro.

<i>mes</i>	<i>oct 2013 - sep. 2014</i>	<i>oct 2014 - sep. 2015</i>
1	178,00	49,03
2	150,50	26,83
3	25,00	2,90
4	-3,00	0,00
5	155,00	0,00
6	118,50	0,00
7	151,00	0,00
8	110,00	0,00
9	72,00	12,35
10	72,00	0,00
11	187,00	0,00
12	73,58	0,00

De manera gráfica el análisis de la Tabla 56 se presenta la Figura 43 en dónde claramente se ve que la cantidad se equilibra en función de la demanda estimada.

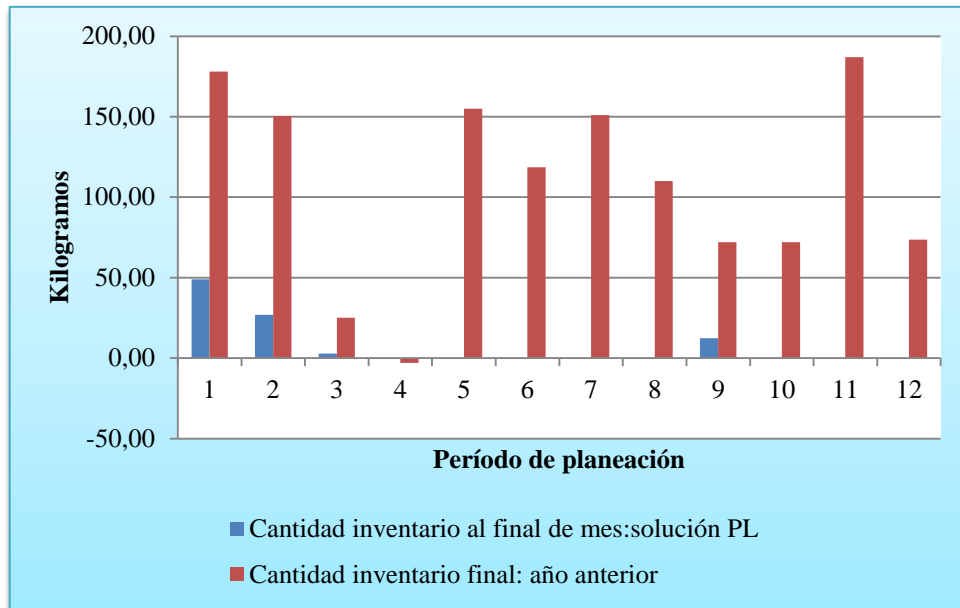


Figura 43.- Cantidad en inventario al final de cada mes de pasta epaflex negro.

También se considera que mantener inventario representa un costo por lo que la Figura 44 representa en análisis del mismo. En dónde se considera los costos invertidos en el año anterior frente a los costos arrojados por la función objetivo. Los datos de los costos anteriores son tomados del Anexo 13 que sumados dan el costo total anual.

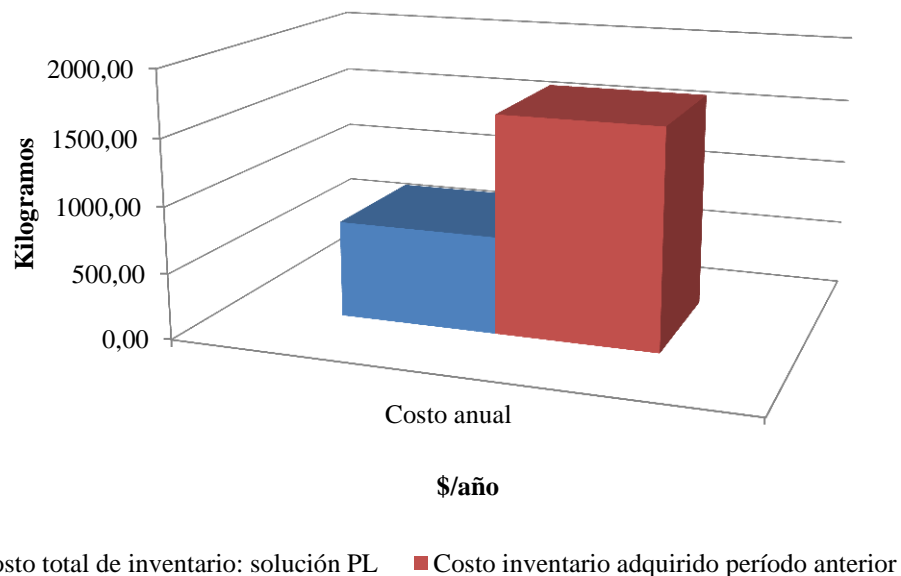


Figura 44.- Análisis de costo total de inventario de pasta epaflex negro.

Se considera los costos por manejo de inventario, y se observa que el costo total disminuye notablemente., pues al considerar las cantidades óptimas se reducen costos.

Además para saber cuan eficiente es el modelo se aplica la ecuación siguiente:

$$\% \text{ mejora}_{\text{pasta\_negra}} = \frac{(1650,00 - 739,35) \frac{\$}{\text{año}}}{1650,00 \frac{\$}{\text{año}}} \times 100 = 55,19 \%$$

Se considera que el modelo brinda las soluciones óptimas y disminuye parcialmente el costo total por manejo de inventario, y presenta una mejora en la eficiencia de 55,19%, con relación al manejo que se venía dando al inventario anteriormente.

En resumen los resultados calculados para el horizonte de planeación comprendido de octubre de 2014 a septiembre de 2015 para los artículos más costosos, es decir los materiales cruciales se presentan a continuación en la Tabla 57.

Tabla 57.- Resumen de resultados.

<i>Código</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cantidad requerida (kg/año)</i>	<i>Costo total (\$/año)</i>
MP.ISO.EPAFLEX.99	Isocianato epaflex duro 99	18494,33	81920,43
MP.POL.EPAFLEX.123	Poliol epaflex suave 123	10948,61	45441,75
MP.ISO.EPAFLEX.03	Isocianato epaflex suave 03	12282,38	50509,98
MP.POL.EPAFLEX.350	Poliol epaflex duro 350	10733,36	47593,12
MP.PERCLORETILENO	Percloretileno	3206,59	5251,613
MP.CAT.EPAFLEX CBH100	Catalizador epaflex duro CBH100	2267,59	10046,96
MP.CLORURO	Cloruro de metileno	4050,27	3794,45
MP.PAS.EPAFLEX.N	Pasta epaflex negro	164,18	739,35

#### **4.7.Cálculo de stock de seguridad.**

Finalmente considerando que se presenta alteraciones en la demanda se establece un inventario de seguridad para todos los artículos cruciales. Para el cálculo mencionado, se establece un nivel de servicio, es decir, la probabilidad de no quedarse sin inventarios en ningún ciclo de pedidos. Este ciclo de servicio inicia en el momento en que se presenta un pedido y termina en el momento que es surtido y los ítems solicitados llegan

al inventario. El inventario de seguridad se calcula mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$SS = Z \times \sigma_L \quad (4.21)$$

Dónde:

$z$  = nivel de servicio al cliente establecido.

$\sigma_L$  = desviación estándar del uso durante el tiempo de entrega.

Algunos valores típicos para  $z$  son:

- Nivel de servicio al cliente de 90%,  $z = 1.29$
- **Nivel de servicio al cliente de 95%,  $z = 1.65$**
- Nivel de servicio al cliente de 99%,  $z = 2.33$

Por otro lado para el cálculo de la desviación estándar del uso durante el tiempo de entrega, se aplica la siguiente ecuación:

$$\sigma_L = \sigma_d \times \sqrt{LT} \quad (4.22)$$

Dónde:

$\sigma_d$  = desviación estándar de la demanda para un día.

$LT$  = tiempo de espera en días.

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo realizado para obtener el inventario de seguridad para el material isocianato eplaflex duro 99. Entonces la demanda diaria se calcula de la siguiente manera:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (4.23)$$

Entonces en este caso se considera la demanda anual promedio pronosticada que es igual a 2081,19 kg/año y considerando que el horizonte de planeación tiene 251 días laborables, entonces al aplicar la ecuación 4.23 se tiene lo siguiente.

$$d = \frac{2081,19 \text{ kg/año}}{251 \text{ días/año}}$$

$$d = 8,29 \frac{kg}{día}$$

Ahora se calcula la desviación estándar de la demanda diaria, mediante la aplicación de la ecuación siguiente:

$$\sigma_d = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n d_i - d^2}}{n} \quad (4.24)$$

Al aplicar la ecuación 4.24 se obtiene que la desviación estándar de la demanda diaria es igual a 0,52. A continuación se presenta la Tabla con el proceso de cálculo realizado.

Tabla 58.- Desviación estándar de la demanda para un día del isocianato epaflex duro 99.

i	di	(di-d)^2
1	9,86	2,46
2	8,92	0,39
3	9,61	1,74
4	3,22	25,68
5	6,20	4,40
6	8,23	0,00
7	10,67	5,66
8	10,38	4,37
9	7,02	1,61
10	6,74	2,40
11	9,11	0,68
12	9,54	1,55
Σ		50,9
σd		0,5

A continuación se aplica la ecuación 4.22 para conocer la desviación estándar del uso durante el tiempo de entrega, considerando el tiempo de entrega de 30 días, tal como se muestra en el Anexo 12. Entonces se tiene lo siguiente:

$$\sigma_L = 0,50 \times 30 = 15$$

Finalmente considerando un nivel de servicio de 95% se calcula el stock de seguridad para el material isocianato epaflex duro 99, como se muestra a continuación:

$$SS = 1,65 \times 15 = 24,75kg$$

Entonces se necesitan 25,74 kg de isocianato epaflex duro 99 en caso que la demanda diaria presente alteraciones. Considerando la demanda mensual se necesitan de 544,45 kg/mes como un stock de seguridad.

Como resumen se presenta la Tabla 59 con los stocks de seguridad que se deberían mantener los artículos cruciales en caso que la demanda cambie.

Tabla 59.- Inventario de seguridad para los artículos cruciales.

<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	$\sigma_d$	$\sigma_l$	$z$	<i>SS</i>
Isocianato epaflex duro 99	Kg	0,50	15,00	1,65	544,50
Poliol epaflex suave 123	Kg	0,20	5,05	1,65	183,32
Isocianato epaflex suave 03	Kg	0,19	5,66	1,65	205,46
Poliol epaflex duro 350	Kg	0,26	7,83	1,65	284,23
Percloretileno	Kg	0,07	2,03	1,65	73,69
Catalizador epaflex duro CBH100	Kg	0,05	1,62	1,65	58,81
Cloruro de metileno	Kg	0,08	2,40	1,65	87,12
Pasta epaflex negro	Kg	0,0045	0,13	1,65	4,72

Entonces se consideran que el modelo de programación lineal proporciona las cantidad óptimas a ser requeridas, pero en caso que la demanda cambie se presenta un inventario de seguridad, el ayudará en parte a contrarrestar este cambio.

#### 4.8. Análisis de resultados

Finalmente el modelo matemático planteado para el control de inventario de materia prima resume en la Tabla 60, el ahorro de dinero que proporciona el mismo.

Tabla 60.- Análisis de resultados

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad a pedir (Kg/año)</i>	<i>SS (Kg)</i>	<i>% Mejora</i>	<i>Ahorro de dinero (\$/año)</i>
Isocianato epaflex duro 99	18494,33	544,50	8,96	8057,97
Poliol epaflex suave 123	10948,61	183,32	32,41	21804,75
Isocianato epaflex suave 03	12282,38	205,46	19,30	12080,45
Poliol epaflex duro 350	10733,36	284,23	6,99	3579,08
Percloretileno	3206,59	73,69	31,61	2360,57
Catalizador epaflex duro CBH100	2267,59	58,81	1,83	187,48
Cloruro de metileno	4050,27	87,12	48,58	3585,55
Pasta epaflex negro	164,18	4,72	55,19	910,65
$\Sigma$				52566,50



El modelo reduce los costos por manejo de inventario, reflejándose en un ahorro de 52566,50 dólares al año durante el período de planeación de estudio, octubre 2014 a septiembre 2015, considerando las cantidades optimas a ser pedidas y el nivel de nivel inventario a mantener por seguridad. Por lo que, para la empresa el estudio le sirve de gran apoyo, ya que un mejor control de inventario brinda no sólo soluciones al problema de costo, a la vez permite que la empresa considere un cambio en las políticas y toma de decisiones en cuanto a productividad, manejo del flujo total de materiales y desenvolvimiento del mismo, permitiendo optimizar sus resultados de manera que se obtenga el mayor beneficio.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- La empresa La Fortaleza Cía. Ltda. utiliza la técnica de la inyección directa al corte para la elaboración de suelas hechas en poliuretano, la cual define el proceso productivo en cuatro etapas: la preparación del material, la inyección, los pre - acabados y los acabados; las mismas que difieren mínimamente a lo largo de su fabricación cuando se considera el tipo de acabado que se da a un determinado modelo de suela.
- La empresa ofrece una gran variedad de modelos de suelas hechas en poliuretano, las cuales están en función del tipo de material utilizado para su fabricación; entre ellos se destaca el material duro, el cual presenta un mayor porcentaje del total de pares de suelas producidas, seguido del material semiduro con una participación menor al anterior y por último el material lineal con una producción menor con relación a los otros dos tipos.
- En bodega el inventario de materia prima es predominante, por lo que es muy importante analizar las partes cruciales, con el fin de establecer un control de inventario que centre sus recursos en las pocas partes cruciales y no en las muchas triviales.
- Con el modelo matemático propuesto para el control de inventario de materia prima se obtiene las cantidades específicas a ser requeridas en base a la minimización del costo total de inventario, los resultados generados indican que la mayor ventaja radica en que se prevé las pérdidas monetarias. Un ejemplo particular para el material isocianato eplaflex duro 99 indica que se debe pedir la cantidad anual de

18494.33 Kg, lo que refleja una disminución del costo total por manejo de inventario, representando un ahorro de 8057.97 dólares equivalente a una mejora del 8,96 % en relación al modelo de control de inventario que se venía aplicando en la empresa.

- Las cantidades a ser requeridas están en función de la demanda, por lo que se mantiene cierta cantidad en bodega sólo cuando es necesario; las cantidades por unidad faltante en inventario se presenta cuando la demanda supera es grande y en ciertos casos supera el límite de la capacidad productiva. Debido a esto, se considera mantener en inventario un stock de seguridad, en caso de que la demanda pronosticada cambie, esto ayudará a cubrir en cierta parte dicho cambio en la demanda y evitar que se generen costos por unidades faltantes.
- El modelo matemático para el control de inventario de materia prima permite reducir los costos por manejo de inventario, reflejándose en un ahorro de 52566,50 dólares al año durante el período de planeación considerado. Lo que brinda no sólo soluciones al problema de costo, a la vez permite que la empresa considere un cambio en las políticas y toma de decisiones en cuanto al manejo del flujo total de materiales y desenvolvimiento del mismo, permitiendo optimizar sus resultados de manera que se obtenga el mayor beneficio.

## **5.2.Recomendaciones**

- Una vez obtenido los resultados que proporciona el modelo de programación lineal para el control de inventario, se sugiere utilizar los mismos para realizar un plan de producción.
- Plantear una propuesta que permita dar continuidad al estudio realizado, enfocándose al control de inventario dentro de la cadena de suministro.
- En base al estudio realizado, se deben considerar los productos que no se analizaron para un estudio futuro.
- Se recomienda mantener un control de la propuesta para realizar un mejor análisis posteriormente, puesto que se considera que mientras más datos se posea el modelo proporcionará resultados más cercanos a la realidad de la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Univeridad Cooperativa de Colombia - Facultad de Administración de Empresas. Investigación de operaciones II - Control de inventarios. [Online]. <http://files.rodrigopepe.webnode.es/200000036-3aa243b9c3/C.%20I.doc>
- [2] Diario "El Universo", "Industria local del calzado crece menos y se incrementan las importaciones," no. 64, pp. 34 - 3 secciones, Santiago de Guayaquil, noviembre 2013.
- [3] Peter J. H. Baily, *Administración de compras y abastecimientos*, Segunda ed. México: Compañía Editorial Continental, 1982.
- [4] Oscar Parada Gutiérrez, "Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios," *Competitividad, eficiencia y calidad en la gestión empresarial: entorno cultural y cultura organizacional.*, vol. 1, pp. 169-187, Junio 2009, Proyecto de investigación de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de Oriente.
- [5] Renzo Devoto Ratto and Eduardo Ruiz Vidal, *Programación lineal para administración*, Primera ed. Valparaíso, Chile: Ediciones universitarias de Valparaíso, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2003.
- [6] Luz María Ospina Gutiérrez, Paula Andrea Rodas Rendón, and Marcela Botero Arbelaez, "Modelo de programación para integrar producción, inventario y ventas en empresas industriales," *Scientia et Technica*, vol. I, no. 40, pp. 101-104, Diciembre 2008, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira.
- [7] B. Díaz Fernández, J. A. Del Brío González, and B. González Torre, "Modelización de un DSS para la gestión de productos perecedores," *Qüestiió*, vol. 25, no. 2, pp. 287-300, Mayo 2001, España, Universidad de Oviedo.
- [8] Carmen Fernández Guédez, "Programación lineal e ingeniería industrial: una aproximación al estado del arte," *Ingeniería Industrial. Actualidad y nuevas*

- tendencias*, no. 6, pp. 61-78, enero-junio 2011, Venezuela, Universidad de Carabobo.
- [9] José Luis Díaz De las Casas, "Programación lineal modelo para minimizar la merma en el proceso de cortes de rollos de película para la elaboración de fotolitos empresa grupo Digigraf S.A.," Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, EAP. Investigación operativa, Lima, Perú, Tesis de grado 2013.
- [10] Danny P. Morales Rubio, "Diseño de un sistema de control de inventarios mediante excel para la administración óptima en el área de supermercado de la empresa Rose Cía. Ltda. del Ecuador en el 2009," Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Ingeniería Industrial y de Procesos, Quito, Ecuador, Tesis de grado 2009.
- [11] Ernesto Ponsot Balaguer and Víctor Márquez, "Modelo de programación lineal de la producción, integrado en un sistema computarizado de producción, inventario y ventas industrial," *Economía*, no. 16, pp. 75-95, 2000, Venezuela, Universidad de los Andes.
- [12] Eduardo David Cáceres Cárdenas and John Paúl Reyes Vásquez, "Modelo de programación lineal para planeación de requerimientos de material en "Carrocería M&L".," Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Tesis de ingeniería 2014.
- [13] John Paúl Reyes Vásquez and Carlos Molina, "Plan agregado de producción mediante el uso de un algoritmo de programación lineal: un caso de estudio para la pequeña industria.," *Revista politécnica*, vol. 34, no. 1, pp. 108-114, Agosto 2014.
- [14] Barry Render, Ralph M. Jr. Stair, and Michael E. Hanna, *Métodos cuantitativos para los negocios*, Undécima ed., Gabriela López Ballesteros, Ed. México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2012.
- [15] Lee J. Krajewski, Larry P. Ritzman, and Manoj K. Malhotra, *Administración de operaciones: procesos y cadena de valor*, Octava ed., Luis Miguel Cruz Castillo,


- Ed. México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2008.
- [16] Richard B. Chase and F. Robert Jacobs, *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministro*, Decimotercera ed. México: McGraw Hill/ Interamericana de Editores S.A., 2014.
- [17] Jay Heizer and Barry Render, *Principios de administración de operaciones*, Séptima ed., Pablo Miguel Guerrero Rosas, Ed. México: Pearson Educación, 2009, Administración y economía.
- [18] Everett E. Adam and Ronald J. Ebert, *Administración de la producción y las operaciones: conceptos, modelos y funcionamiento*, Cuarta ed., Alberto León B., Ed. México: Prentice - Hall Hispanoamericana, 1991.
- [19] Roger Schroeder, Susan Goldstein, and M. Johnny Rungtusanatham, *Administración de operaciones: conceptos y casos contemporáneos*, Quinta ed. México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2011.
- [20] Daniel Sipper and Robert L. Bulfin, *Planeación y control de la producción*, Primera ed. México: McGraw-Hill Interamericana editores, S.A. de C.V., 1998.
- [21] John E. Hanke and Arthur G. Reisch, *Pronósticos en los negocios.*, Quinta ed. México: Prentice Hall Inc., 1996.
- [22] Winston Wayne L., *Investigación de Operaciones: aplicaciones y algoritmos*, Cuarta ed. Mexico: Thomson, 2006.
- [23] Frederick S. Hillier and Gerald J. Lieberman, *Introducción a la investigación de operaciones*, Novena ed. México: McGraw Hill, 2006.
- [24] Fred E. Meyers, *Estudio de tiempos y movimientos para la manufactura ágil*, Segunda ed., José Luis Vázquez Chavarría, Ed. México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2000.
- [25] Alfredo Caso Neira, *Técnicas de medición del trabajo*, Segunda ed. Madrid,

- España: FC Editorial, 2006.
- [26] John Paúl Reyes Vasquez , *Estudio del trabajo: aplicaciones en la industria ecuatoriana*, Primera ed. Ambato, Ecuador, 2014.
- [27] Richard Chase, Robert Jacobs, and Nicholas Aquilano, *Administracion de la produccion y operaciones*, Duodécima ed. México: McGraw-Hill, 2009.
- [28] Roger Schroeder, *Administración de operaciones: estrategia y análisis*, Tercera ed. Nueva York: Macmillan: Mc Graw Hill, 2009.
- [29] Hamdy A. Taha, *Investigación de operaciones*, Novena ed., Alfa Omega, Ed. México: Pearson Education, 2004.
- [30] Rafaela Alfalla Luque, Rosa García Sánchez, Pedro Garrida Vega, María del Mar González Zambrano, and Macarena Sacristán Díaz, *Introducción a la dirección de operaciones táctico - operativa: un enfoque práctico*, Primera ed., Fernando M. García Tomé, Ed. Madrid, España: Delta, Publicaciones Universitarias, 2008.
- [31] Everett E. Jr. Adam and Ronald J. Ebert, *Administración de la producción y las operaciones: conceptos, modelos y funcionamiento*, Cuarta ed., Jorge Rodríguez Rodríguez, Ed. México: Pearson Educación, 1991.
- [32] Jay Heizer and Barry Render, *Principios de administración de operaciones*, Séptima ed., Pablo Miguel Guerrero Rosas, Ed. México: Pearson Educación, 2009.
- [33] George Kanawaty, *Introducción al estudio del trabajo*, Cuarta ed. Ginebre, Oficina Internacional del Trabajo, 1996, Copyright © Organización Internacional del Trabajo.
- [34] David R. Anderson, Dennis J. Sweeney, Thomas A. Williams, Jeffrey D. Camm, and Kipp Martin, *Métodos cuantitativos para los negocios.*, 11th ed. Santa Fé, México: Cengage Learning™ Editores, S.A. de C.V., 2011.

# ANEXOS



**Anexo 1.-** Formato de nota de pedido.

		<b>LA FORTALEZA LTDA.</b> DIR. MATRIZ PARQUE INDUSTRIAL TERCERA 32 A Y AVENIDA D TELEF: 03 2434224 - 2434138 AMBATO - ECUADOR		<b>NOTA DE PEDIDO Nº 0003822</b>	
FECHA:		PROVEEDOR:		CIUDAD	
CANTIDAD	DETALLE			V.	V. TOTAL
TOTAL USD \$					

**Anexo 2.-** Formato de ingreso de materia prima a bodega.

<b>LA FORTALEZA LTDA.</b> Cía. Ltda.			ENTRADA DE BODEGA Nº 0010500	
Ciudad y Fecha:		Recibido de:		
Cantidad	DETALLE		OBSERVACIONES	
<small>1 Copia Químico Rosado del 9801 al 10800</small>				

**Anexo 3.-** Registro de consumo de materia prima, desperdicios y producción.

ESTACION	REFERENCIA	COLOR	N °	PEDIDO	PRO DUCTO	P E S O		CONSUMO DE MATERIA PRIMA
						ESTIMADO	REAL	
1								POL KLS _____
2								ISOCIANATO KLS _____
3								ENDURECEDOR KLS _____
4								CATALIZADOR KLS _____
5								
6								<b>PASTA</b>
7								CAFE KLS _____
8								NEGRA KLS _____
9								BEIGE KLS _____
10								BLANCA KLS _____
11								
12								
13								CLORURO _____
14								DESMOLDANTE _____
15								
16								
17								PESO PURGA _____
18								PESO LAVADO _____
19								
20								
21								<b>CAMBRIONES GASTADOS BUENOS</b>
22								REF TOTAL _____
23								REF TOTAL _____
24								REF TOTAL _____
25								REF TOTAL _____
26								REF TOTAL _____
27								REF TOTAL _____
28								
29								
30								
31								<b>CAMBRIONES DAÑADOS</b>
32								REF TOTAL _____
33								REF TOTAL _____
34								REF TOTAL _____
35								
36								

Anexo 4.- Pronóstico de la demanda para suelas de material lineal.

AÑO	MES	X	DATOS DESESTACIONALIZADOS	FACTOR DE ESTACIONALIDAD	VENTAS
2011-2012	Octubre	1	4101,49	1,47	6038
	Noviembre	2	1465,57	1,32	1941
	Diciembre	3	2505,68	0,55	1382
	Enero	4	1643,39	0,48	786
	Febrero	5	2875,14	0,73	2092
	Marzo	6	2623,52	0,81	2115
	Abril	7	1316,89	0,79	1034
	Mayo	8	2591,17	0,89	2318
	Junio	9	2919,93	1,36	3976
	Julio	10	1965,11	1,25	2451
	Agosto	11	1928,03	1,21	2336
	Septiembre	12	1568,17	1,14	1787
2012-2013	Octubre	13	2366,61	1,47	3484
	Noviembre	14	2743,13	1,32	3633
	Diciembre	15	3051,42	0,55	1683
	Enero	16	3278,41	0,48	1568
	Febrero	17	2740,46	0,73	1994
	Marzo	18	4208,79	0,81	3393
	Abril	19	4518,68	0,79	3548
	Mayo	20	2294,94	0,89	2053
	Junio	21	2661,42	1,36	3624
	Julio	22	2717,97	1,25	3390
	Agosto	23	2596,56	1,21	3146
	Septiembre	24	2197,37	1,14	2504
2013-2014	Octubre	25	893,93	1,47	1316
	Noviembre	26	2977,20	1,32	3943
	Diciembre	27	1814,90	0,55	1001
	Enero	28	2419,08	0,48	1157
	Febrero	29	1715,19	0,73	1248
	Marzo	30	847,22	0,81	683
	Abril	31	1788,11	0,79	1404
	Mayo	32	2301,65	0,89	2059
	Junio	33	1733,89	1,36	2361
	Julio	34	2547,99	1,25	3178
	Agosto	35	2671,67	1,21	3237
	Septiembre	36	3291,67	1,14	3751
2014-2015	Octubre	37	2286,66	1,47	<b>3366</b>
	Noviembre	38	2278,31	1,32	<b>3017</b>
	Diciembre	39	2269,95	0,55	<b>1252</b>
	Enero	40	2261,60	0,48	<b>1082</b>
	Febrero	41	2253,25	0,73	<b>1640</b>
	Marzo	42	2244,90	0,81	<b>1810</b>
	Abril	43	2236,55	0,79	<b>1756</b>
	Mayo	44	2228,19	0,89	<b>1993</b>
	Junio	45	2219,84	1,36	<b>3023</b>
	Julio	46	2211,49	1,25	<b>2758</b>
	Agosto	47	2203,14	1,21	<b>2669</b>
	Septiembre	48	2194,78	1,14	<b>2501</b>

**Anexo 5.-** Pronóstico de la demanda para suelas de material semiduro.

AÑO	MES	X	DATOS DESESTACIONALIZADOS	FACTOR DE ESTACIONALIDAD	VENTAS
2011-2012	Octubre	1	11198,33	1,18	13206
	Noviembre	2	9205,11	1,24	11403
	Diciembre	3	11467,09	0,92	10534
	Enero	4	9170,61	0,70	6406
	Febrero	5	12617,24	0,92	11551
	Marzo	6	10227,33	0,92	9451
	Abril	7	8538,46	1,26	10748
	Mayo	8	7714,74	1,27	9762
	Junio	9	5325,25	0,85	4520
	Julio	10	5185,77	1,05	5433
	Agosto	11	9058,84	0,70	6325
	Septiembre	12	4311,50	1,01	4339
2012-2013	Octubre	13	3878,63	1,18	4574
	Noviembre	14	7235,41	1,24	8963
	Diciembre	15	5869,62	0,92	5392
	Enero	16	6600,95	0,70	4611
	Febrero	17	3749,89	0,92	3433
	Marzo	18	4170,58	0,92	3854
	Abril	19	4865,84	1,26	6125
	Mayo	20	3862,90	1,27	4888
	Junio	21	3474,37	0,85	2949
	Julio	22	6986,90	1,05	7320
	Agosto	23	5515,51	0,70	3851
	Septiembre	24	5956,01	1,01	5994
2013-2014	Octubre	25	5919,70	1,18	6981
	Noviembre	26	3312,97	1,24	4104
	Diciembre	27	3329,96	0,92	3059
	Enero	28	4101,44	0,70	2865
	Febrero	29	5054,10	0,92	4627
	Marzo	30	6266,69	0,92	5791
	Abril	31	6644,55	1,26	8364
	Mayo	32	8444,17	1,27	10685
	Junio	33	10630,46	0,85	9023
	Julio	34	6502,97	1,05	6813
	Agosto	35	5488,30	0,70	3832
	Septiembre	36	8372,60	1,01	8426
2014-2015	Octubre	37	4857,17	1,18	<b>5728</b>
	Noviembre	38	4758,98	1,24	<b>5895</b>
	Diciembre	39	4660,78	0,92	<b>4282</b>
	Enero	40	4562,59	0,70	<b>3187</b>
	Febrero	41	4464,40	0,92	<b>4087</b>
	Marzo	42	4366,20	0,92	<b>4035</b>
	Abril	43	4268,01	1,26	<b>5372</b>
	Mayo	44	4169,82	1,27	<b>5276</b>
	Junio	45	4071,62	0,85	<b>3456</b>
	Julio	46	3973,43	1,05	<b>4163</b>
	Agosto	47	3875,24	0,70	<b>2706</b>
	Septiembre	48	3777,04	1,01	<b>3801</b>

**Anexo 6.-** Cálculo de factor de consumo para los artículos cruciales.

Tabla I.- Cantidad de material consumida durante el horizonte de planeación octubre 2013 a septiembre 2014.

	Isocianato epaflex duro 99	Poliol epaflex suave 123	Isocianato epaflex suave 03	Poliol epaflex duro 350	Percloro	Catalizador epaflex duro CBH100	Cloruro de metileno	Pasta epaflex negro
<b>Octubre</b>	2160,0	900,0	960,0	1440,0	350,0	288,0	475,0	17,0
<b>Noviembre</b>	2160,0	1260,0	1200,0	1260,0	425,0	252,0	628,5	25,0
<b>Diciembre</b>	1440,0	360,0	480,0	720,0	200,0	144,0	483,5	13,0
<b>Enero</b>	1440,0	720,0	1200,0	900,0	450,0	188,0	400,5	22,5
<b>Febrero</b>	2400,0	900,0	1200,0	1260,0	535,0	292,0	412,5	39,5
<b>Marzo</b>	1920,0	1260,0	1200,0	1080,0	250,0	216,0	515,0	41,5
<b>Abril</b>	1680,0	1440,0	1200,0	900,0	620,5	180,0	550,0	46,5
<b>Mayo</b>	2160,0	900,0	960,0	1080,0	550,0	232,0	522,0	32,5
<b>Junio</b>	1440,0	1080,0	1680,0	720,0	550,0	176,0	522,5	33,5
<b>Julio</b>	2160,0	1080,0	960,0	1260,0	515,0	260,0	700,5	28,5
<b>Agosto</b>	1680,0	1260,0	1920,0	900,0	500,0	180,0	482,5	24,5
<b>Septiembre</b>	1440,0	900,0	720,0	1080,0	300,0	216,0	384,0	18,8
<b>TOTAL</b>	22080,0	12060,0	13680,0	12600,0	5245,5	2624,0	6076,5	342,8

Tabla II.- Cantidad de pares de suelas producidas durante el horizonte de planeación octubre 2013 a septiembre 2014.

<i>MES</i>	<i>LINEAL (Pares)</i>	<i>SEMIDURO (Pares)</i>	<i>DURO (Pares)</i>	<i>TOTAL (Pares)</i>
<b>Octubre</b>	1083	5649	10603	17335
<b>Noviembre</b>	1577	4905	18554	25036
<b>Diciembre</b>	2316	5499	11775	19590
<b>Enero</b>	3311	5032	16094	24437
<b>Febrero</b>	1299	4969	16940	23208
<b>Marzo</b>	4759	3420	10185	18364
<b>Abril</b>	2658	6427	14675	23760
<b>Mayo</b>	3085	5300	14781	23166
<b>Junio</b>	1838	4636	12605	19079
<b>Julio</b>	1380	4610	16898	22888
<b>Agosto</b>	2238	6010	13561	21809
<b>Septiembre</b>	1624	3017	8643	13284
<b>TOTAL</b>	27168	59474	165314	251956

Tabla III.- Factor De consumo determinado mediante la división entre la cantidad consumida y la cantidad de pares de suelas producidas durante el horizonte de planeación octubre 2013 a septiembre 2014.

	Isocianato epaflex duro 99	Poliol epaflex suave 123	Isocianato epaflex suave 03	Poliol epaflex duro 350	Percloro	Catalizador epaflex duro CBH100	Cloruro de metileno	Pasta epaflex negro
<b>Octubre</b>	0,20372	0,13369	0,14260	0,13581	0,02019	0,02716	0,02740	0,00098
<b>Noviembre</b>	0,11642	0,19438	0,18513	0,06791	0,01698	0,01358	0,02510	0,00100
<b>Diciembre</b>	0,12229	0,04607	0,06142	0,06115	0,01021	0,01223	0,02468	0,00066
<b>Enero</b>	0,08947	0,08630	0,14383	0,05592	0,01841	0,01168	0,01639	0,00092
<b>Febrero</b>	0,14168	0,14359	0,19145	0,07438	0,02305	0,01724	0,01777	0,00170
<b>Marzo</b>	0,18851	0,15405	0,14672	0,10604	0,01361	0,02121	0,02804	0,00226
<b>Abril</b>	0,11448	0,15850	0,13209	0,06133	0,02612	0,01227	0,02315	0,00196
<b>Mayo</b>	0,14613	0,10733	0,11449	0,07307	0,02374	0,01570	0,02253	0,00140
<b>Junio</b>	0,11424	0,16682	0,25950	0,05712	0,02883	0,01396	0,02739	0,00176
<b>Julio</b>	0,12783	0,18030	0,16027	0,07457	0,02250	0,01539	0,03061	0,00125
<b>Agosto</b>	0,12388	0,15276	0,23278	0,06637	0,02293	0,01327	0,02212	0,00112
<b>Septiembre</b>	0,16661	0,19392	0,15514	0,12496	0,02258	0,02499	0,02891	0,00142
<b>Σ</b>	0,13794	0,14314	0,16045	0,07988	0,02076	0,01656	0,02451	0,00137

**Anexo 7.-** Inventario al final de cada mes de los productos del sistema poliuretano.

Tabla IV.- Inventario al final de cada mes de poliol epaflex suave 123.

<i>AÑO</i>	<i>MES</i>	<i>EXISTENCIA (Kg)</i>	<i>COSTO (\$/kg)</i>	<i>TOTAL (\$)</i>
<b>2013</b>	OCTUBRE	3960,00	4,18	16551,61
	NOVIEMBRE	2700,00	4,21	11367,81
	DICIEMBRE	2340,00	4,23	9886,73
<b>2014</b>	ENERO	1440,00	4,23	6084,14
	FEBRERO	4860,00	4,13	20083,46
	MARZO	8640,00	4,06	35058,53
	ABRIL	7380,00	4,06	29945,83
	MAYO	5680,00	4,06	23047,74
	JUNIO	4320,00	4,06	17529,26
	JULIO	4320,00	4,06	17529,26
	AGOSTO	1890,00	4,06	7669,43
SEPTIEMBRE	329,00	4,06	1335,48	

Tabla V.- Inventario al final de cada mes de isocianato epaflex suave 03.

<i>AÑO</i>	<i>MES</i>	<i>EXISTENCIA (kg)</i>	<i>COSTO (\$/kg)</i>	<i>TOTAL (\$)</i>
<b>2013</b>	OCTUBRE	5240,00	4,13	21636,48
	NOVIEMBRE	4040,00	4,13	16703,38
	DICIEMBRE	3430,00	4,14	14195,40
<b>2014</b>	ENERO	2470,00	4,14	10222,34
	FEBRERO	1510,00	4,14	6249,44
	MARZO	9670,00	4,02	38854,06
	ABRIL	8400,00	4,02	33751,20
	MAYO	6590,00	4,02	26478,62
	JUNIO	5040,00	4,02	20250,72
	JULIO	5040,00	4,02	20250,72
	AGOSTO	2280,00	4,02	9160,81
	SEPTIEMBRE	360,00	4,10	1476,07



Tabla VI.- Inventario al final de cada mes de polioli epaflex duro 350.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>EXISTENCIA (kg)</b>	<b>COSTO (\$/kg)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
<b>2013</b>	OCTUBRE	3240,00	4,30	13928,11
	NOVIEMBRE	1980,00	4,43	8779,32
	DICIEMBRE	1360,00	4,59	6245,80
<b>2014</b>	ENERO	460,00	4,59	2112,55
	FEBRERO	3340,00	4,16	13909,43
	MARZO	2980,00	4,16	12410,21
	ABRIL	460,00	4,16	1915,81
	MAYO	521,00	4,45	2320,38
	JUNIO	256,00	4,48	1146,19
	JULIO	1156,00	4,50	5196,22
	AGOSTO	5040,00	4,06	20437,70
SEPTIEMBRE	3720,00	4,06	15084,97	

Tabla VII.- Inventario al final de cada mes de percloretileno.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>EXISTENCIA(kg)</b>	<b>COSTO (\$/kg)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
<b>2013</b>	OCTUBRE	623,50	1,92	1196,62
	NOVIEMBRE	1151,06	1,78	2051,42
	DICIEMBRE	986,00	1,79	1769,28
<b>2014</b>	ENERO	1538,56	1,73	2659,25
	FEBRERO	2160,12	1,70	3676,96
	MARZO	1705,12	1,70	2902,46
	ABRIL	726,50	1,70	1236,72
	MAYO	141,50	1,70	240,92
	JUNIO	510,50	1,55	792,50
	JULIO	1463,06	1,54	2249,89
	AGOSTO	1806,04	1,38	2492,34
	SEPTIEMBRE	542,50	1,39	751,91

Tabla VIII.- Inventario al final de cada mes de Catalizador epaflex duro CBH100.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>EXISTENCIA (kg)</b>	<b>COSTO (\$/kg)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
<b>2013</b>	OCTUBRE	648,00	3,96	2567,12
	NOVIEMBRE	648,00	3,96	2567,12
	DICIEMBRE	252,00	5,36	1351,38
<b>2014</b>	ENERO	72,00	5,36	386,11
	FEBRERO	36,00	5,36	193,06
	MARZO	576,00	4,10	2361,72
	ABRIL	72,00	4,10	295,21
	MAYO	88,00	4,50	396,00
	JUNIO	44,00	4,50	198,00
	JULIO	258,00	4,50	1161,00
	AGOSTO	1006,00	4,06	4079,43
	SEPTIEMBRE	720,00	4,06	2919,67

Tabla IX.- Inventario al final de cada mes de cloruro de metileno.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>EXISTENCIA (kg)</b>	<b>COSTO (\$/kg)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
<b>2013</b>	OCTUBRE	433,00	1,02	441,40
	NOVIEMBRE	599,50	0,98	588,47
	DICIEMBRE	193,00	1,05	203,56
<b>2014</b>	ENERO	985,50	0,92	903,51
	FEBRERO	1071,00	0,91	973,86
	MARZO	379,00	0,91	344,74
	ABRIL	714,00	0,90	644,10
	MAYO	686,50	0,90	618,67
	JUNIO	530,00	0,90	477,48
	JULIO	1325,00	0,90	1193,03
	AGOSTO	795,00	0,90	715,50
	SEPTIEMBRE	377,00	0,90	339,30

Tabla X.- Inventario al final de cada mes de pasta epaflex negro.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>EXISTENCIA(kg)</b>	<b>COSTO (\$/kg)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
<b>2013</b>	OCTUBRE	178,00	4,10	729,55
	NOVIEMBRE	150,50	4,10	616,84
	DICIEMBRE	25,00	4,10	102,51
<b>2014</b>	ENERO	-3,00	4,10	-12,30
	FEBRERO	155,00	4,23	655,32
	MARZO	118,50	4,23	501,10
	ABRIL	151,00	4,22	637,46
	MAYO	110,00	4,22	464,21
	JUNIO	72,00	4,22	303,65
	JULIO	72,00	4,22	303,65
	AGOSTO	187,00	4,19	783,17
	SEPTIEMBRE	73,58	4,18	307,73

**Anexo 8.-** Costo de almacenamiento mensual de los artículos cruciales.

Tabla XI.- Costo de almacenamiento mensual para poliol epaflex suave 123.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>CANTIDAD DE MATERIAL (Kg)</b>	<b>TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (MES)</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$/Kg)</b>	<b>TASA DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>COSTO DE ALMACENAMIENTO (\$)</b>	<b>COSTO DE MANTENER UNA UNIDAD (\$/UNIDAD)</b>
<b>2013</b>	Octubre	3960,00	1	4,18	0,25	2068,95	0,52
	Noviembre	2700,00	1	4,21	0,25	1420,98	0,53
	Diciembre	2340,00	1	4,23	0,25	1235,84	0,53
<b>2014</b>	Enero	1440,00	1	4,23	0,25	760,52	0,53
	Febrero	4860,00	1	4,13	0,25	2510,43	0,52
	Marzo	8640,00	1	4,06	0,25	4382,32	0,51
	Abril	7380,00	1	4,06	0,25	3743,23	0,51
	Mayo	5680,00	1	4,06	0,25	2880,97	0,51
	Junio	4320,00	1	4,06	0,25	2191,16	0,51
	Julio	4320,00	1	4,06	0,25	2191,16	0,51
	Agosto	1890,00	1	4,06	0,25	958,68	0,51
	Septiembre	329,00	1	4,06	0,25	166,93	0,51

Tabla XII.- Costo de almacenamiento mensual para isocianato epaflex suave 03.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>CANTIDAD DE MATERIAL (Kg)</b>	<b>TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (MES)</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$/Kg)</b>	<b>TASA DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>COSTO DE ALMACENAMIENTO (\$)</b>	<b>COSTO DE MANTENER UNA UNIDAD (\$/UNIDAD)</b>
<b>2013</b>	Octubre	5240,00	1	4,13	0,25	2704,56	0,52
	Noviembre	4040,00	1	4,13	0,25	2087,92	0,52
	Diciembre	3430,00	1	4,14	0,25	1774,42	0,52
<b>2014</b>	Enero	2470,00	1	4,14	0,25	1277,79	0,52
	Febrero	1510,00	1	4,14	0,25	781,18	0,52
	Marzo	9670,00	1	4,02	0,25	4856,76	0,50
	Abril	8400,00	1	4,02	0,25	4218,90	0,50
	Mayo	6590,00	1	4,02	0,25	3309,83	0,50
	Junio	5040,00	1	4,02	0,25	2531,34	0,50
	Julio	5040,00	1	4,02	0,25	2531,34	0,50
	Agosto	2280,00	1	4,02	0,25	1145,10	0,50
	Septiembre	360,00	1	4,10	0,25	184,51	0,51

Tabla XIII.- Costo de almacenamiento mensual para polioli epaflex duro 350.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>CANTIDAD DE MATERIAL (Kg)</b>	<b>TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (MES)</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$/Kg)</b>	<b>TASA DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>COSTO DE ALMACENAMIENTO (\$)</b>	<b>COSTO DE MANTENER UNA UNIDAD (\$/UNIDAD)</b>
<b>2013</b>	Octubre	3240,00	1	4,30	0,25	1741,01	0,54
	Noviembre	1980,00	1	4,43	0,25	1097,42	0,55
	Diciembre	1360,00	1	4,59	0,25	780,73	0,57
<b>2014</b>	Enero	460,00	1	4,59	0,25	264,07	0,57
	Febrero	3340,00	1	4,16	0,25	1738,68	0,52
	Marzo	2980,00	1	4,16	0,25	1551,28	0,52
	Abril	460,00	1	4,16	0,25	239,48	0,52
	Mayo	521,00	1	4,45	0,25	290,05	0,56
	Junio	256,00	1	4,48	0,25	143,27	0,56
	Julio	1156,00	1	4,50	0,25	649,53	0,56
	Agosto	5040,00	1	4,06	0,25	2554,71	0,51
	Septiembre	3720,00	1	4,06	0,25	1885,62	0,51

Tabla XIV.- Costo de almacenamiento mensual para perclorotileno.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>CANTIDAD DE MATERIAL (Kg)</b>	<b>TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (MES)</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$/Kg)</b>	<b>TASA DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>COSTO DE ALMACENAMIENTO (\$)</b>	<b>COSTO DE MANTENER UNA UNIDAD (\$/UNIDAD)</b>
<b>2013</b>	Octubre	623,50	1	1,92	0,25	149,58	0,24
	Noviembre	1151,06	1	1,78	0,25	256,43	0,22
	Diciembre	986,00	1	1,79	0,25	221,16	0,22
<b>2014</b>	Enero	1538,56	1	1,73	0,25	332,41	0,22
	Febrero	2160,12	1	1,70	0,25	459,62	0,21
	Marzo	1705,12	1	1,70	0,25	362,81	0,21
	Abril	726,50	1	1,70	0,25	154,59	0,21
	Mayo	141,50	1	1,70	0,25	30,11	0,21
	Junio	510,50	1	1,55	0,25	99,06	0,19
	Julio	1463,06	1	1,54	0,25	281,24	0,19
	Agosto	1806,04	1	1,38	0,25	311,54	0,17
	Septiembre	542,50	1	1,39	0,25	93,99	0,17

Tabla XV.- Costo de almacenamiento mensual para catalizador epaflex duro CBH100.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>CANTIDAD DE MATERIAL (Kg)</b>	<b>TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (MES)</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$/Kg)</b>	<b>TASA DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>COSTO DE ALMACENAMIENTO (\$)</b>	<b>COSTO DE MANTENER UNA UNIDAD (\$/UNIDAD)</b>
<b>2013</b>	Octubre	648,00	1	3,96	0,25	320,89	0,50
	Noviembre	648,00	1	3,96	0,25	320,89	0,50
	Diciembre	252,00	1	5,36	0,25	168,92	0,67
<b>2014</b>	Enero	72,00	1	5,36	0,25	48,26	0,67
	Febrero	36,00	1	5,36	0,25	24,13	0,67
	Marzo	576,00	1	4,10	0,25	295,21	0,51
	Abril	72,00	1	4,10	0,25	36,90	0,51
	Mayo	88,00	1	4,50	0,25	49,50	0,56
	Junio	44,00	1	4,50	0,25	24,75	0,56
	Julio	258,00	1	4,50	0,25	145,13	0,56
	Agosto	1006,00	1	4,06	0,25	509,93	0,51
	Septiembre	720,00	1	4,06	0,25	364,96	0,51

Tabla XVI.- Costo de almacenamiento mensual para cloruro de metileno.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>CANTIDAD DE MATERIAL (Kg)</b>	<b>TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (MES)</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$/Kg)</b>	<b>TASA DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>COSTO DE ALMACENAMIENTO (\$)</b>	<b>COSTO DE MANTENER UNA UNIDAD (\$/UNIDAD)</b>
<b>2013</b>	Octubre	433,00	1	1,02	0,25	55,18	0,13
	Noviembre	599,50	1	0,98	0,25	73,56	0,12
	Diciembre	193,00	1	1,05	0,25	25,44	0,13
<b>2014</b>	Enero	985,50	1	0,92	0,25	112,94	0,11
	Febrero	1071,00	1	0,91	0,25	121,73	0,11
	Marzo	379,00	1	0,91	0,25	43,09	0,11
	Abril	714,00	1	0,90	0,25	80,51	0,11
	Mayo	686,50	1	0,90	0,25	77,33	0,11
	Junio	530,00	1	0,90	0,25	59,68	0,11
	Julio	1325,00	1	0,90	0,25	149,13	0,11
	Agosto	795,00	1	0,90	0,25	89,44	0,11
	Septiembre	377,00	1	0,90	0,25	42,41	0,11

Tabla XVII.- Costo de almacenamiento mensual para pasta Epaflex negro.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>CANTIDAD DE MATERIAL (Kg)</b>	<b>TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (MES)</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$/Kg)</b>	<b>TASA DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>COSTO DE ALMACENAMIENTO (\$)</b>	<b>COSTO DE MANTENER UNA UNIDAD (\$/UNIDAD)</b>
<b>2013</b>	Octubre	178,00	1	4,10	0,25	91,19	0,51
	Noviembre	150,50	1	4,10	0,25	77,10	0,51
	Diciembre	25,00	1	4,10	0,25	12,81	0,51
<b>2014</b>	Enero	-3,00	1	4,10	0,25	-1,54	0,51
	Febrero	155,00	1	4,23	0,25	81,92	0,53
	Marzo	118,50	1	4,23	0,25	62,64	0,53
	Abril	151,00	1	4,22	0,25	79,68	0,53
	Mayo	110,00	1	4,22	0,25	58,03	0,53
	Junio	72,00	1	4,22	0,25	37,96	0,53
	Julio	72,00	1	4,22	0,25	37,96	0,53
	Agosto	187,00	1	4,19	0,25	97,90	0,52
	Septiembre	73,58	1	4,18	0,25	38,47	0,52

**Anexo 9.-** Valoración del ritmo del trabajo.

Tabla XVIII.- Valoración del ritmo del trabajo.

<b>0-100 Norma Británica</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL DESEMPEÑO</b>	<b>Velocidad comparable km/hr</b>
0	Actividad nula	0
50	Muy lento, movimientos torpes, inseguro, el operario parece dormido y sin interés en el trabajo.	3.2
75	Contante, resuelto sin prisa, como de obrero no pagado a destajo, pero bien dirigido y vigilado, parece lento pero no pierde el tiempo mientras lo observan.	4.8
<b>100 (Ritmo tipo)</b>	<b>Activo, capaz como obrero calificado medio, logra con tranquilidad el nivel de calidad fijado.</b>	<b>6.4</b>
125	Muy rápido, el operario actúa con seguridad, destreza, coordinación de movimientos.	8
150	Excepcionalmente rápido, concentración y esfuerzo intenso, sin probabilidad de durar por largos periodos, actuación de virtuoso.	9.5

**Anexo 10.-** Suplementos en porcentaje de los tiempos normales.

Tabla XIX.- Suplementos en porcentaje de los tiempos normales.

1. SUPLEMENTOS CONSTANTES					
	Hombres	Mujeres		Hombres	Mujeres
<b>A. Suplemento por necesidades personales</b>	5	7			
<b>B. Suplemento base por fatiga</b>	4	4			
2. SUPLEMENTOS VARIABLES					
	Hombres	Mujeres		Hombres	Mujeres
<b>A. Suplemento por trabajar de pie</b>	2	4	<b>F. Concentración intensa</b>		
<b>B. Suplemento postura anormal</b>			Trabajos de cierta precisión	0	0
Ligeramente incomoda	0	1	Trabajos precisos o fatigosos	2	2
Incomoda (inclinado)	2	3	Trabajos de gran precisión	5	5
Muy incómoda (echado, estirado)	7	7	<b>G. Ruido</b>		
<b>C. Uso de fuerza/energía muscular</b>			Continuo	0	0
(levantar, tirar, empujar)Peso (kg)			Intermitente y fuerte	2	2
2.5	0	1	Intermitente y muy fuerte	5	5
5	1	2	<b>H. Tensión mental</b>		
10	3	4	Proceso bastante complejo	1	1
25	9	20 Max.	Proceso complejo	4	4
35.5	22	....	Muy complejo	8	8
<b>D. Mala iluminación</b>			<b>I. Monotonía</b>		
Ligeramente baja	0	0	Trabajo algo monótono	0	0
Bastante por debajo	2	2	Trabajo bastante monótono	1	1
Absolutamente insuficiente	5	5	Trabajo muy monótono	4	4
<b>E. Condiciones atmosféricas</b>			<b>J. Tedio</b>		
Índice de enfriamiento Kata			Trabajo algo aburrido	0	0
16		0	Trabajo bastante aburrido	2	1
8		10	Trabajo muy aburrido	5	2
4		45			
2		100			



Anexo 11.- Estudio de tiempos en el área de producción.

Tabla XX.- Determinación tiempo normal: preparación de material

LA FORTALEZA CIA. LTDA.			HOJA DE TRABAJO DE ESTUDIO DE TIEMPOS														
<b>Operación:</b> Preparación de material																	
<b>Departamento:</b> Producción			<b>Sección:</b> Mezcla					<b>Máquina:</b> Mezclador Niagara					<b>N° máquina:</b> 01				
<b>Producto/pieza:</b> Suela de poliuretano			<b>Material:</b> Polioli, isocianato y catalizador					<b>Herramientas:</b> Montacargas manual					<b>Operario:</b> Meneses Orla				
<b>Estudio N°:</b> 01			<b>Ficha N°:</b> 1/6					<b>Fecha:</b> 2014/08/11		<b>Hora inicio:</b> 08:00			<b>Hora fin:</b> 09:30				
N°	Descripción	Tiempo observado										Total T.O.	Promedio T.O.	C.	T.N.	F.	T.N.U
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
A	Subir eje vertical de máquina mezcladora,	0,058	0,064	0,061	0,057	0,062	0,059	0,063	0,059	0,057	0,063	0,604	0,060	100	0,060	1/1	0,060
B	Levantar eje vertical de la máquina mezcladora, recoger sobrantes de la mezcla y retirar contenedor de MP.	0,142	0,138	0,134	0,140	0,138	0,134	0,135	0,139	0,135	0,139	1,373	0,137	100	0,137	1/1	0,137
C	Bajar eje vertical de la máquina mezcladora, retornar a estado inicial de la misma y sellar contenedor de MP.	0,038	0,041	0,037	0,039	0,036	0,039	0,040	0,039	0,038	0,040	0,387	0,039	100	0,039	1/1	0,039
D	Abrir contenedor de mezcla y cargar la mezcla en máquina inyectora.	0,065	0,063	0,067	0,061	0,059	0,070	0,067	0,070	0,065	0,069	0,655	0,066	100	0,066	1/1	0,066
E	Añadir pasta, AD5 y/o endurecedor en tanque de máquina inyectora.	0,099	0,104	0,103	0,098	0,100	0,103	0,105	0,099	0,101	0,098	1,009	0,101	100	0,101	1/1	0,101
<b>Elementos extraños:</b>		Notas:										<b>Minutos totales normales</b>					0,4029
<b>Elaborado por:</b> Santiago Sánchez																	
<b>Aprobado por:</b>																	
T.O= Tiempo observado C=Calificación T.N= Tiempo normal F= Frecuencia T.N.U= Tiempo normal unitario																	

Tabla XXI.- Determinación tiempo normal: refilado.

LA FORTALEZA CIA. LTDA.			HOJA DE TRABAJO DE ESTUDIO DE TIEMPOS																
<b>Operación:</b> Refilado de rebabas																			
<b>Departamento:</b> Producción			<b>Sección:</b> Refilado						<b>Máquina:</b> Refiladora BGM				<b>Nº máquina:</b> 01						
<b>Producto/pieza:</b> Suela de poliuretano			<b>Material:</b> Suela con rebabas						<b>Herramientas:</b> Ninguno				<b>Operario:</b> Trujillo Diana						
<b>Estudio Nº:</b> 01			<b>Ficha Nº:</b> 3/6						<b>Fecha:</b> 2014/08/11		<b>Hora inicio:</b> 14:00			<b>Hora fin:</b> 15:00					
Nº	Descripción	Tiempo observado										Total T.O.	Promedio T.O.	C.	T.N.	F.	T.N.U		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
A	Coger suela.	0,089	0,091	0,082	0,098	0,099	0,083	0,088	0,072	0,082	0,098	0,881	0,088	100	0,0881	1/1	0,088		
B	Retirar excesos de material con ayuda de la máquina refiladora.	0,263	0,242	0,277	0,249	0,268	0,263	0,226	0,263	0,268	0,228	2,546	0,255	100	0,2546	1/1	0,255		
C	Colocar suela refilada en contenedores.	0,085	0,068	0,053	0,085	0,102	0,053	0,086	0,085	0,069	0,085	0,770	0,077	100	0,077	1/1	0,077		
<b>Elementos extraños:</b>		Notas:										<b>Minutos totales normales</b>					0,420		
<b>Elaborado por:</b> Santiago Sánchez																			
<b>Aprobado por:</b>																			
T.O= Tiempo observado C=Calificación T.N= Tiempo normal F= Frecuencia T.N.U= Tiempo normal unitario																			

Tabla XXII.- Determinación tiempo normal: lavado.

LA FORTALEZA CIA. LTDA.			HOJA DE TRABAJO DE ESTUDIO DE TIEMPOS														
<b>Operación:</b> Lavado de suelas																	
<b>Departamento:</b> Producción			<b>Sección:</b> Lavado					<b>Máquina:</b> Lavadora					<b>N° máquina:</b> 01				
<b>Producto/pieza:</b> Suela de poliuretano			<b>Material:</b> Suela lavada					<b>Herramientas:</b> Ninguno					<b>Operario:</b> Ortiz Ana María				
<b>Estudio N°:</b> 01			<b>Ficha N°:</b> 4/6					<b>Fecha:</b> 2014/08/12		<b>Hora inicio:</b> 09:00			<b>Hora fin:</b> 10:00				
N°	Descripción	Tiempo observado										Total T.O.	Promedio T.O.	C.	T.N.	F.	T.N.U
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
A	Colocar suelas en contenedores de la máquina de lavado.	0,131	0,133	0,136	0,128	0,135	0,130	0,143	0,132	0,138	0,137	1,342	0,134	100	0,1342	1/1	0,134
B	Lavado de suela y extracción de suelas en contenedores.	0,226	0,226	0,226	0,225	0,227	0,226	0,226	0,227	0,227	0,226	2,261	0,226	100	0,2261	1/1	0,226
C	Extraer contenedores de suelas lavadas.	0,859	0,867	0,891	0,858	0,885	0,867	0,863	0,877	0,900	0,902	8,769	0,877	100	0,8769	1/20	0,044
<b>Elementos extraños:</b>		Notas:										<b>Minutos totales normales</b>					0,404
<b>Elaborado por:</b> Santiago Sánchez																	
<b>Aprobado por:</b>																	
T.O= Tiempo observado C=Calificación T.N= Tiempo normal F= Frecuencia T.N.U= Tiempo normal unitario																	

Tabla XXIII.- Determinación tiempo normal: pintura.

LA FORTALEZA CIA. LTDA.			HOJA DE TRABAJO DE ESTUDIO DE TIEMPOS														
<b>Operación:</b> Pintado de suela																	
<b>Departamento:</b> Producción				<b>Sección:</b> Pintura					<b>Máquina:</b> Pintadora				<b>N° máquina:</b> 01				
<b>Producto/pieza:</b> Suela de poliuretano				<b>Material:</b> Pintura plana					<b>Herramientas:</b> Pistola o soplete				<b>Operario:</b> Culqui Segundo, Campos Jessenia				
<b>Estudio N°:</b> 01				<b>Ficha N°:</b> 5/6					<b>Fecha:</b> 2014/08/12		<b>Hora inicio:</b> 11:00			<b>Hora fin:</b> 13:00			
N°	Descripción	Tiempo observado										Total T.O.	Promedio T.O.	C.	T.N.	F.	T.N.U
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
A	Colocar suela en extremo 1 de banda transportadora.	0,079	0,098	0,079	0,058	0,093	0,059	0,083	0,074	0,061	0,093	0,776	0,078	100	0,078	1/1	0,078
B	Retirar suela de extremo 2 de banda transportadora y colocar en soporte de máquina de pintura.	0,042	0,049	0,058	0,044	0,037	0,046	0,039	0,052	0,048	0,056	0,470	0,047	100	0,047	1/1	0,047
C	Pintado de suela.	0,095	0,089	0,086	0,070	0,098	0,073	0,112	0,094	0,088	0,095	0,900	0,090	100	0,090	1/1	0,090
D	Extraer suela y colocar en estantería y dejar secar por 5 minutos.	0,072	0,062	0,074	0,061	0,085	0,067	0,063	0,083	0,088	0,078	0,732	0,073	100	0,073	1/1	0,073
E	Retirar de suelas de estantería y colocar en contenedores.	0,028	0,025	0,029	0,028	0,023	0,026	0,032	0,026	0,019	0,023	0,258	0,026	100	0,026	1/1	0,026
<b>Elementos extraños:</b>		Notas:										<b>Minutos totales normales</b>					0,314
<b>Elaborado por:</b> Santiago Sánchez																	
<b>Aprobado por:</b>																	
T.O= Tiempo observado C=Calificación T.N= Tiempo normal F= Frecuencia T.N.U= Tiempo normal unitario																	

Tabla XXIV.- Determinación tiempo normal: empaque.

LA FORTALEZA CIA. LTDA.			HOJA DE TRABAJO DE ESTUDIO DE TIEMPOS														
<b>Operación:</b> Empacado																	
<b>Departamento:</b> Producción				<b>Sección:</b> Empaque					<b>Máquina:</b> Lavadora				<b>N° máquina:</b> 01				
<b>Producto/pieza:</b> Suela de poliuretano				<b>Material:</b> Suela terminada					<b>Herramientas:</b> Ninguno				<b>Operario:</b>				
<b>Estudio N°:</b> 01				<b>Ficha N°:</b> 6/6					<b>Fecha:</b> 2014/08/12		<b>Hora inicio:</b> 15:00			<b>Hora fin:</b> 16:00			
N°	Descripción	Tiempo observado										Total T.O.	Promedio T.O.	C.	T.N.	F.	T.N.U
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
A	Revisar orden , tomar funda plástica y colocar las suelas e identificación.	0,250	0,241	0,275	0,256	0,284	0,254	0,250	0,245	0,251	0,242	2,546	0,255	100	0,2546	1/1	0,255
B	Colocar identificación y colocar paquetes de suelas en contenedores.	0,137	0,152	0,132	0,163	0,153	0,150	0,153	0,157	0,167	0,148	1,512	0,151	100	0,1512	1/1	0,151
<b>Elementos extraños:</b>		Notas:										<b>Minutos totales normales</b>				0,406	
<b>Elaborado por:</b> Santiago Sánchez																	
<b>Aprobado por:</b>																	
T.O= Tiempo observado C=Calificación T.N= Tiempo normal F= Frecuencia T.N.U= Tiempo normal unitario																	

Tabla XXV.- Determinación tiempo estándar: preparación de material.

<b>ASIGNACIÓN DE SUPLEMENTOS</b>		
<b>Operación:</b> Preparación de material.		
<b>Suplemento</b>		<b>%</b>
Constantes	Por necesidades personales	5
	Base por fatiga	4
Variables	Trabajar de pie	2
	Uso de la fuerza (levantar, empujar, halar)	1
	Ruido	2
<b>TOTAL</b>		<b>14</b>
<b>TIEMPO NORMAL (min/par)</b>		<b>0,40</b>
<b>TIEMPO ESTÁNDAR (min/par)</b>		<b>0,46</b>

Tabla XXVI.- Determinación tiempo estándar: refilado de suela.

<b>ASIGNACIÓN DE SUPLEMENTOS</b>		
<b>Operación:</b> Refilado.		
<b>Suplemento</b>		<b>%</b>
Constantes	Por necesidades personales	7
	Base por fatiga	4
Variables	Trabajar de pie	4
	Ruido	2
<b>TOTAL</b>		<b>17</b>
<b>TIEMPO NORMAL (min/par)</b>		<b>0,41</b>
<b>TIEMPO ESTÁNDAR (min/par)</b>		<b>0,48</b>

Tabla XXVII.- Determinación tiempo estándar: lavado de suela.

<b>ASIGNACIÓN DE SUPLEMENTOS</b>		
<b>Operación:</b> Lavado.		
<b>Suplemento</b>		<b>%</b>
Constantes	Por necesidades personales	7
	Base por fatiga	4
Variables	Trabajar de pie	4
	Trabajo bastante monótono	1
<b>TOTAL</b>		<b>16</b>
<b>TIEMPO NORMAL (min/par)</b>		<b>0,40</b>
<b>TIEMPO ESTÁNDAR (min/par)</b>		<b>0,47</b>

Tabla XXVIII.- Determinación tiempo estándar: pintura.

<b>ASIGNACIÓN DE SUPLEMENTOS</b>		
<b>Operación:</b> Pintura.		
<b>Suplemento</b>		<b>%</b>
Constantes	Por necesidades personales	5
	Base por fatiga	4
Variables	Trabajar de pie	2
	Ruido	2
<b>TOTAL</b>		<b>13</b>
<b>TIEMPO NORMAL (min/par)</b>		<b>0,31</b>
<b>TIEMPO ESTÁNDAR (min/par)</b>		<b>0,35</b>

Tabla XXIX.- Determinación tiempo estándar: empaque.

<b>ASIGNACIÓN DE SUPLEMENTOS</b>		
<b>Operación:</b> Empaque.		
<b>Suplemento</b>		<b>%</b>
Constantes	Por necesidades personales	5
	Base por fatiga	4
Variables	Trabajar de pie	2
	Ruido	2
<b>TOTAL</b>		<b>13</b>
<b>TIEMPO NORMAL (min/par)</b>		<b>0,41</b>
<b>TIEMPO ESTÁNDAR (min/par)</b>		<b>0,46</b>

**Anexo 12.-** Lead time considerado para los principales proveedores.

Tabla XXX.- Lead time considerado para los principales proveedores.

PRODUCTO	PROVEEDOR	PROCEDENCIA	CONDICIONES	LEAD TIME (días)
Sistema poliuretano (poliol, isocianato, catalizador, endurecedor, pasta, desmoldante)	Epaflex	Italia	*Ex - works	30
Cambriones	Konrad	Brasil	*FOB	45
Pinturas	Proincalza	Brasil	*DAF	60
Cloruro de metileno	Solvesa	*CEE China	Local	45
Percloretileno	Solvesa	*CEE China	Local	45
Tinner	Ferretería Bolívar	Ecuador	Local	1
Resina	Química Suiza	Suiza	Local	30
*CEE = Comunidad Económica Europea *Ex - Works = En fábrica, lugar convenido. *FOB = Free on board – libre a bordo. *DAF = Delivered at frontier – entregado a frontera.				

**Anexo 13.-** Cantidad adquirida de los artículos cruciales considerando el horizonte de planeación octubre 2013 a septiembre 2014.

A continuación se presenta las facturas de compra, de las cuales se considera la cantidad de material adquirida y los costos de los mismos para los productos considerados en el estudio, es decir los artículos cruciales.