



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Ingeniería en Logística y Transporte

“Diseño de una política de inventario para una empresa de productos de consumo masivo en Guayaquil”

**Informe del Proyecto de Graduación
(Dentro de una materia de la malla)**

**Previo a la obtención del título de:
Ingeniera en Logística y Transporte**

Presentado por:

María Belén Segovia Navarrete

Guayaquil – Ecuador

2015

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios, por ser mi soporte y mi fuente de fortaleza para enfrentar los retos que se presentan.

A mi familia, porque es el pilar fundamental de mi vida. A mis padres por formarme en valores e insistir en que la perseverancia es la clave del éxito, además de acompañarme fielmente en todas las etapas de mi vida siendo apoyo incondicional.

A mis amigos, porque hicieron de este camino una gran aventura. Agradezco el apoyo y compañía de mis amigos en este proceso, porque juntos pudimos crecer de forma académica pero sobretodo humana.

A mis profesores, por sus conocimientos valiosos y su disposición a enseñar y contestar nuestras inquietudes, además de dotarnos de distintas habilidades y nutrirnos en base a su experiencia laboral de consejos para que tengamos una mejora preparación.

A la empresa privada por abrir sus puertas para realización de este proyecto, por apoyar en la colaboración entre la industria y la academia, indispensable para el desarrollo del sector económico del país.

María Belén Segovia Navarrete

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi familia, por su constante apoyo y acompañamiento a lo largo de la etapa universitaria. A mis amigos, porque en colaboración conjunta pudimos sacar adelante el desarrollo de proyectos. Dedico también este trabajo a las siguientes generaciones de la carrera, porque es una muestra pequeña de que con dedicación se pueden lograr todas las metas que uno se proponga, y que la investigación es fundamental para el desarrollo de mejores soluciones a los problemas.

María Belén Segovia Navarrete

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Máster Guillermo Baquerizo Palma
Director del Proyecto de Graduación
(Dentro de una materia de la malla)

Máster Edison Del Rosario Camposano
Delegado

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, así como el Patrimonio Intelectual del mismo, le corresponden exclusivamente a la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

María Belén Segovia Navarrete

RESUMEN

El presente estudio se ha realizado en una empresa productora y distribuidora de productos alimenticios de consumo masivo en Guayaquil. El objetivo es establecer políticas de inventario para mejorar el abastecimiento de sus materias primas e insumos de producción. Se determina si la demanda de estos componentes se ajusta a una distribución probabilística normal. Con estos parámetros se puede construir un modelo de simulación para obtener el nivel de existencia económico y el punto de reorden para establecer una política (Q, R) de revisión continua. Se utilizó una simulación con la demanda variable, y lead time fijos; en conjunto se optimiza los costos relevantes de inventario obtenidos de los niveles de la cantidad a pedir Q y el punto de reorden R con la metaheurística Búsqueda Tabú utilizada comúnmente en problemas de inventario. Con este método se pretende lograr la visualización del desempeño de la política de inventario para prevenir el desabastecimiento y no sobrepasar el período de vida útil de las materias primas y la búsqueda en el entorno de la solución parcial para reducir costos.

Palabras Clave: inventario, política de inventario, simulación, demanda probabilística, metaheurísticas, búsqueda tabú.

ABSTRACT

The present study was made in a snacks production and distribution company located in Guayaquil. The objective behind establishing inventory policies is improving the supplying of raw material and production inputs considering the warehouse capacity limitation. This study analyzes if the demand of these components is adjusted to a normal probabilistic distribution. The parameters previously obtained can be used for a simulation model to obtain the economic order quantity and the reorder point to establish a (Q,R) policy of continual review. In coordination with the simulation model of variable demand and fixed lead times, inventory costs due to quantity Q and the reorder level are optimized with the Tabu Search Metaheuristic usually used at inventory problems. This method is used for the visualization of the performance of the policy, to prevent shortages, and not exceeding the lifetime of the raw material.

Keywords: inventory, inventory policy, simulation, probabilistic demand, metaheuristic.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | X |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | XI |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XII |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS..... | XIII |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO 1..... | 3 |
| 1.1 Antecedentes..... | 4 |
| 1.2 Problemática..... | 5 |
| 1.3 Justificación..... | 6 |
| 1.4 Objetivos..... | 8 |
| 1.4.1 Objetivo General..... | 8 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos..... | 8 |
| CAPÍTULO 2..... | 9 |
| 2.1 Estado del Arte..... | 10 |
| 2.2 Marco Conceptual..... | 13 |
| 2.2.1 Inventario..... | 13 |
| 2.2.2 Propósitos del Inventario..... | 14 |
| 2.2.3 Costos del Inventario..... | 15 |
| 2.2.4 Política de Inventario..... | 16 |
| 2.2.5 Tipos de Demanda..... | 17 |
| 2.2.6 Lista de Materiales estructurada (bill of materials, BOM):..... | 19 |
| 2.2.7 Modelos de Inventario..... | 19 |
| 2.2.8 Clasificación ABC..... | 20 |
| 2.2.9 Prueba de Bondad de Ajuste..... | 22 |
| 2.2.10 Prueba Kolmogorov-Smirnov..... | 22 |
| 2.2.11 Pronósticos..... | 23 |
| 2.2.12 Simulación..... | 23 |
| 2.2.13 Metaheurísticas..... | 24 |

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 3 | 25 |
| 3.1 Diagrama de Flujo | 26 |
| 3.2 Cronograma de Actividades..... | 28 |
| 3.3 Línea de Proceso..... | 29 |
| 3.3.1 Proceso de Abastecimiento de Materia Prima e Insumos de Producción | 29 |
| 3.3.2 Cadena de Suministro..... | 30 |
| CAPÍTULO 4 | 33 |
| 4.1 Clasificación del Inventario de Materias Primas e Insumos de Producción..... | 34 |
| 4.1.1 Clasificación por Naturaleza.- | 34 |
| 4.1.2 Clasificación ABC..... | 34 |
| 4.1.3 Prueba de Bondad de Ajuste | 38 |
| 4.1.4 Productos con Estacionalidad | 38 |
| CAPÍTULO 5 | 42 |
| 5.1 Elección de Política (Q,R)..... | 43 |
| 5.2 Formulación del Modelo..... | 44 |
| 5.3 Cálculo de Costos..... | 45 |
| 5.3.1 Costo de adquisición | 45 |
| 5.3.2 Costo de almacenamiento..... | 46 |
| 5.4 Modelo de Simulación..... | 47 |
| 5.5 Búsqueda Tabú | 49 |
| 5.6 Coordinación entre Simulación y Optimización..... | 51 |
| CAPÍTULO 6 | 52 |
| 6.1 Política de Inventario | 53 |
| 6.2 Comparación situación actual con la propuesta | 55 |
| 6.2.1 Niveles de inventario promedio | 55 |
| 6.2.2 Costos | 58 |
| 6.3 Evaluación de la política de inventario..... | 61 |
| 6.3.1 Optimización | 61 |

| | |
|---|----|
| 6.3.2 Simulación..... | 62 |
| Conclusiones y Recomendaciones | 65 |
| Referencias Bibliográficas | 68 |
| ANEXOS | 69 |
| Anexo 1 Clasificación ABC Productos Terminados | 69 |
| Anexo 2 Clasificación ABC materias primas..... | 70 |
| Anexo 3 Resultados de prueba de bondad de ajuste | 72 |
| Anexo 4 Ejecución de la metaheurística Búsqueda Tabú..... | 74 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1: Demanda Determinística | 18 |
| Figura 2.2 Demanda Probabilística | 18 |
| Figura 2.3: Lista de Materiales | 19 |
| Figura 2.4: Clasificación ABC..... | 21 |
| Figura 2.5: Nivel de Significancia prueba Kolmogorov-Smirnov..... | 22 |
| Figura 3.1 Diagrama de Flujo | 27 |
| Figura 3.2: Cronograma de Actividades | 28 |
| Figura 3.3: Línea de Proceso de la Empresa | 29 |
| Figura 3.4: Proceso para abastecimiento del Almacén de Materias Primas | 30 |
| Figura 3.5: Cadena de Suministro..... | 31 |
| Figura 4.1: Clasificación por Naturaleza de Materias primas e Insumos de Producción | 34 |
| Figura 4.2: Metodología para la clasificación de componentes tipo A..... | 35 |
| Figura 4.3: Metodología para la clasificación de componentes tipo B..... | 35 |
| Figura 4.4: Metodología para la clasificación de componentes tipo C..... | 35 |
| Figura 4.5: Prueba Kolmogorov-Smirnov para Bondad de Ajuste | 38 |
| Figura 5.1: Política (Q,R) de revisión continua | 43 |
| Figura 5.2: Modelo de Simulación | 48 |
| Figura 5.3: Método de búsqueda en el Entorno. Búsqueda Tabú. | 50 |
| Figura 5.4: Coordinación entre Simulación y optimización..... | 51 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 4.1: Clasificación ABC Producto Terminado | 36 |
| Gráfico 4.2: Composición de Materias Primas e Insumos en la clasificación ABC | 37 |
| Gráfico 4.3: Serie de Tiempo para producto 249994..... | 39 |
| Gráfico 4.4: Pronóstico para el año 2016 del producto 249994..... | 40 |
| Gráfico 4.5: Serie de Tiempo producto 250022..... | 40 |
| Gráfico 4.6: Pronóstico para el año 2016 del componente 250022..... | 41 |
| Gráfico 6.1: Nivel de inventario promedio de materia prima..... | 55 |
| Gráfico 6.2: Nivel de inventario promedio de materia prima..... | 56 |
| Gráfico 6.3: Nivel de inventario promedio de insumos de producción..... | 57 |
| Gráfico 6.4: Nivel de inventario promedio de insumos de producción..... | 57 |
| Gráfico 6.5: Costo de inversión en inventario promedio de Materia Prima..... | 58 |
| Gráfico 6.6: Costo de inversión en inventario promedio de Materia Prima..... | 59 |
| Gráfico 6.7: Costo de inversión de inventario promedio de insumos de producción | 59 |
| Gráfico 6.8: Costo de inversión promedio de insumos de producción..... | 60 |
| Gráfico 6.9: Comparación de costos entre la situación actual y la propuesta | 61 |
| Gráfico 6.10 Búsqueda de la solución óptima | 62 |
| Gráfico 6.11: Política de Inventario para Materia Prima con lead time semanal ... | 63 |
| Gráfico 6.12: Política de inventario para Insumos de Producción con lead time mensual..... | 64 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1 Sistemas de pronóstico según su patrón de demanda..... | 23 |
| Tabla 4.1: Composición de Materias Primas e Insumos de Producción en la clasificación ABC..... | 37 |
| Tabla 6.1: Política de Inventario para Materia Prima..... | 53 |
| Tabla 6.2: Política de Inventario para Insumos de Producción..... | 54 |
| Tabla 6.3. Resultado variables de simulación para Materia Prima..... | 63 |
| Tabla 6.4 Resultado variables de simulación para Insumo de Producción | 64 |

GLOSARIO DE TÉRMINOS

L

LEAD TIME Es el tiempo transcurrido desde la emisión de un pedido hasta la entrega efectiva del producto o servicio.

S

STOCK OUT Situación en que la demanda o requerimiento de un ítem no puede ser cubierto por el inventario actual.

STOCK DE SEGURIDAD Cantidad de inventario o stock disponible para cubrir posibles fluctuaciones de la demanda.

INTRODUCCIÓN

El diseño de la política de inventario conlleva diferentes etapas como levantamiento de datos relevantes, análisis de datos, cálculo de costos, cálculo de cantidad económica a pedir y tiempo de reorden y simulación y optimización de las políticas de inventario.

Para efectos de diseñar la política de inventario de cada una de las referencias, se procedió a hacer un exhaustivo levantamiento de datos e información. Los parámetros identificados fueron los consumos mensuales y semanales de las referencias, las ventas del producto terminado, el lead time, tiempo promedio de vigencia de las materias primas.

En el análisis de datos se determinará si los consumos se ajustan a alguna distribución probabilística, donde se presentaron tres tipos de casos, aquellos componentes que siguen una distribución normal, los que no se ajustan a ninguna distribución, y los componentes de importación que tienen una cantidad de orden fija.

Para hallar el costo total de inventario se realizó el cálculo de costos por pedir y por almacenar. Para el costo de pedir se tomaron en cuenta costo de la hora-hombre, los tiempos y personal requerido para receptar un pedido de cada referencia. Segundo, en el cálculo del almacenamiento anual se tomó en cuenta la renta del almacén, tecnologías de información y personal, cantidad de sku's por pallet y la rotación de pallets en el año de cada referencia.

En las referencias del primer caso, los consumos mensuales y semanales sigue una distribución normal para los cuales se obtiene los parámetros media y desviación estándar para aplicar el modelo. En el segundo caso, se procedió a hacer predicciones de la demanda de productos terminados a los que pertenecen y para el tercer caso se utiliza esta misma metaheurística con la cantidad fija a pedir.

Para visualizar el desempeño de la política y la optimización se propone un algoritmo de optimización-simulación, es decir, un algoritmo que genere el comportamiento del inventario con la aplicación de una política, y a la vez, mediante la generación números aleatorios puede establecer demandas en distintos períodos según los parámetros de la distribución probabilística a la que pertenece buscando en la vecindad de las soluciones con el objetivo de encontrar aquella política de inventario que conlleven menores costos de pedir y almacenar.

Por último, se compara la situación actual con la propuesta donde se miden los niveles físicos y monetarios del inventario.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realiza un análisis de los antecedentes y la problemática de la empresa en estudio. Se plantea realización el objetivo general mediante la ejecución de los objetivos específicos, se realiza una hipótesis y la justificación del problema esbozado.

1.1 Antecedentes

La empresa en estudio está dedicada a la producción y comercialización de alimentos procesados o snacks. Comienza sus operaciones en 1978 en Colombia. En 1983 comenzó la producción en serie en Cali, tres años después posicionó su marca en su mercado objetivo que son los niños y los jóvenes. En 1993, ampliaron su portafolio con la innovación de productos y hasta la actualidad mantiene políticas de mejora e innovación continua que les ha permitido posicionarse en el mercado colombiano con el 15% de participación en el mercado de snacks de ese país.

En el año 2009, como parte de su plan de internacionalización, la empresa entra a Ecuador a adquirir una empresa local, actualmente en el país cuenta con una planta de producción en Guayaquil que abastece de producto terminado a 5 centros de distribución o sucursales en el país ubicadas en Guayaquil, Cuenca, Ambato, Quito y Loja. Cuenta con un aproximado de 50 referencias de productos entre marcas que solo son producidas localmente.

Actualmente, se encuentra en proceso de crecimiento y posicionamiento de sus marcas en el país, donde se plantean objetivos de aumento de ventas específicas y la construcción de marcas relevantes en la mente de consumidor para el mercado de alimentos.

1.2 Problemática

Lograr mayor participación en el mercado, y el crecimiento de la demanda han afectado a toda la cadena de suministro de la empresa ubicada en el país, en especial el primer eslabón que abarca el aprovisionamiento de materia prima e insumos de producción.

Se ha identificado en el último año la falta de inventario de referencias de insumos de producción y falta de organización en el almacén de materia prima, causado por métodos de abastecimiento que no son eficientes para determinar cuándo y cuánto realizar el proceso de compra de insumos.

No poseer el inventario de materia prima necesario para realizar las operaciones de la empresa, es una preocupación para la directiva, puesto que el desabastecimiento y quiebre de stock se ve reflejado en órdenes no cumplidas, cambios en planes de producción, pérdidas en ventas y vencimiento de insumos de producción perecibles.

Los faltantes de insumos limitan la producción de ciertas referencias de producto terminado y en consecuencia no apuntan a cumplir los objetivos establecidos en ventas mensuales, y esto redundando en el descenso de cumplimiento de órdenes de pedido, que conlleva a pérdidas en términos monetarios en ventas.

El desabastecimiento también repercute a lo largo de la cadena de suministro, dado que no satisface la demanda del siguiente eslabón, es

decir, el plan de producción. La falta de los insumos de producción ocasiona cambios en la planificación de la producción, que origina inventarios de producto terminado y consumos de materia prima e insumos no previstos.

La falta de organización en el almacén también es una situación de gran inquietud, debido a que el almacén no tiene una zonificación adecuada para el picking, además de la falta de uso de estanterías que no permiten aprovechar el espacio en altura para el almacenamiento y reducen el área destinada para corredores en bodega necesarios para la movilización de los insumos.

Es imperativo contar que en la planificación de aprovisionamiento esté contemplada una política de inventario para poder determinar los tiempos de reposición y tamaño de lote económico e inventario de seguridad que prevendrá el quiebre de stock de insumos.

1.3 Justificación

Según el autor (Ballou, 2004), la globalización y la internacionalización de las industrias en todas partes dependerá en gran medida del desempeño y los costos logísticos, mientras las compañías vayan adquiriendo una visión a nivel mundial de sus operaciones. La logística alcanzará un alto grado de importancia dentro de la empresa cuando ésta se encuentre en esa etapa, ya que sus costos logísticos llegarán a ser una parte mayoritaria de la estructura total de costos, además se debe utilizar a la logística como forma

efectiva para entrar en nuevos mercados, incrementar cuota en el mercado y aumentar los beneficios, que no solo implica reducir costos sino también aumentar las ventas.

Además, la logística gira en torno a crear *valor*: valor para los clientes y proveedores de la empresa, y valor para los accionistas de la empresa. El valor en la logística se expresa fundamentalmente en términos de tiempo y lugar. Los productos y servicios no tienen valor a menos que estén en posesión de los clientes cuando (tiempo) y donde (lugar) ellos deseen consumirlos.

Por otro lado, es importante no perder de vista las metas organizacionales ya que promueven las actitudes administrativas dirigidas hacia la calidad, cantidad y entrega con un efecto trascendente sobre el proceso de adquisición. La decisión de cuándo y cuánto comprar reciben más importancia debido a la relación entre cuanto se compra y el uso programado.

La importancia de una política de inventario radica en poder determinar el nivel de existencias que debe tener la empresa. Implantar una política que establezca las cantidades a pedir y los tiempos de reposición adecuadas generará una planificación adecuado del abastecimiento y prevendrá el stock-out de insumos de producción.

1.4 Objetivos

Para enunciar los propósitos del proyecto e identificar lo que se quiere lograr se han planteado los siguientes objetivos:

1.4.1 Objetivo General

Establecer una política de abastecimiento que permita asegurar un nivel óptimo de inventario de insumos de producción.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar el análisis ABC para los inventarios.
- Calcular costos inherentes en el almacenamiento.
- Establecer el modelo de inventario apropiado para el abastecimiento de insumos.
- Comparar la situación actual y la propuesta.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realiza una revisión de la literatura que precede al desarrollo de este proyecto, con investigaciones realizadas en el tema constituyen el estado del arte y se revisa el marco conceptual necesario que abarca el alcance de este proyecto.

2.1 Estado del Arte

Las organizaciones mantienen inventarios de materia prima, insumos de producción y de productos terminados. Los inventarios de materia prima e insumos son entradas a una etapa del proceso de producción, mientras que los inventarios del producto terminado satisfacen la demanda del cliente final. Dado que los inventarios representan con frecuencia una considerable inversión de recursos financieros, las decisiones sobre la cantidad de inventario son primordiales. Los modelos de inventario y la descripción matemática de los sistemas de inventario constituyen una base para la toma de estas decisiones.

A continuación se presenta parte de la literatura de la utilización de modelos de gestión de inventarios:

“Estudio comparativo de la aplicación de 6 modelos de inventarios para decidir la cantidad y el punto de reorden de un artículo”(2013), presenta la aplicación de 6 modelos de inventarios para obtener la cantidad de pedido y el punto de reorden para el caso de cubetas de pintura con demanda y tiempos de entrega discretos, aleatorios, independientes y conocidos, considerando descuentos en el precio de compra por adquirir mayores volúmenes. Los modelos analizados en este trabajo son la cantidad económica de pedido (EOQ), el de un solo lote (USL), el método Híbrido (MH), el algoritmo Silver-Meal (SM), el Wagner-Within (WW) y Simulación (S). Los mejores resultados fueron obtenidos con el método de Simulación y el método Híbrido.

“Diseño e Implementación de un sistema de inventarios, aplicando simulación de Montecarlo, en una empresa de servicios petroleros” (López, 2011), recalca la importancia de no realizar la reposición de inventarios de una forma empírica sino proyectar una planificación estratégica basada en pronósticos y modelos de inventarios. El trabajo comienza con el análisis de la situación actual de inventarios de la empresa, la gestión y control de los mismos mediante entrevistas, observación y recopilación de información. Analiza las materias primas y productos terminados, los componentes de productos terminados a través de una lista de materiales (bill of materials), y se realiza la clasificación ABC de los productos. Además, se diseña paso a paso el sistema de simulación de Montecarlo con interfaces para la captura de datos necesarios para generar los pronósticos de los productos terminados y por lo tanto de materias primas, los resultados obtenidos con la simulación permite predecir la cantidad económica de pedido a realizar y cuando se debe reaprovisionar el inventario, conforme ingresan y egresan las materias primas.

“Algoritmos Genéticos: Una solución alternativa para optimizar el modelo de inventario (Q, r) ”, (Arias & Londoño, 2009), este estudio se considera un modelo de múltiples artículos para un solo escalón mediante una política (Q,R) cuyo objetivo es minimizar la inversión total de inventario que se encuentra sujeta a ciertas restricciones como un número máximo de frecuencia de pedidos por periodo de estudio y un nivel de servicio mínimo esperado. Para la optimización de la política se utiliza 3 metodologías: Multiplicadores de LaGrange hallar el multiplicador asociado a la restricción de nivel de servicio y a la del máximo

número de frecuencias de pedido. Además, se utiliza el método Simulación-Optimización que es implementada con el software Simul8 y el paquete de optimización *OptQuest* y la tercera metodología es el desarrollo del algoritmo de optimización heurística basada en Algoritmos Genéticos. Los resultados muestran que este último algoritmo es un método eficiente para hallar buenas soluciones al problema.

“Simulation Optimization of an (s,S) inventory control system with random demand sizes, demand arrivals and lead times”. (Eltawil & Elnagar, 2007), este estudio presenta un modelo simulación para el modelo de control de inventarios (s,S) y la utilización de una metaheurística para buscar valores óptimos para el punto de reorden s y el nivel máximo de inventario S . La optimización utiliza Scatter search, Tabu Search y redes neuronales. Los costos relevantes en la gestión de inventarios son el costo de pedir, de almacenar y costo por faltantes. Los resultados muestran el efecto en la variabilidad del sistema en los niveles óptimos de s y S , el modelo también proporciona información sobre stock de seguridad promedio, número promedio de stock out por año. El modelo de simulación fue implementado en el software Arena y la optimización fue realizada con el paquete de optimización *OptQuest*.

“Optimización de un política de inventario por medio de búsqueda tabú” (Urrea & Torres, 2003), como solución a los problemas de gestión de inventario de una empresa dedicada a la importación de betunes, se presenta un modelo mono producto, con restricciones de tiempo de llegada variable, niveles de servicio, y frecuencias de pedido. Mediante la búsqueda tabú que busca valores en el

entorno para poder salir de un óptimo local y a la vez encontrar soluciones factibles para cada ciclo de cada producto debido a su estacionalidad.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Inventario

Desde la perspectiva empresarial los inventarios representan inversión; se requiere de capital para tener reservas de materiales en cualquier estado de acabado.

El inventario es el almacenamiento de bienes y productos. En manufactura, los inventarios se conocen como SKU (stock-keeping unit) y se mantienen en un sitio de almacenamiento. Los SKU's usualmente consisten en (Adam & Ebert, 1991):

- Materia Prima
- Productos en Proceso
- Productos Terminados
- Suministros

El objeto básico del análisis de inventarios para conocer las existencias necesarias para la producción y los servicios es especificar (1) cuándo se deben ordenar los artículos y (2) cuál debe ser el volumen de la orden (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2005).

2.2.2 Propósitos del Inventario¹

Las empresas mantienen una determinada cantidad de inventario por las siguientes razones:

1. **Conservar la independencia de las operaciones:** El suministro de materiales en una empresa le permite tener flexibilidad en las operaciones.
2. **Confrontar variaciones en la demanda del producto:** Si se conoce con exactitud la demanda del producto, entonces es posible producir éste en la cantidad exacta para satisfacerla. Usualmente no se conoce por completo la demanda, por lo tanto, se mantienen existencias de reserva para cubrir esta variación.
3. **Permitir flexibilidad al programar la producción:** Las existencias en el inventario alivian la presión sobre la capacidad que el sistema de producción tiene para poner en circulación los bienes.
4. **Ofrecer un soporte contra las variaciones en los tiempos de entrega en las materias primas:** La incertidumbre también se encuentra en el tiempo de entrega por parte de los proveedores, pues ésta no suele ser constante. Para mitigar los riesgos de algún retraso, el inventario sirve de colchón para suplir esta cantidad con retraso inesperado.
5. **Aprovechar el tamaño económico de la orden de compra:** Mientras mayor sea la cantidad de cada pedido, menor será el número de pedidos

¹ Everett Adam & Ronald Ebert. "Administración de la producción y las operaciones". Cuarta edición. Año: 1991.

que tendrán que ser gestionados, así será más bajo el costo de pedir por unidad.

2.2.3 Costos del Inventario

Costo o precio del producto El costo o valor del producto es la suma que se paga al proveedor por el producto recibido, o los costos directos de manufactura si éste se produce. En diversos casos, se pueden incluir los costos de transporte, recepción o inspección como parte de los costos del producto.

Costos de adquisición: Son aquellos en los que se incurre cuando se coloca la orden de compra o costos de preparación. Incluyen costos de servicio de correo, llamadas telefónicas, costos de mano de obra en las compras y contabilidad, costos de recepción, tiempo de cómputo para el mantenimiento de los registros.

Costos por mantener el inventario: Esta categoría general incluye los costos de las instalaciones de almacenaje, el manejo, seguro, daños, obsolescencia, depreciación, impuestos y costo de oportunidad del capital.

Costo por falta de existencias: Los costos por falta de existencias son los que ocasiona la demanda, cuando las existencias se agotan, es decir son los costos de ventas perdidas o pedidos no despachados.

2.2.4 Política de Inventario

La política de inventarios consiste en determinar el nivel de existencias económicamente más conveniente para las empresas y responde a las preguntas: cuánto y cuándo pedir.

Para llegar a establecer una política de inventarios apropiada, se debe tener en cuenta los siguientes factores:

1. Las cantidades necesarias para satisfacer las necesidades de ventas.
2. La naturaleza perecedera de los artículos.
3. La duración del período de producción.
4. La capacidad de almacenamiento.
5. La suficiencia de capital de trabajo para financiar el inventario.
6. Los costos de mantener el inventario.
7. La protección contra la escasez de materias primas y mano de obra.
8. La protección contra aumento de precios.
9. Los riesgos incluidos en inventario.
10. Bajas de precios.
11. Obsolescencia de las existencias.
12. Pérdida por accidentes y robos.
13. Falta de demanda.

La administración científica de inventarios comprende los siguientes pasos:

1. Formular un modelo matemático que describa el comportamiento del sistema de inventarios.

2. Elaborar una política óptima de inventarios a partir de este modelo.
3. Utilizar un sistema de procesamiento de información computarizado para mantener un registro de los niveles de inventario.
4. A partir de los registros de los niveles de inventario, utilizar la política óptima de inventarios para señalar cuándo y cuánto conviene reabastecer.

2.2.5 Tipos de Demanda

La Demanda de un producto en inventario es el número de unidades que será necesario extraer del inventario para algún uso, durante un período específico (Hillier & Lieberman, 2006). La demanda de los inventarios no se comporta de la misma manera y está sujeta a uno o varios factores, éstos pueden ser individuales, colectivos, sociales o empresariales, por ello se dice que existen distintos tipos de demanda.

Demanda determinística.- La demanda es conocida con exactitud en cualquier período de tiempo, puede ser constante en algunos períodos de tiempo o también puede variar en cada período.

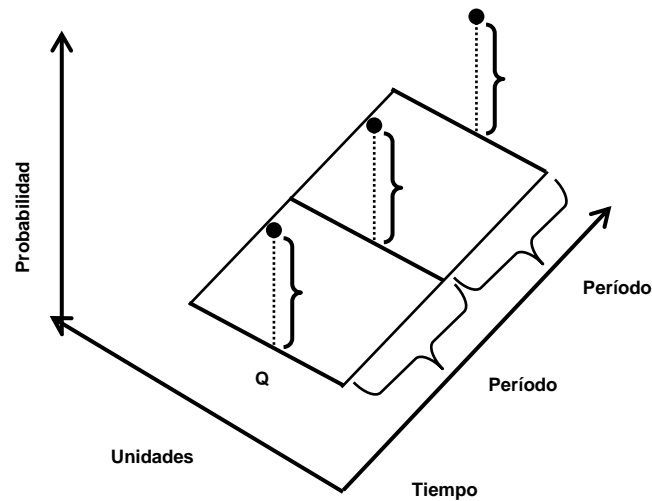


Figura 2.1: Demanda Determinística
Fuente: Elaboración Propia

Este tipo de demanda se presenta cuando la demanda es producida por un cliente o sistema automático, de manera constante y con un nivel exacto de producto a demandar (Hillier & Lieberman, 2006).

Demanda probabilística.- La demanda en cualquier período de tiempo tiene el comportamiento de una variable aleatoria, difiriendo de ser una constante conocida.

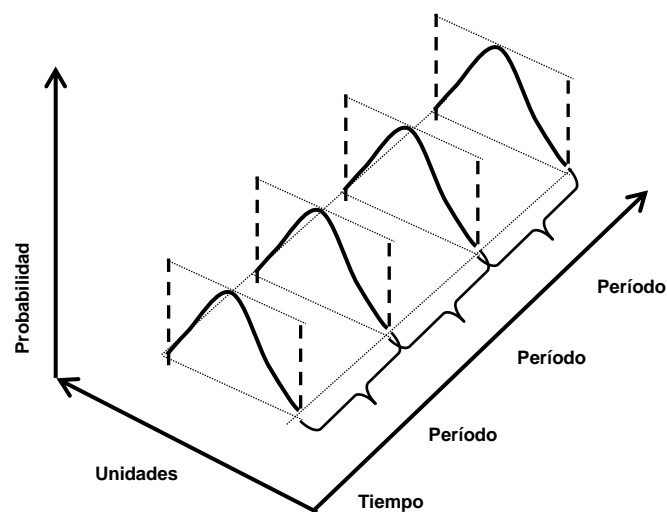


Figura 2.2 Demanda Probabilística
Fuente: Elaboración Propia

Se busca determinar si la demanda sigue un patrón de comportamiento estadístico, y si se ajusta a los tipos de distribución estadística conocidas, como la Uniforme, Normal, Exponencial, Chi-Cuadrada, Beta o Gamma.

2.2.6 Lista de Materiales estructurada (bill of materials, BOM):

La lista de materiales usa información proveniente de los registros de ingeniería y/o procesos para detallar los subcomponentes necesarios para fabricar un artículo determinado.

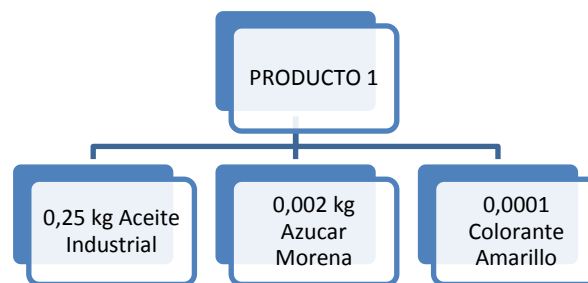


Figura 2.3: Lista de Materiales

Fuente: Elaboración Propia

2.2.7 Modelos de Inventario

Existen modelos matemáticos dirigidos a la gestión del inventario y se pueden dividir en dos grandes grupos: modelos determinísticos y modelos estocásticos, según la posibilidad de predecir la demanda y otra posible clasificación se relaciona con la forma en que se revisa el inventario ya sea en forma continua o periódica.

El objetivo de la aplicación de los modelos de inventario es responder a las preguntas: *¿Cuánto se debe solicitar en cada pedido?* y *¿Cuándo se debe realizar el pedido?*

Para formular un modelo de inventario que describa el comportamiento de los inventarios, hay que considerar los siguientes aspectos:

- Tipo de demanda
- Nivel de déficit aceptados
- Tiempo de reposición
- Nivel de servicio solicitado
- Costos incurridos en el sistema de inventarios.

2.2.8 Clasificación ABC

En el siglo XIX, el economista italiano Vifredo Pareto elaboró una clasificación que se usa con gran amplitud tanto en las compras como en los inventarios, se basa en el valor monetario. Tiene como objetivo aumentar la eficiencia de las políticas adaptadas porque permite concentrar recursos en las áreas donde se produce un mayor efecto deseado.

La clasificación de los productos se suele realizar con el siguiente patrón²:

-Productos A: pocos productos ($\approx 20\%$) pero tienen un alto nivel de uso o alto coste y que representan el 80% del valor total de uso del inventario.

-Productos B: número de productos ($\approx 40\%$) que representan en total el 15% del valor total de uso de inventario.

-Productos C: gran cantidad de productos($\approx 40\%$) con un poco uso individual o un valor bajo.

² García, Cardós, Albarracín y García "Gestión de Stocks de demanda independiente" 2004.

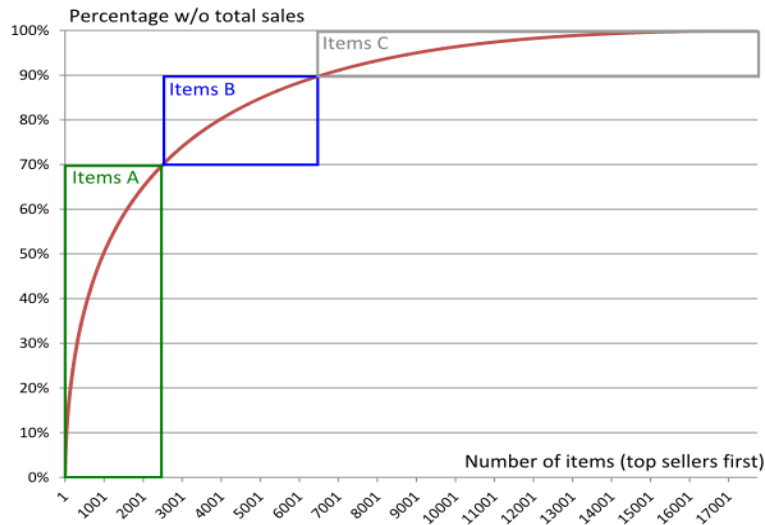


Figura 2.4: Clasificación ABC

Fuente: *Fundamentos de Gestión de inventario, autor Carlos Julio Vidal*

Método de clasificación ABC: La clasificación ABC se realiza con base en el producto, el cual se expresa su valor por unidad de tiempo por lo general anual, de las ventas de cada ítem i donde:

D_i = Demanda anual del ítem i (unidades /año)

V_i = Valor (costo) unitario del ítem i (unidades monetarias /unidad)

Valor total i = $D_i * V_i$ (unidades monetarias año)

Luego de aplicarse las operaciones para determinar la valorización de cada artículo se procede a determinar el porcentaje de participación de los artículos, según su valorización.

Se ordenan los artículos de mayor a menor según sus porcentajes, obteniendo así los porcentajes acumulados. Como paso final, los artículos o referencias son agrupados según el criterio porcentual determinado previamente.

2.2.9 Prueba de Bondad de Ajuste

Sea x : variable aleatoria poblacional

$f_0(x)$: La distribución de probabilidad especificada o supuesta para x

Se desea probar la hipótesis:

$$H_0: f(x)=f_0(x)$$

En contraste con la hipótesis alterna:

$$H_a: f(x) \neq f_0(x)$$

2.2.10 Prueba Kolmogorov-Smirnov

El estadístico de prueba Kolmogorov-Smirnov es:

$$D_n = \text{Max}|P(x) - P_0(x)|$$

$P(x)$: Distribución de probabilidades de la muestra

$P_0(x)$: Distribución de probabilidades teórica escogida

Si el valor D_n obtenido de la expresión anteriormente expuesta, es menor que el valor tabulado D_α para un nivel de significancia requerido, entonces se acepta la hipótesis nula.

| n | Test de Kolmogorov-Smirnov sobre Bondad de Ajuste | | | | | | | |
|-----|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Nivel de significación α | | | | | | | |
| | 0.20 | 0.10 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.005 | 0.002 | 0.001 |
| 1 | 0.90000 | 0.95000 | 0.97500 | 0.99000 | 0.99500 | 0.99750 | 0.99900 | 0.99950 |
| 2 | 0.68337 | 0.77639 | 0.84189 | 0.90000 | 0.92929 | 0.95000 | 0.96838 | 0.97764 |
| 3 | 0.56481 | 0.63604 | 0.70760 | 0.78456 | 0.82900 | 0.86428 | 0.90000 | 0.92065 |
| 4 | 0.49265 | 0.56522 | 0.62394 | 0.68887 | 0.73424 | 0.77639 | 0.82217 | 0.85047 |
| 5 | 0.44698 | 0.50945 | 0.56328 | 0.62718 | 0.66853 | 0.70543 | 0.75000 | 0.78137 |
| 6 | 0.41037 | 0.46799 | 0.51926 | 0.57741 | 0.61661 | 0.65287 | 0.69571 | 0.72479 |
| 7 | 0.38148 | 0.43607 | 0.48342 | 0.53844 | 0.57581 | 0.60975 | 0.65071 | 0.67930 |
| 8 | 0.35831 | 0.40962 | 0.45427 | 0.50654 | 0.54179 | 0.57429 | 0.61368 | 0.64098 |
| 9 | 0.33910 | 0.38746 | 0.43001 | 0.47960 | 0.51332 | 0.54443 | 0.58210 | 0.60846 |
| 10 | 0.32260 | 0.36866 | 0.40925 | 0.45562 | 0.48893 | 0.51872 | 0.55500 | 0.58042 |
| 11 | 0.30829 | 0.35242 | 0.39122 | 0.43670 | 0.46770 | 0.49539 | 0.53135 | 0.55588 |
| 12 | 0.29577 | 0.33815 | 0.37543 | 0.41918 | 0.44905 | 0.47672 | 0.51047 | 0.53422 |
| 13 | 0.28470 | 0.32549 | 0.36143 | 0.40362 | 0.43247 | 0.45921 | 0.49189 | 0.51490 |
| 14 | 0.27481 | 0.31417 | 0.34890 | 0.38970 | 0.41762 | 0.44352 | 0.47520 | 0.49753 |
| 15 | 0.26589 | 0.30397 | 0.33750 | 0.37713 | 0.40420 | 0.42934 | 0.45611 | 0.48182 |
| 16 | 0.25778 | 0.29472 | 0.32733 | 0.36571 | 0.39201 | 0.41644 | 0.44637 | 0.46750 |
| 17 | 0.25039 | 0.28627 | 0.31796 | 0.35528 | 0.38086 | 0.40464 | 0.43380 | 0.45540 |

Figura 2.5: Nivel de Significancia prueba Kolmogorov-Smirnov

Fuente: Inventor Management and Production Planning Scheduling. Autor Edward A. Silver

2.2.11 Pronósticos

La necesidad de pronósticos se encuentra en todas las organizaciones, esto es indispensable para avanzar en un entorno muy dinámico y altamente interactivo. Existen diversos modelos para realizar pronósticos, para una elección adecuada del modelo se presenta la Tabla 2.1, con el sistema de pronóstico recomendado con respecto al patrón de demanda.

| Patrón de demanda | Sistema de Pronóstico recomendado |
|---|---|
| Perpetua o uniforme | Promedio móvil o suavización exponencial simple |
| Con tendencia creciente o decreciente | Suavización exponencial doble |
| Estacional o Periódica | Modelos periódicos de Winters |
| Demandas altamente correlacionadas | Métodos integrados de promedios móviles autoregresivos |
| Errática (ítems clase A de bajo movimiento) | Pronóstico combinado de tiempo entre la ocurrencia de demandas consecutivas y la magnitud de las transacciones individuales |

Tabla 2.1 Sistemas de pronóstico según su patrón de demanda

Fuente: Inventory Management And Production Planning and Scheduling, autor Edwar A. Silver.

2.2.12 Simulación

Este método requiere de una computadora para que “imite” o simule las operaciones de un proceso o un sistema completo. Esta se utiliza ampliamente para los análisis de sistemas estocásticos que se encuentran operando sin un período de tiempo definido. El registro de desempeño que generan estos modelos permiten evaluar diferentes alternativas de diseño o procedimiento, generando

preguntas tipo “y si?” para poder comparar los resultados de ambas alternativas y efectuar una mejor toma de decisiones.

La simulación es usualmente utilizada cuando el sistema estocástico no es simple para poder ser desarrollado con los modelos analíticos, aunque este enfoque tiene la esencia del problema, muestra la estructura principal y también puede dar las relaciones causa-efecto del problema, estas no pueden ser lo suficientemente adecuadas para resolver un problema complejo.

2.2.13 Metaheurísticas

Una metaheurística es un método de solución general que proporciona tanto una estructura general como criterios estratégicos para desarrollar un método heurístico específico que se ajuste a un tipo particular de problema (Hillier & Lieberman, 2006). Este procedimiento realiza mejora local y tiene estrategias de alto nivel para poder salir de óptimos locales y puede seguir buscando a través de la región factible.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA DE TRABAJO

El siguiente capítulo contempla la metodología para el desarrollo del proyecto, mediante un diagrama de flujo y cronograma de actividades. Además, se explica el modelo de negocio y abastecimiento de la empresa, y el impacto del proyecto en el área de estudio.

3.1 Diagrama de Flujo

Primero se realiza una búsqueda de la empresa, una vez encontrada la organización donde se podrá efectuar el proyecto, se realizan entrevistas para un conocimiento preliminar del problema, la propuesta es presentada a gerencia general para su debida aprobación y para la definición del alcance del proyecto. Una vez aprobado se realiza el análisis de la situación actual y de la gestión del almacén de materias primas mediante la observación y entrevistas; una vez identificados los problemas y sus causas se define una alternativa de solución para la propuesta de modelo de inventario, se procede a solicitar la información requerida para el modelo del sistema informático que usa la empresa, si la solución no es viable, se propone otro modelo hasta que se encuentre el adecuado para establecer las políticas de inventario. El establecimiento de las políticas dará paso al análisis de la situación actual con la propuesta. Finalmente, se elaboran las conclusiones y recomendaciones.

En el diagrama de flujo siguiente se describe la secuencia básica de eventos que se generan durante la realización del proyecto (Figura 3.1):

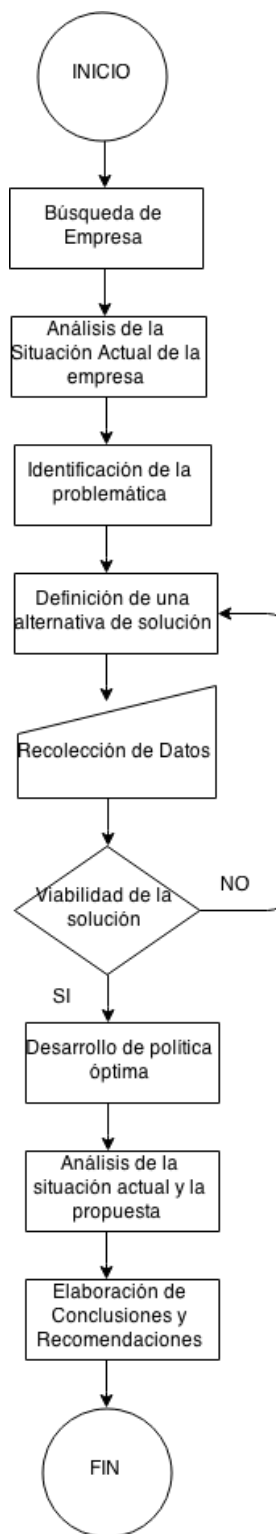


Figura 3.1 Diagrama de Flujo

Fuente: Elaboración Propia

3.2 Cronograma de Actividades

Es importante para todo trabajo de investigación establecer un cronograma de actividades para que se determinen los tiempos y secuenciación de cada actividad para la consecución de los objetivos propuestos.

En la Figura 3.2 se presentan las actividades y sus respectivas duraciones para la ejecución del proyecto:

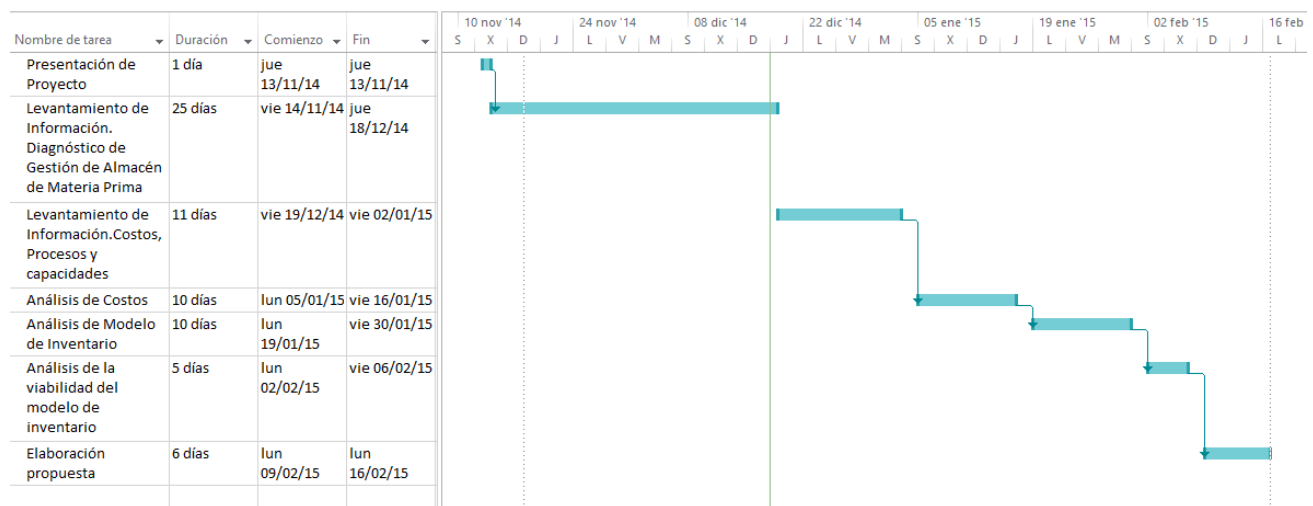


Figura 3.2: Cronograma de Actividades

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Línea de Proceso

Para analizar las actividades que afectan al abastecimiento de materias primas, es importante mantener una visión macro del proceso de la compañía (Figura 3.3).



Figura 3.3: Línea de Proceso de la Empresa

Fuente: Elaboración Propia

El proceso comienza con el abastecimiento de materias primas, esta se almacena y se mantiene en condiciones idóneas hasta que se reciba una orden de producción, continúa a la transformación de estas materias primas e insumos de producción en productos terminados correctamente embalados y sellados, las cajas son almacenadas en un almacén exclusivo para estos productos, y la etapa final es la distribución a los distintos puntos de venta directamente o a los demás centros de distribución de la empresa localizados en diversas provincias en el país.

3.3.1 Proceso de Abastecimiento de Materia Prima e Insumos de Producción

Una vez visualizada las operaciones de la empresa, nos enfocamos directamente a nuestra área de estudio y las actividades específicas que se llevan a cabo en el proceso de abastecimiento de materias primas e insumos de producción.

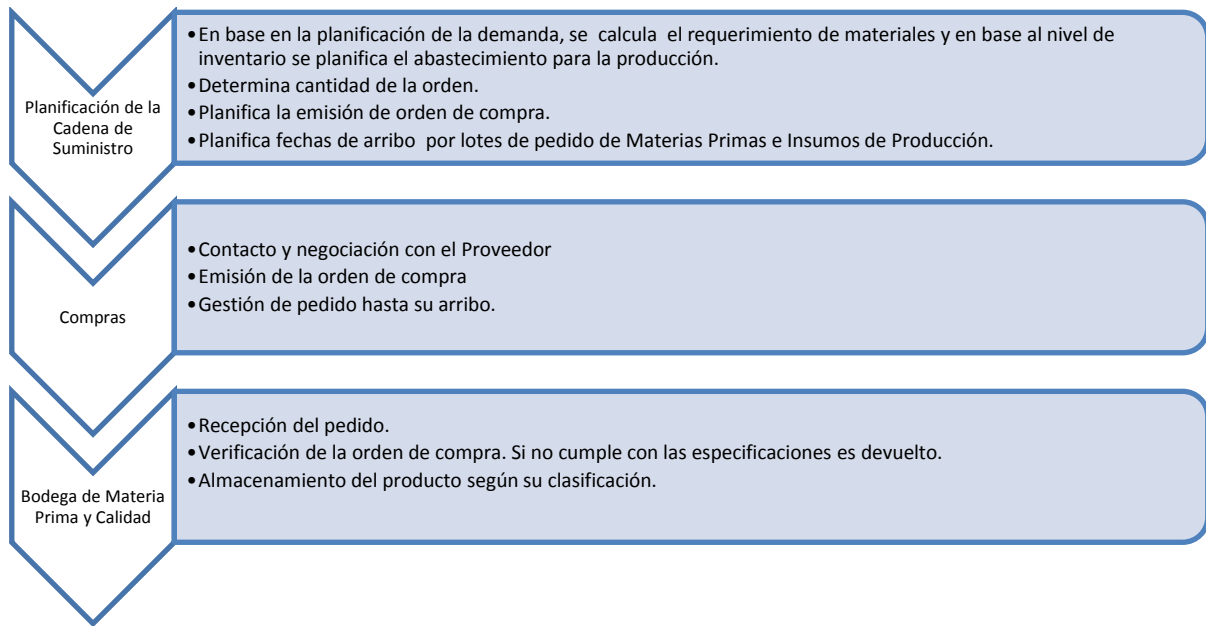


Figura 3.4: Proceso para abastecimiento del Almacén de Materias Primas

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2 Cadena de Suministro

La cadena de suministro se define como la coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales del negocio, este proyecto propone el diseño de una alternativa de solución a una problemática que abarca una parte de la cadena de suministro que corresponde al proveedor, almacén de materia prima e insumos y el departamento de producción.



Figura 3.5: Cadena de Suministro

Fuente: Elaboración Propia

Establecer una política de inventario para conocer la cantidad a pedir y el tiempo de reposición adecuados, tiene un campo de acción que abarca actividades clave y de apoyo de la cadena de suministro e intervienen en la toma de decisiones de cada actividad.

Actividades clave

1. Manejo de inventarios

- a. Políticas de almacenamiento de materias primas
- b. Estrategias a tiempo, de sistema push

Actividades de Apoyo

2. Manejo de materiales

- a. Procedimientos de levantamiento de pedidos
- b. Almacenamiento y recuperación de existencias

3. Compras

- a. Momento correcto para comprar
- b. Cantidades a comprar

4. Cooperación con producción y operaciones para:

- a. Programación de suministros para producción y operaciones

5. Mantenimiento de información

- a. Recopilación, almacenamiento y manipulación de la información
- b. Análisis de datos
- c. Procedimientos de control.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE DATOS

En el siguiente capítulo se realiza el análisis de la composición de las referencias de la bodega de materia prima e insumos de producción, para ello se clasifica los inventarios de acuerdo a la naturaleza de los componentes y se aplica la clasificación ABC según su importancia para la empresa. Además, se analizan datos correspondientes a los consumos de materia prima y de los insumos para hallar su distribución probabilística, en el caso particular de aquellos componentes que presentan estacionalidad se pronosticará su consumo para el año 2016.

4.1 Clasificación del Inventario de Materias Primas e Insumos de Producción

4.1.1 Clasificación por Naturaleza.-

Los inventarios se encuentran clasificados por la naturaleza del componente en las siguientes categorías:

| Clasificación | Materias Primas | Recursos locales para transformación en producto terminado. |
|---------------|---------------------|---|
| | Materias Primas ABC | Perecibles especiales para la elaboración de productos. |
| | Envases y Empaques | |
| | Fundas | |
| | Cintas | |

Figura 4.1: Clasificación por Naturaleza de Materias primas e Insumos de Producción

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2 Clasificación ABC

4.1.2.1 Metodología

Primero se realizará la clasificación ABC a los productos terminados, es decir, aquellos productos finales que se venden al público, depende de su categoría adquirida el componente necesario para la producción del mismo también será

tipo A (Figura 4.2), debido a que el abastecimiento de este insumo es de importancia alta para la empresa.

Así mismo se replica la metodología para los Productos Terminados Tipo B y Tipo C (Figura 4.3 y Figura 4.4)

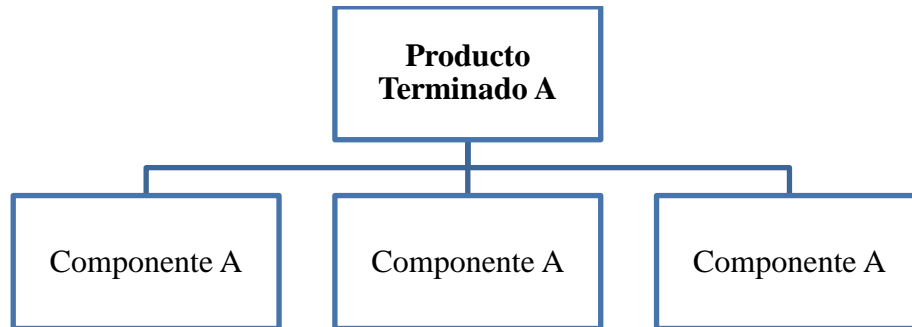


Figura 4.2: Metodología para la clasificación de componentes tipo A.
Fuente: Elaboración Propia

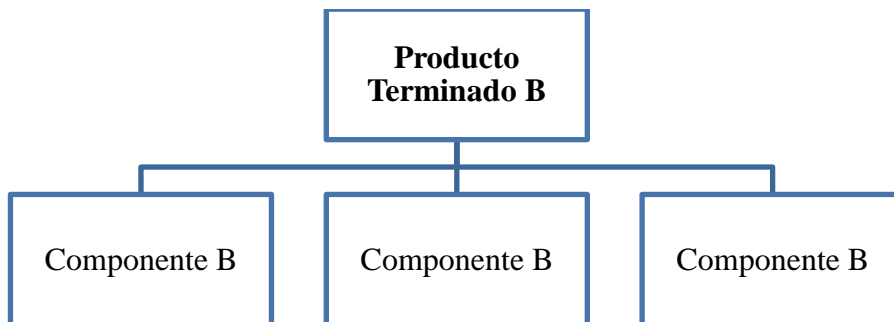


Figura 4.3: Metodología para la clasificación de componentes tipo B.
Fuente: Elaboración Propia

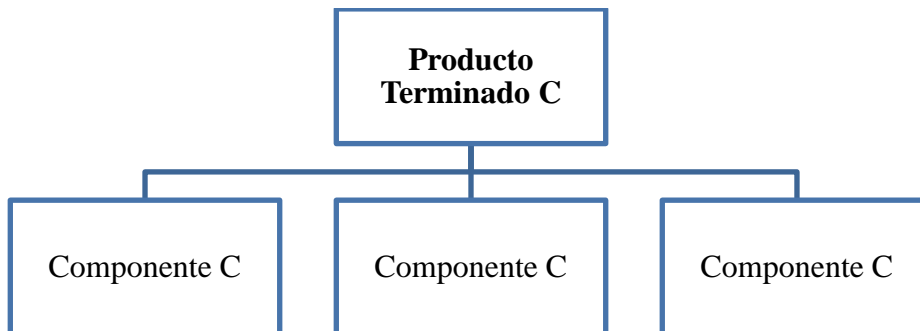


Figura 4.4: Metodología para la clasificación de componentes tipo C.
Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.2 Producto Terminado

Los SKU'S de Producto Terminado son cajas de una determinada referencia de snacks, se analizaron sus ventas del último año en dólares y se aplicó la Ley de Pareto con 80% para los productos tipos A, 15% tipo B y 5% tipo C del total de las ventas, con metodología de la clasificación ABC mencionada previamente en el marco conceptual, en el Anexo 1 se reflejan los resultados de esta clasificación y en el Gráfico 4.1 se encuentra la curva de Pareto que refleja los productos de mayor importancia para la empresa.

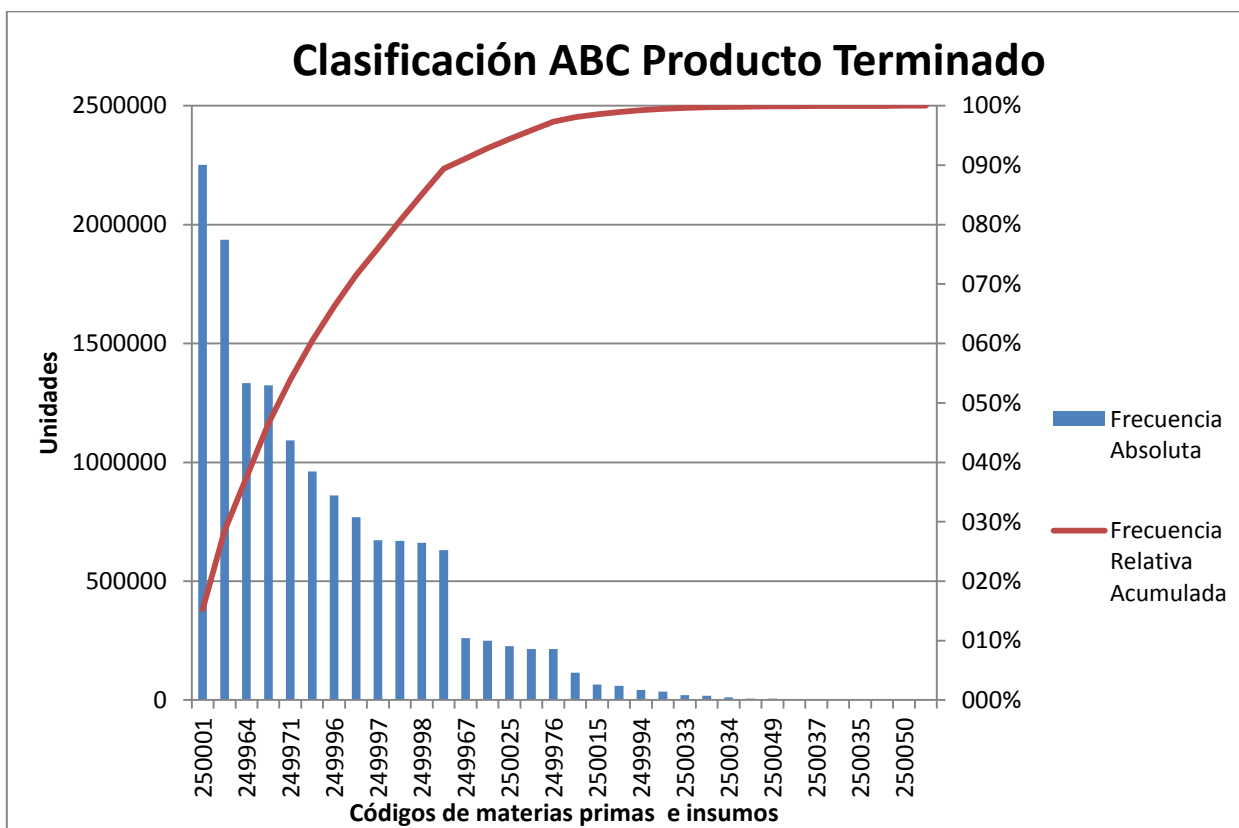


Gráfico 4.1: Clasificación ABC Producto Terminado

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.3 Materia Prima e Insumos de Producción

Siguiendo la metodología previamente explicada donde según los resultados de la clasificación ABC de los productos terminados, se asignó la clasificación a sus respectivos componentes (Anexo 2).

Se pudo determinar que un 48,68% de estas referencias son Tipo A, apenas el 7,89% son Tipo B y el 43,42% restante son tipo C (Tabla 4.1 y Gráfico 4.2).

| Componentes | Cantidad | Porcentaje |
|-------------|----------|------------|
| Tipo A | 37 | 48,68% |
| Tipo B | 6 | 7,89% |
| Tipo C | 33 | 43,42% |
| Total | 76 | 100,00% |

Tabla 4.1: Composición de Materias Primas e Insumos de Producción en la clasificación ABC

Fuente: Elaboración Propia

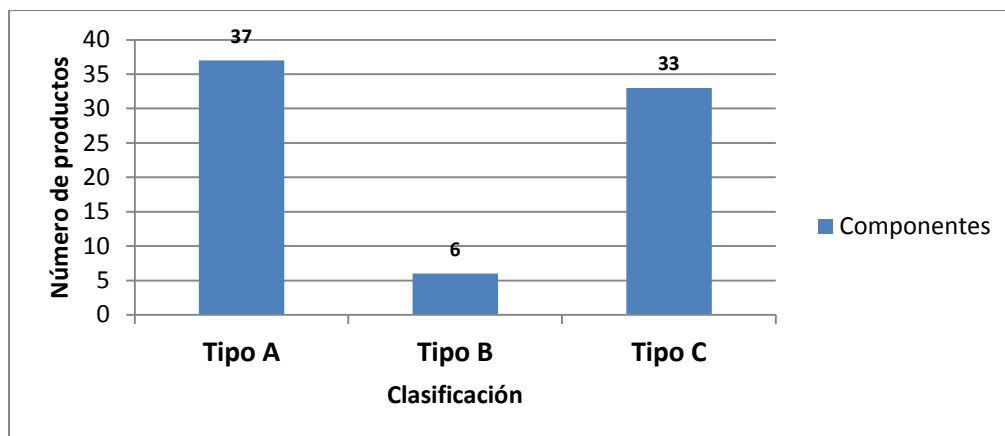


Gráfico 4.2: Composición de Materias Primas e Insumos en la clasificación ABC

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3 Prueba de Bondad de Ajuste

Para poder analizar si las referencias se ajustan a una distribución probabilística, se realizó la prueba de bondad de ajuste con el test Kolmogorov-Smirnov para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula. El software Minitab 16, nos ofrece una gráfica de probabilidad para el test de normalidad donde se puede verificar visualmente la distribución de los consumos de las materias primas o los insumos de producción (Figura 4.5).

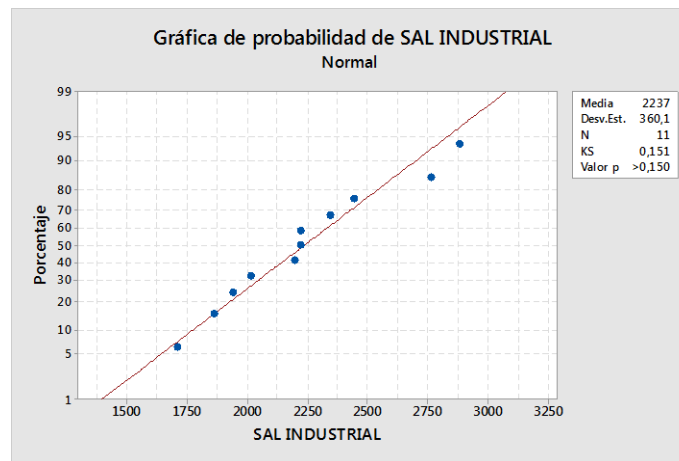


Figura 4.5: Prueba Kolmogorov-Smirnov para Bondad de Ajuste

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla del Anexo 3 se encuentra la media, desviación estándar y valor de p, de aquellos mayor a 0,05 nivel de significancia.

4.1.4 Productos con Estacionalidad

Se encontraron componentes cuyos consumos no seguían una distribución específica, bajo la hipótesis de que esto puede deberse a efectos de estacionalidad de los productos, es decir, su comportamiento refleja períodos con ventas bastante elevadas. Se procedió a analizar los datos de las ventas de los

productos terminados en una serie de tiempo con los datos históricos disponibles, y en efecto se encontró estacionalidad en ciertos meses. Para poder determinar la política de inventario se realizó pronósticos de la demanda y mediante el cálculo de factor se pudo determinar la cantidad del componente requerido para el siguiente año.

Producto 249994

Para el producto 249994 se tomaron los datos históricos disponibles desde julio del 2011(Gráfico 4.3), y se escogió el modelo $ARIMA(1,0,0)(0,1,0)$, que evidencia una diferenciación estacional entre los meses octubre, noviembre y diciembre. La serie de tiempo resultante con los pronósticos para el año 2016 se encuentra en el Gráfico 4.4.

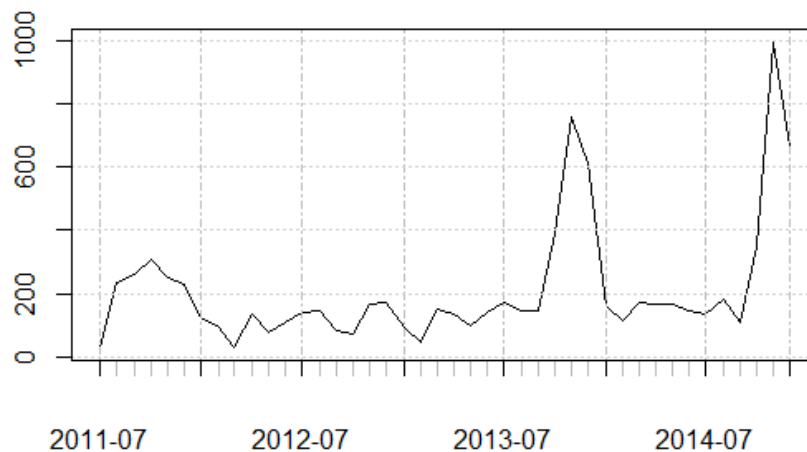


Gráfico 4.3: Serie de Tiempo para producto 249994

Fuente: Elaboración Propia

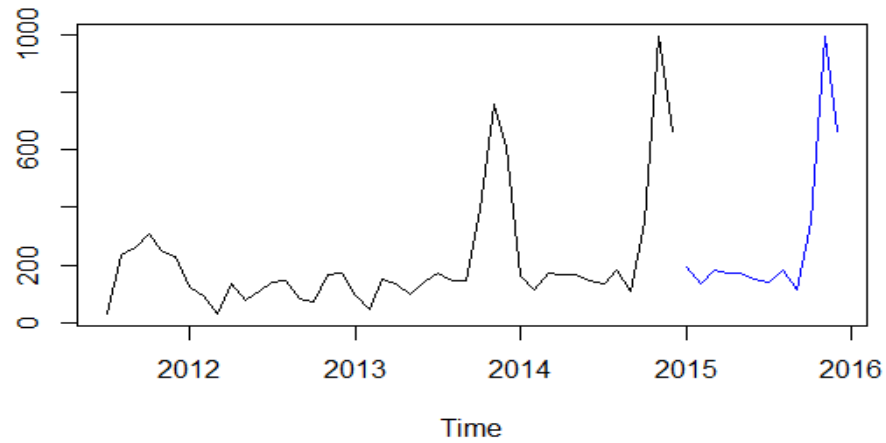


Gráfico 4.4: Pronóstico para el año 2016 del producto 249994.
Fuente: Elaboración Propia

Producto 250022

Para el componente 250022 se utilizaron datos históricos disponibles desde agosto del 2012 (Gráfico 4.5) y se utilizó un modelo $ARIMA(1,1,0)(0,1,0)$ para obtener los pronósticos para el año 2016 que se ven reflejados en la serie de tiempo en el Gráfico 4.6.

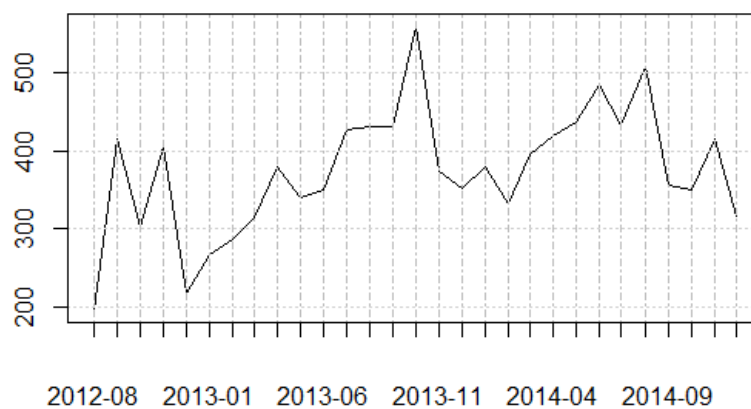


Gráfico 4.5: Serie de Tiempo producto 250022
Fuente: Elaboración Propia

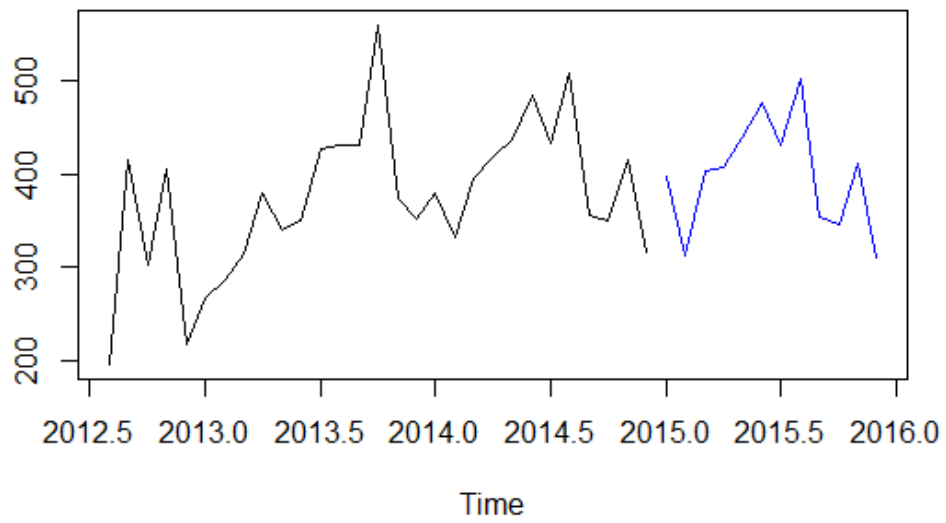


Gráfico 4.6: Pronóstico para el año 2016 del componente 250022

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 5

PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

Como solución se propone el diseño de una política Q,R mediante un modelo de simulación que permita generar la demanda aleatoriamente y visualizar el desempeño de la política de inventario, para la optimización se utilizará una metaheurística.

5.1 Elección de Política (Q,R)

La propuesta está basada en una política Q,R de revisión continua, debido a los siguientes factores analizados en el capítulo anterior:

Naturaleza aleatoria de la demanda: el consumo de materias primas e insumos es estocástica y sigue una distribución probabilística normal.

Revisión continua de inventarios: la empresa maneja un continuo control de entrada y salida de inventarios, además que debido a que la demanda de estas referencias es dependiente del plan de producción será más acertado conocer cuándo el nivel de inventario llegará al punto de reorden.

Fácil Implementación: es un método de aplicación sencilla para el manejo y control de inventarios, que puede ser utilizado por todos los encargados del área.

Además, compañías importantes han utilizado este método por varios años como es el caso de IBM, empresa que tiene alrededor de 1000 productos en servicio y cuyo inventario está valuado en miles de millones de dólares, aplica una política de inventarios (Q,R) para cada eslabón de la cadena (Hillier & Lieberman, 2006).

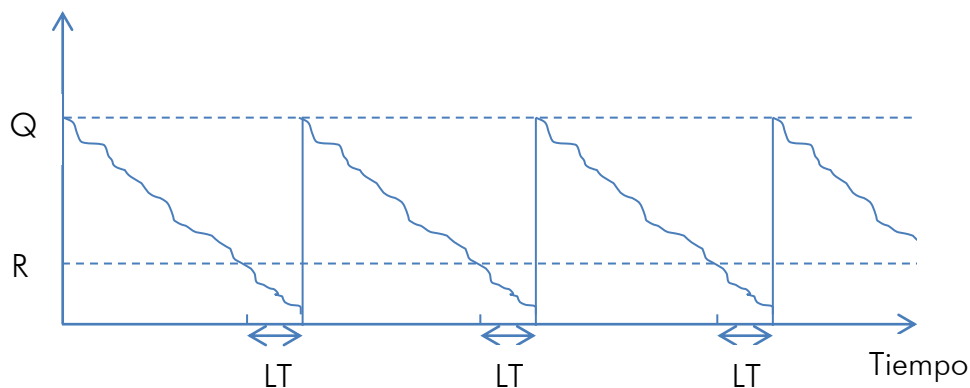


Figura 5.1: Política (Q,R) de revisión continua
Fuente: Elaboración Propia

5.2 Formulación del Modelo

Parámetros

D = Demanda Anual materia prima o insumo.

k = costo de pedido de materia prima o insumo.

h = costo anual de almacenamiento de materia prima o insumo.

F = frecuencia mínima de los pedidos de materia prima o insumo.

Ped_min = cantidad mínima a ordenar.

S = nivel de servicio

Variables

Q = Cantidad a pedir para materia prima o insumo.

r = punto de reorden para materia prima o insumo.

$$F.O. \text{ Minimizar } \frac{D}{Q}k + hI(Q, r) \quad (1.1)$$

S.A.

$$\frac{D}{Q} \geq F \quad (1.2)$$

$$S(Q, r) \geq S \quad (1.3)$$

$$Q \geq Ped_min \quad (1.4)$$

$$Q > r \quad (1.5)$$

$$Q, r \in Z^+ \quad (1.6)$$

La función objetivo en el presente modelo es minimizar la inversión en el inventario de cada referencia de materias primas e insumos de producción. Donde $\frac{D}{Q}$ representa la frecuencia de pedido en el año con su respectivo costo de pedir k ,

$I(Q,r)$ es la función de inventario promedio con su respectivo costo de almacenamiento h . Esta función está sujeta a la restricción **(1.2)** donde F es la frecuencia mínima a pedir debido a naturaleza perecible de las materias primas. Además la restricción **(1.3)** donde se establece el nivel de servicio para no tener órdenes pendientes, es decir, no caer en stock out. Adicionalmente, se restringe la cantidad a pedir al pedido mínimo establecido por el proveedor **(1.4)**. La siguiente restricción**(1.5)** establece que el valor r debe ser menor a Q y finalmente, Q y r pertenecen al conjunto de números enteros positivos**(1.6)**.

5.3 Cálculo de Costos

Para la función objetivo (1.1) presentada anteriormente que representa el costo total, se debe estimar el costo de pedir y mantener el inventario, k y h respectivamente.

$$TC = \frac{k * D}{Q} + hI(Q, r)$$

5.3.1 Costo de adquisición

El costo de adquisición son aquellos inherentes a la emisión de orden de compra, y está dado por la siguiente fórmula:

$$k = CHH((PP * HP) + (PR * HR)) + GB$$

Donde:

$$CHH = \text{Costo de horas hombre} \left(\frac{\$}{h} \right)$$

PP = personal requerido para realizar un pedido.

HP = Tiempo para realizar un pedido.

PR = Personal requerido para receptar un pedido.

HR = Tiempo de recepción.

GB = Gastos Básicos por pedido(internet, teléfono, etc).

5.3.2 Costo de almacenamiento

Para el cálculo de costo anual de mantenimiento de inventario h (\$/kg) se hizo énfasis en la capacidad del almacén, mediante un levantamiento exhaustivo sobre la utilización de la bodega por cada referencia, además de tomar en consideración la renta anual, gastos básicos, etc. Este cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$h = \frac{R + P + GB + TI}{capacidad} * \frac{1 \text{ hueco}}{RP} * \frac{1}{cap_kg}$$

Donde:

R = precio de renta anual.

P = número de personal del almacén.

GB = Gastos básicos.

TI = Tecnologías de información.

capacidad = # de huecos totales en el almacén.

$RP = \text{rotación anual de pallets del producto.}$

$cap_kg = \text{capacidad kg/pallet}$

5.4 Modelo de Simulación

El diagrama de flujo a continuación (Figura 5.2) describe la lógica del proceso de simulación de la política (Q,R) de revisión continua para un solo componente. Una política (Q,R) establece que se emite una orden cuando el nivel de inventario es igual o menor al punto de reorden (R) , y la cantidad a ordenar es Q. El diagrama nos muestra este proceso en cada período de tiempo, después de actualizar el nivel de inventario según la demanda en el período i , se revisa el nivel de inventario, si es menor a cero es decir cae en stock out, se emite una señal donde se declara infactibilidad y termina la simulación, si esta condición no se cumple se analiza si el nivel de inventario es igual o cae debajo del punto de reorden, si la condición es verdadera se emite una orden de cantidad Q y se establece el tiempo de reposición igual a período i más el lead time, si el tiempo de reposición es mayor al tiempo de vida útil de la materia prima entonces se declara solución no factible y termina la simulación. Cuando se llegue al período donde se cumple el tiempo de reposición se agrega la orden al nivel de inventario, finalmente, si se cumple con el horizonte de simulación ésta termina, si no, entonces i incrementa en uno.

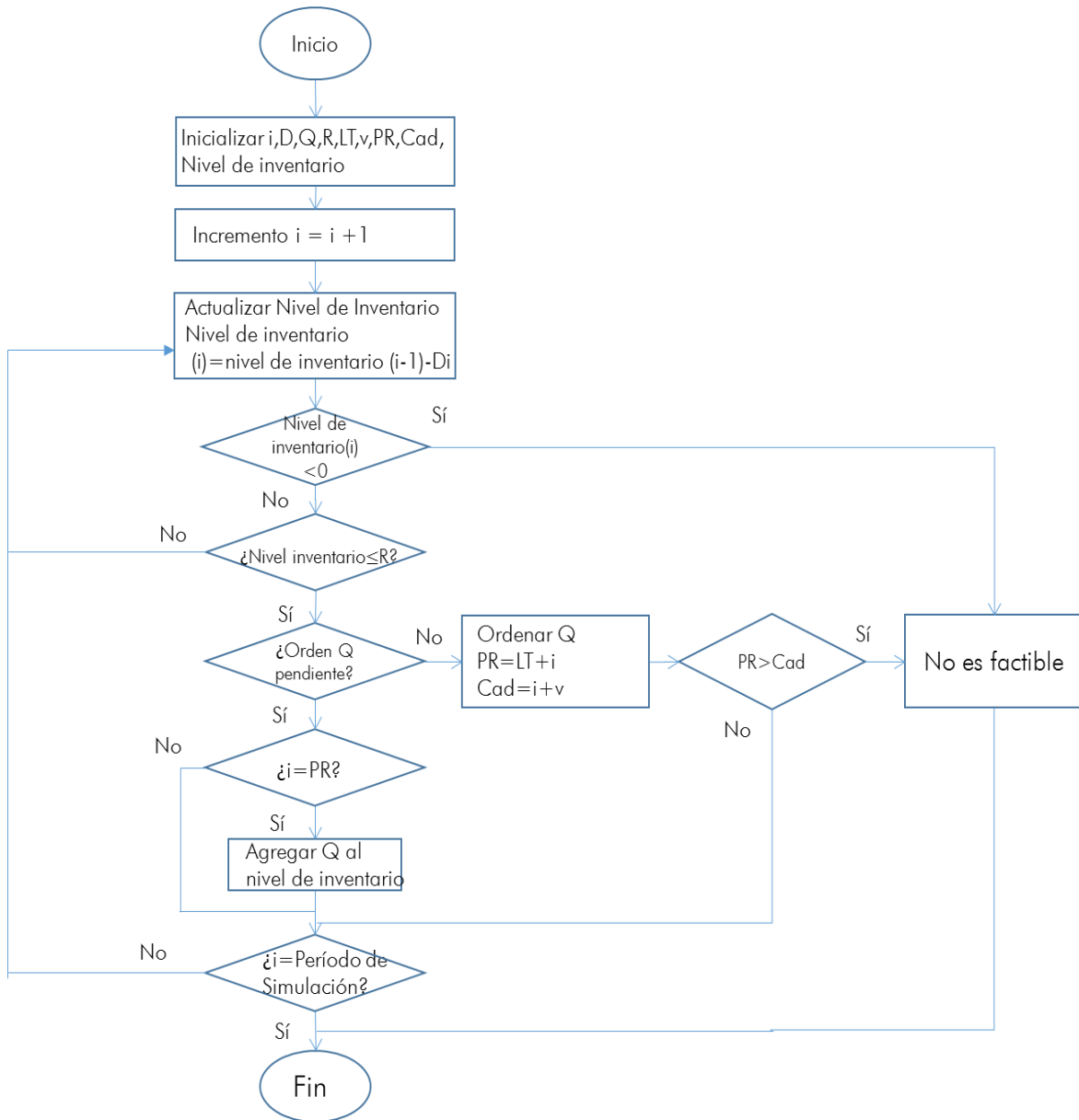


Figura 5.2: Modelo de Simulación

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

i: período actual

LT: Lead Time

D: demanda

v: tiempo de vigencia de materia prima

Q: cantidad a pedir

PR: Período de Reposición

R: punto de reorden

Cad: período en el que caduca la materia prima

5.5 Búsqueda Tabú

El diagrama a continuación muestra la lógica de la metaheurística Búsqueda Tabú (Figura 5.3), Primero se inicializa la lista tabú, el X_0 que es una solución factible inicial, se escoge la vecindad y se analiza el X siguiente, se analiza si esta solución no pertenece a la lista tabú si la condición es falsa entonces se regresa al paso anterior a escoger un nuevo vecino mediante el criterio de aspiración, hasta que la condición sea verdadera, cuando esta se cumple y si el costo del nuevo vecino es menor al costo mínimo identificado hasta el momento entonces la nueva solución óptima es X , si no, la solución óptima se mantiene y X se almacena en la lista tabú. Este proceso se repite hasta que se cumpla el criterio de parada.

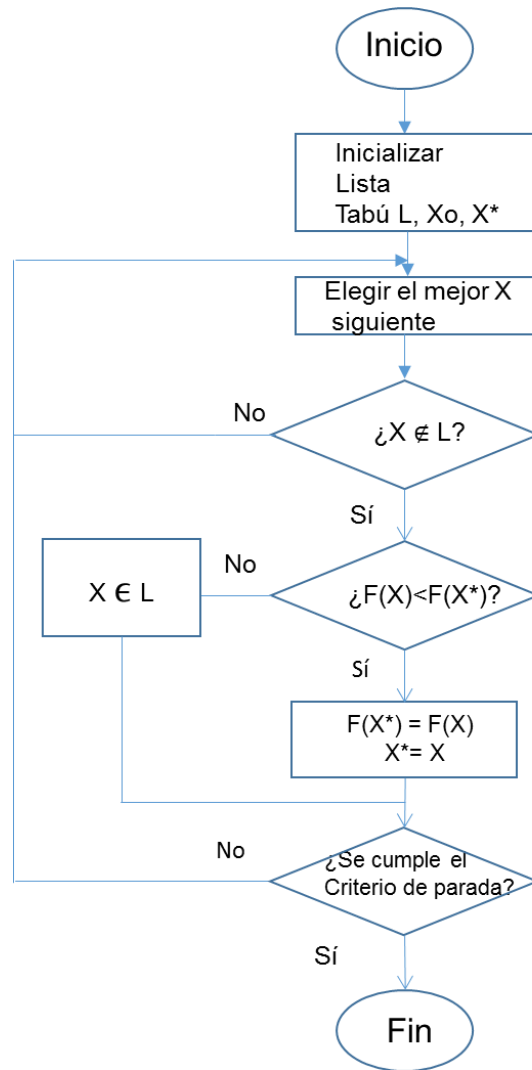


Figura 5.3: Método de búsqueda en el Entorno. Búsqueda Tabú.

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

L : Lista tabú

X_0 : solución inicial

X : solución a evaluar

X^* : solución óptima

5.6 Coordinación entre Simulación y Optimización

El modelo de Optimización-Simulación representado en la Figura 5.4, indica que el output de la simulación son los costos o valor de la función objetivo consecuencia de la evaluación de la política de inventario, y ésta es utilizada por la estrategia de optimización mediante la metaheurística para proveer la retroalimentación en variables Q,R de los resultados de la búsqueda por la solución óptima, y esto se vuelve un input para el modelo simulación.

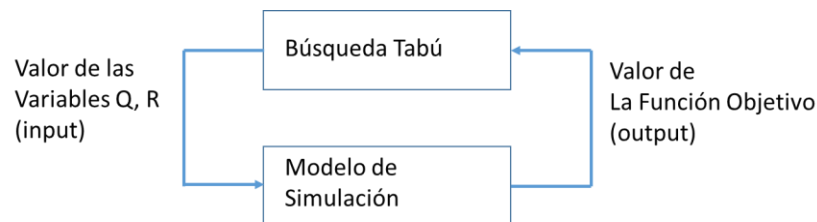


Figura 5.4: Coordinación entre Simulación y optimización

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se realiza el análisis de resultados del modelo matemático y la comparación con la situación actual. Primero, se exponen los costos totales obtenidos de la optimización del modelo matemático. Segundo, se realiza una comparación de los niveles de inventario, costo de inversión de inventario por referencias y los costos totales actuales y los propuestos.

6.1 Política de Inventario

El modelo matemático establecido para el diseño de políticas de inventario da los valores de las variables Q y R para la política de cada referencia tanto de materia prima (Tabla 6.1) como de insumos de producción (Tabla 6.2) y el costo total anual de adquisición y almacenamiento.

| Código | Q | R | CT |
|--------|--------|--------|-----------|
| 2173 | 1075 | 67 | \$ 84,44 |
| 2174 | 5515 | 839 | \$ 334,98 |
| 2175 | 836 | 31 | \$ 58,76 |
| 2176 | 605 | 35 | \$ 61,67 |
| 2211 | 10217 | 634 | \$ 153,56 |
| 3213 | 661984 | 176035 | \$ 545,20 |
| 2177 | 69 | 3 | \$ 59,36 |
| 2152 | 13502 | 6094 | \$ 663,52 |
| 2151 | 1534 | 635 | \$ 485,19 |
| 2011 | 40248 | 20000 | \$ 385,69 |
| 34 | 2020 | 1500 | \$ 166,60 |
| 56 | 330 | 180 | \$ 139,06 |
| 57 | 224 | 140 | \$ 129,14 |
| 16918 | 1891 | 800 | \$ 141,34 |
| 93186 | 3799 | 2800 | \$ 147,84 |
| 107 | 986 | 600 | \$ 130,25 |
| 139 | 208 | 90 | \$ 110,21 |
| 138 | 3444 | 3000 | \$ 119,78 |
| 2150 | 135 | 66 | \$ 72,57 |

Tabla 6.1: Política de Inventario para Materia Prima

Fuente: Elaboración Propia.

| Código | Q | R | CT |
|---------------|----------|----------|-----------|
| 3713 | 2880 | 242 | \$ 106,59 |
| 3715 | 1049 | 119 | \$ 101,51 |
| 3907 | 200380 | 102319 | \$ 511,40 |
| 3908 | 200000 | 24265 | \$ 109,64 |
| 3311 | 58879 | 54828 | \$ 359,36 |
| 3414 | 3000 | 1843 | \$ 291,78 |
| 293 | 29595 | 23938 | \$ 317,18 |
| 856 | 20209 | 15105 | \$ 341,32 |
| 20511 | 171911 | 144742 | \$ 211,41 |
| 20545 | 160068 | 157444 | \$ 200,18 |
| 93904 | 160019 | 45566 | \$ 93,67 |
| 771 | 1005 | 807 | \$ 191,01 |
| 780 | 2436 | 1755 | \$ 196,67 |
| 28104 | 1935 | 1650 | \$ 184,96 |
| 31118 | 678 | 528 | \$ 196,53 |
| 31119 | 295 | 110 | \$ 172,55 |
| 31120 | 500 | 317 | \$ 146,49 |
| 31121 | 500 | 248 | \$ 136,71 |
| 31122 | 515 | 304 | \$ 216,45 |
| 2 | 1567 | 969 | \$ 189,98 |
| 3 | 1657 | 1573 | \$ 195,34 |
| 40201 | 2160 | 1652 | \$ 187,59 |
| 554 | 2561 | 1742 | \$ 180,51 |
| 555 | 1381 | 993 | \$ 191,45 |
| 556 | 1059 | 670 | \$ 178,24 |
| 557 | 300 | 146 | \$ 118,79 |
| 558 | 1008 | 633 | \$ 175,01 |
| 93435 | 2071 | 1505 | \$ 194,68 |
| 93436 | 1522 | 984 | \$ 191,34 |

Tabla 6.2: Política de Inventario para Insumos de Producción

Fuente: Elaboración Propia

6.2 Comparación situación actual con la propuesta

6.2.1 Niveles de inventario promedio

Una de las variables de preocupación para la empresa son los niveles de inventario promedio, por lo tanto se ha considerado esta variable para el análisis de la situación actual con la propuesta según la simulación de las políticas de inventario. Este análisis se hizo para materias primas (Gráfico 6.1 y Gráfico 6.2) como para insumos de producción (Gráfico 6.3 y Gráfico 6.4)

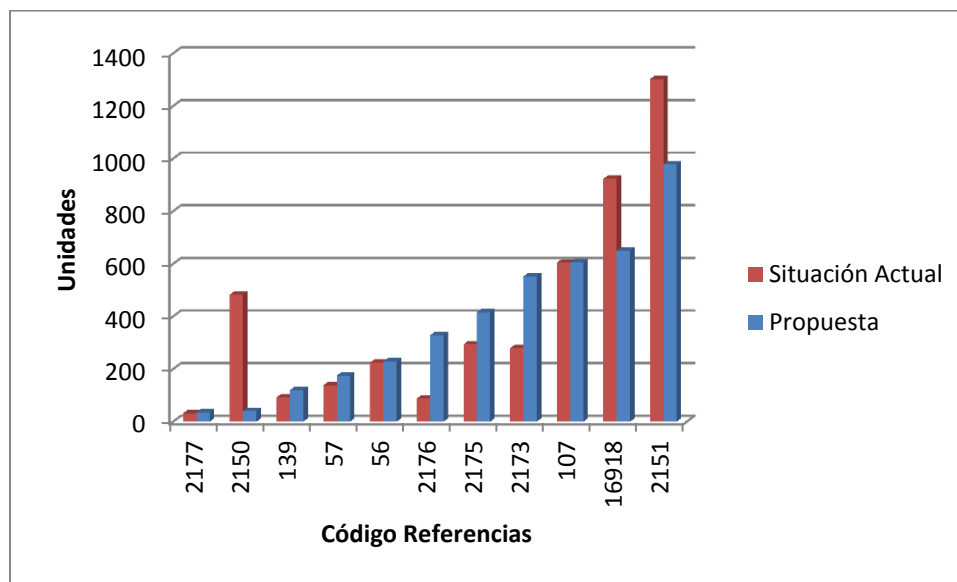


Gráfico 6.1: Nivel de inventario promedio de materia prima

Fuente: Elaboración Propia

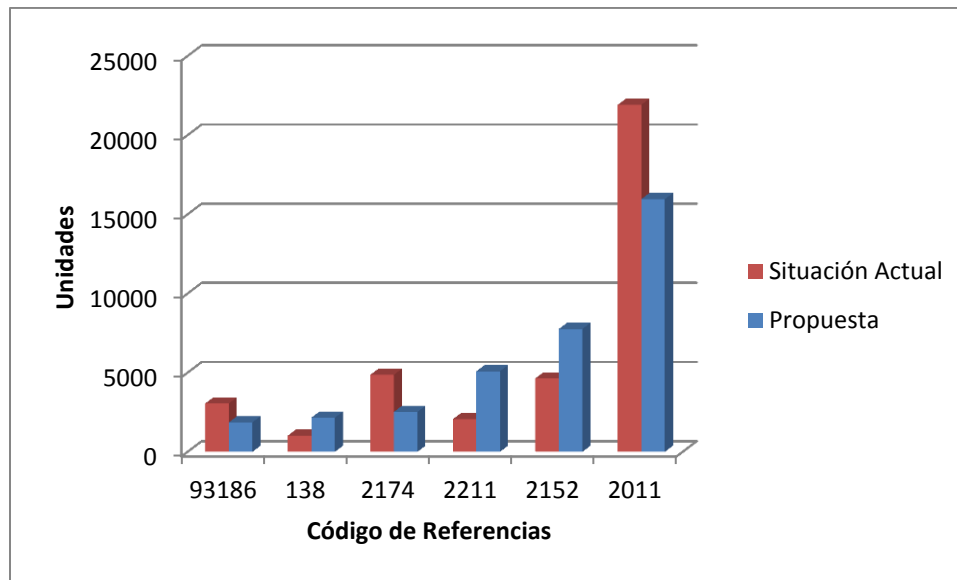


Gráfico 6.2: Nivel de inventario promedio de materia prima

Fuente: Elaboración Propia

El 63% de las materias primas analizadas en el estudio sugieren un nivel de inventario promedio más alto, esto es debido a que el costo de pedir es más elevado por el esfuerzo requerido al momento de recibir los pedidos por el volumen y peso de estas materias primas. El 37% restante reduce sus niveles de inventario promedio. Cabe recordar que el modelo tomó en consideración la vida útil de las materias primas, es decir, la cantidad Q a pedir se consumirá antes de que termine el período de vigencia de los perecibles.

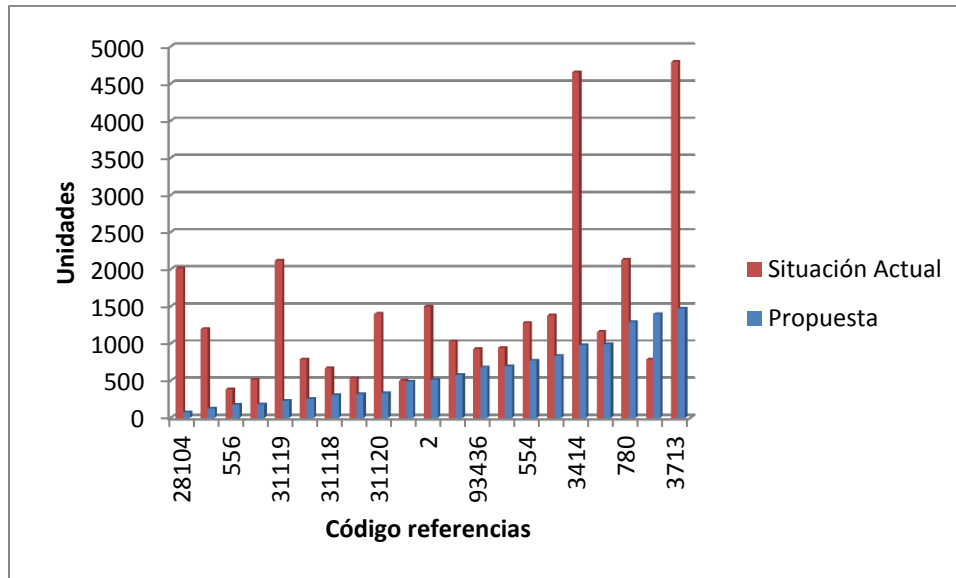


Gráfico 6.3: Nivel de inventario promedio de insumos de producción

Fuente: Elaboración Propia

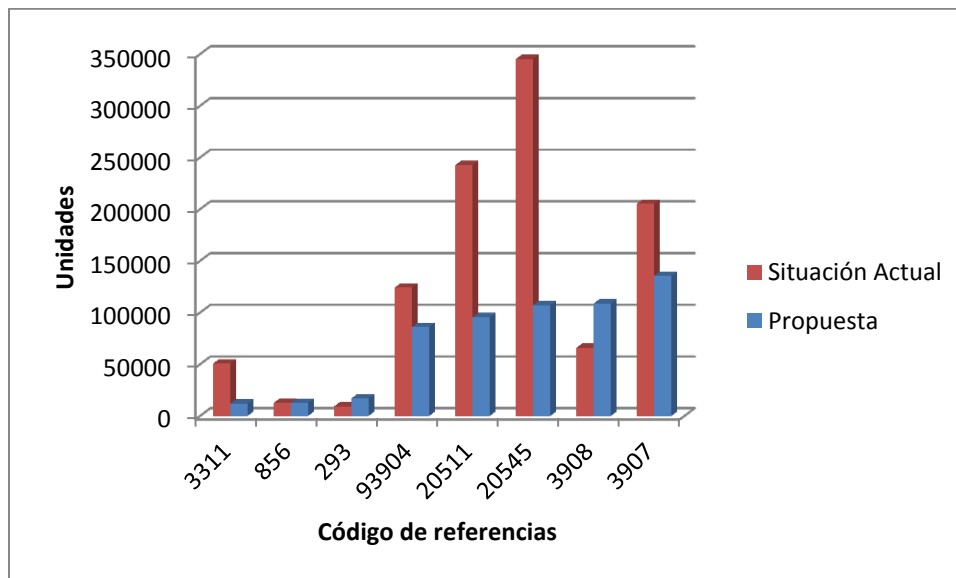


Gráfico 6.4: Nivel de inventario promedio de insumos de producción

Fuente: Elaboración Propia

Para los insumos de producción sí hay una reducción considerable, ya que el 90% de las referencias bajan sus niveles de stock promedio y apenas el 10% incrementa sus niveles de inventario.

6.2.2 Costos

Es importante no solo analizar los niveles físicos de inventario sino también el costo de inversión de los niveles de inventario donde se toma en cuenta el precio de cada ítem tanto para materias primas (Gráfico 6.5 y Gráfico 6.6) como para insumos de producción (Gráfico 6.7 y Gráfico 6.8).

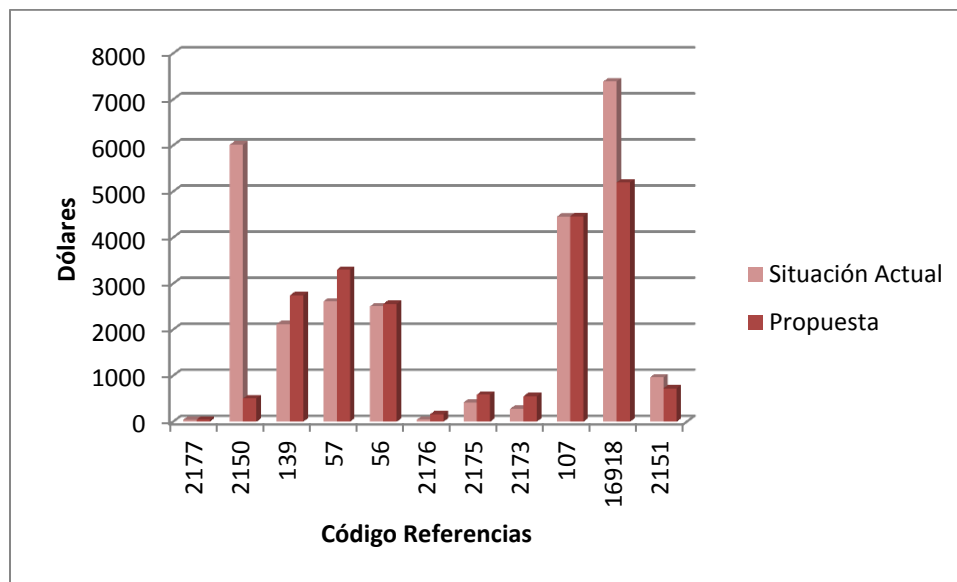


Gráfico 6.5: Costo de inversión en inventario promedio de Materia Prima

Fuente: Elaboración Propia

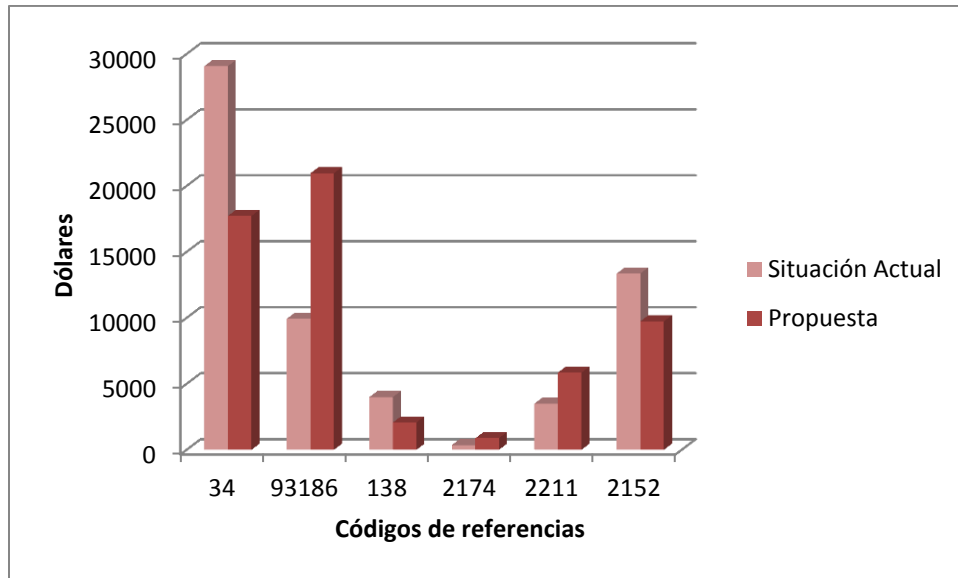


Gráfico 6.6: Costo de inversión en inventario promedio de Materia Prima

Fuente: Elaboración Propia

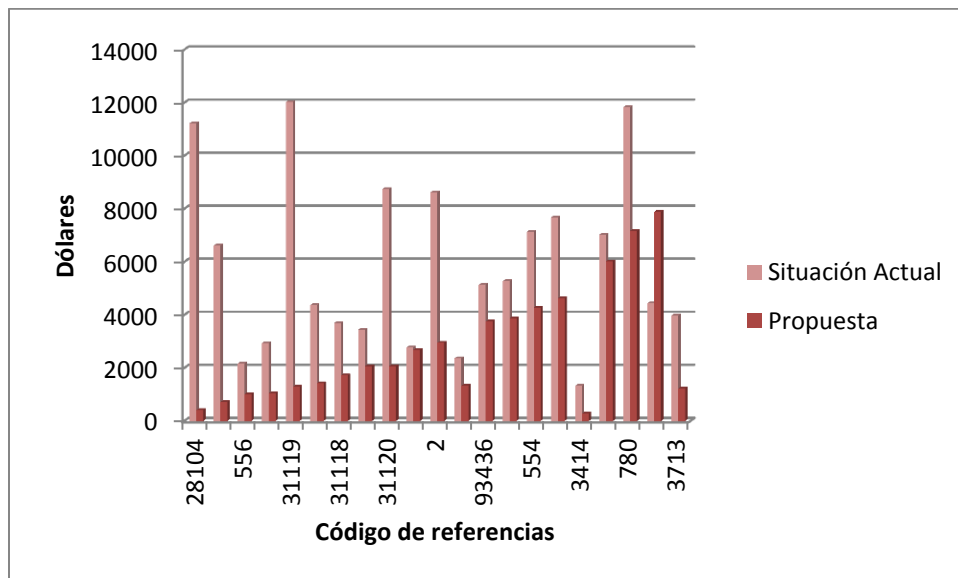


Gráfico 6.7: Costo de inversión de inventario promedio de insumos de producción

Fuente: Elaboración Propia

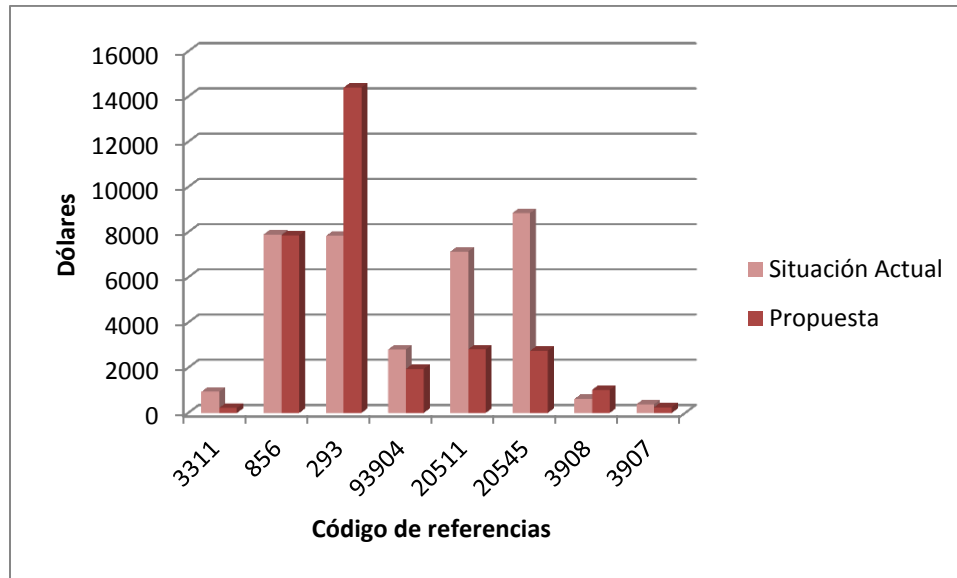


Gráfico 6.8: Costo de inversión promedio de insumos de producción

Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis global de dinero invertido en materias primas e insumos de producción tenemos la comparación entre el inventario promedio de los últimos cuatro meses y el inventario promedio que brinda el diseño de las políticas de inventario, los resultados del modelo proponen una reducción significativa de costos en un 30% en la inversión de stock promedio total (Gráfico 6.9).

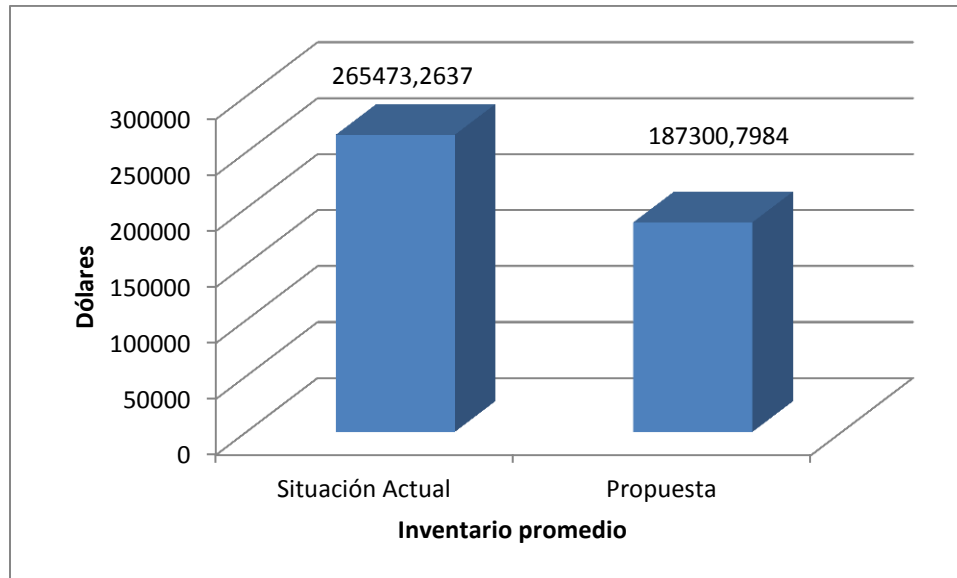


Gráfico 6.9: Comparación de costos entre la situación actual y la propuesta

Fuente: Elaboración Propia

6.3 Evaluación de la política de inventario

6.3.1 Optimización

Para la optimización se utilizó la metaheurística Búsqueda Tabú para poder realizar una búsqueda en el entorno que permita la reducción del costo total que contempla el costo de adquisición y el costo de almacenamiento. Con el propósito de analizar el comportamiento de la metaheurística, hemos tomado una referencia ejemplo (Anexo 4).

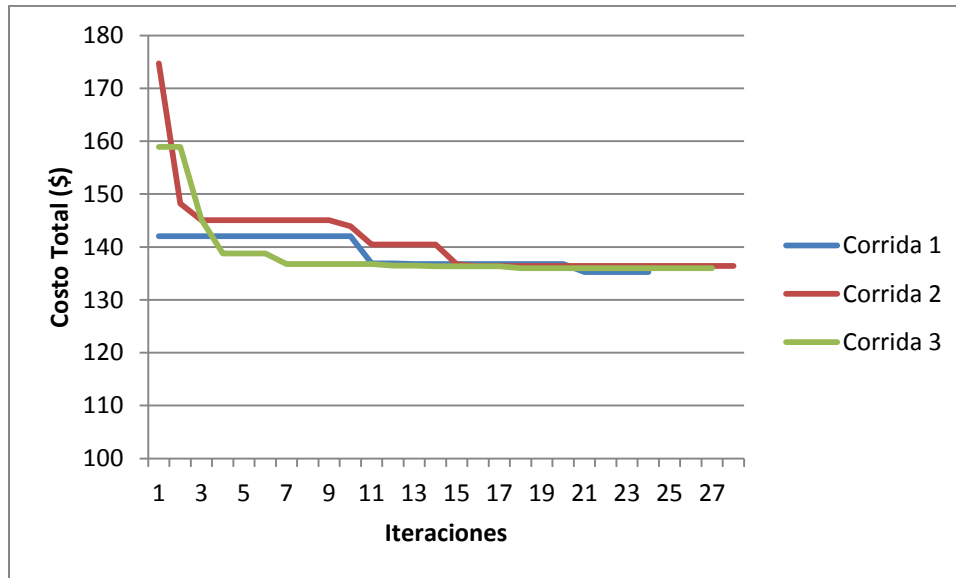


Gráfico 6.10 Búsqueda de la solución óptima

Fuente: Elaboración Propia

El Gráfico 6.10 muestra cómo a lo largo de las iteraciones en las distintas corridas la solución va mejorando, en este caso, los costos se reducen, y tiende a un costo mínimo aproximado de \$136,00 para el producto ejemplo.

6.3.2 Simulación

Uno de los propósitos de la simulación de políticas de inventario es poder evaluar su desempeño a través del tiempo. En los siguientes gráficos se puede visualizar cómo se comportan los niveles de inventario según la política óptima establecida. El horizonte de visualización es de un año, y los períodos de tiempo varían dependiendo del lead time si es semanal o mensual. Como ejemplo tenemos una referencia de materia prima con lead time semanal (Gráfico 6.11) con sus respectivos resultados (Tabla 6.3) y una referencia de insumos de producción con

lead time mensual (Gráfico 6.12) y sus resultados obtenidos por la simulación (Tabla 6.4).

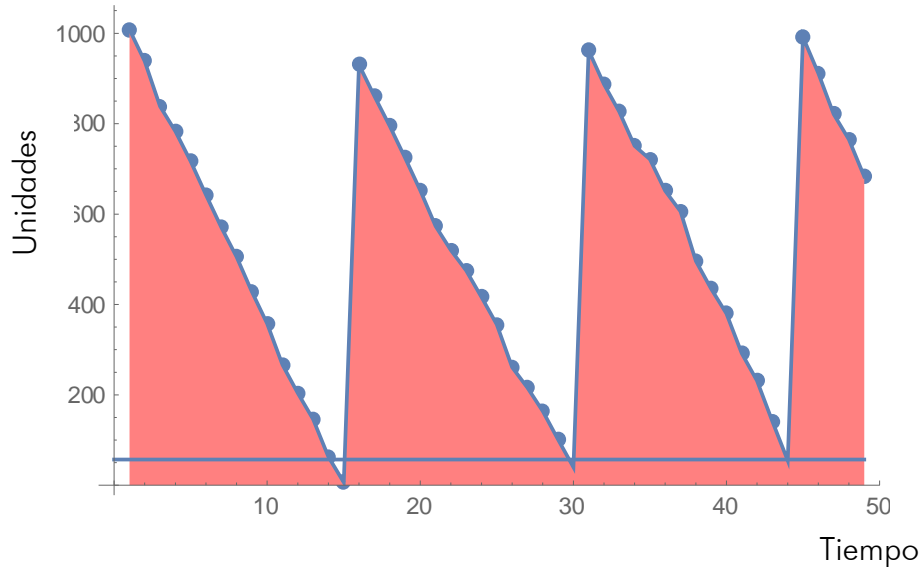


Gráfico 6.11: Política de Inventario para Materia Prima con lead time semanal

Fuente: Elaboración Propia

| | |
|--|-----------------|
| Q | 1008 Kg |
| R | 57 Kg |
| # Pallets promedio | 1 |
| Costo inventario promedio | \$500,40 |
| Costo anual de adquisición y almacenamiento | \$136,00 |

Tabla 6.3. Resultado variables de simulación para Materia Prima

Fuente: Elaboración Propia

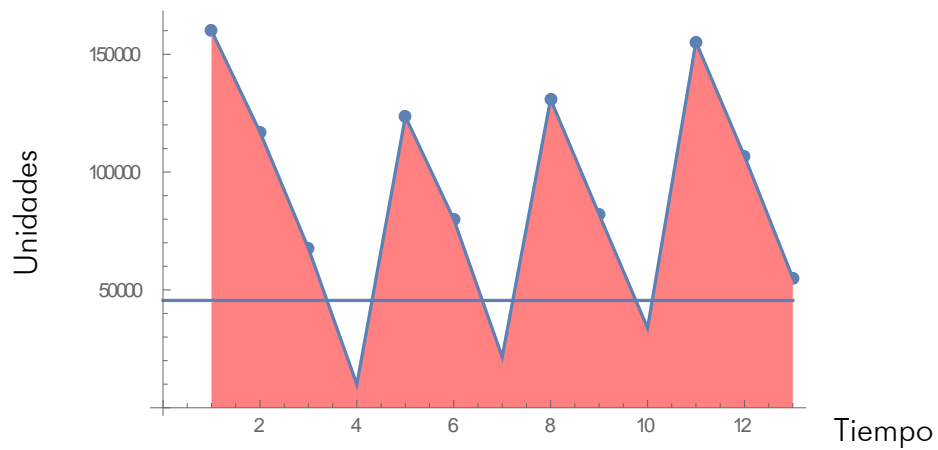


Gráfico 6.12: Política de inventario para Insumos de Producción con lead time mensual

Fuente: Elaboración Propia

| | |
|--|-------------------|
| Q | 160019 Un. |
| R | 45566 Kg |
| # Pallets promedio | 1 |
| Costo inventario promedio | \$2809,87 |
| Costo anual de adquisición y almacenamiento | \$93,67 |

Tabla 6.4 Resultado variables de simulación para Insumo de Producción

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

1. La clasificación ABC de los inventarios es un método importante para el control de inventarios, porque permite conocer en cuáles recursos concentrar los esfuerzos para obtener los resultados esperados. En este caso particular, es un indicador relevante para la gestión de abastecimiento de materias primas e insumos. Aplicando la ley de Pareto con el criterio que indica que a las referencias que constituyen el 80% del volumen de ventas se asigna clasificación A, 15% clasificación B y 5% clasificación tipo C para la empresa en estudio, teniendo como resultado que el inventario de materias primas e insumos está compuesto por 48,68% de referencias Tipo A, apenas el 7,89% son Tipo B y el 43,42% restante son tipo C.
2. El cálculo de los costos inherentes a adquirir y almacenar los inventarios es de utilidad para la empresa porque permite medir el costo de gestión de inventario. El costo de ordenar por producto se encuentra en un rango de \$10,50 a \$73 con una mediana de \$43, esto dependerá del costo hora-hombre, el personal requerido tanto para hacer el pedido como para recibirlo y el tiempo de orden y recepción. El costo de almacenar por Kg dependiendo del producto puede estar entre \$0,00012 y \$0,81 que depende de la inversión y la capacidad del almacén, además de la rotación del producto.

3. La propuesta de solución que consiste en establecer políticas de inventario (Q,R), es la más apropiada para la situación de la empresa porque ésta cumple los supuestos del modelo.

Primero, la demanda interna de las materias primas y los insumos de producción siguen una distribución probabilística según las pruebas de bondad de ajuste aplicadas que con probabilidad mayor a 0,15 acepta que la demanda es estocástica.

Segundo, cada aplicación se refiere a un solo producto, es decir, cada referencia tiene su cantidad a ordenar Q y su punto de reorden R.

Tercero, existe un tiempo de entrega fijo para cada referencia entre la colocación de la orden y la recepción del pedido, estos tiempos dependen del proveedor y están entre los 3 días a 130 días; por ello, en ciertas referencias con tiempos grandes de entrega, la demanda es incierta pero se la puede estimar con la distribución probabilística correspondiente.

Finalmente, se incurren en costos de preparación y almacenamiento ya calculados para cada referencia.

4. Las políticas de inventario proponen un incremento o disminución en los niveles de inventario físicos promedio en relación a la situación actual, en el análisis de costo total de inversión para el stock promedio, logra un ahorro de \$78172,47 anual que representa el 30% correspondiente a los artículos escogidos para el análisis.

Recomendaciones

1. Establecer protocolos y un proceso estandarizado para la implementación de las políticas de inventario en el abastecimiento de materias primas e insumos de producción para planificar, coordinar y controlar de forma eficiente todos estos inventarios en el primer eslabón de la cadena.
2. Aprovechar espacio en altura mediante inversión en estanterías y montacargas para un almacenamiento más apropiado de las referencias. Los bajos costos en almacenamiento se deben a la poca inversión en el área de almacén, que puede llevar a incumplir normas de seguridad como no respetar el área destinada exclusivamente a pasillo y área solo para almacenamiento de inventario.
3. Ubicar las referencias según la clasificación ABC en el almacén, realizada para lograr localización de estas referencias y transporte interno al área de producción más eficiente.
4. Recurrir a la inversión de tecnologías de información y tecnologías de apoyo a la logística como códigos de barra o identificación por radiofrecuencia(RFID), para un mejor control de inventarios debido a la alta rotación de materias primas e insumos de producción y así mantener un seguimiento continuo y transparencia en las operaciones.

Referencias Bibliográficas

- Adam, E., & Ebert, R. (1991). *Administración de la producción y las operaciones*. Mexico: Prentice Hall.
- Alie, S., Paul, S., Ahsan, K., & Azeem, A. (2011). *Forecasting of Optimum Raw Material Inventory Level*. Bangladesh University of Engineering and Technology.
- Arias, M., & Londoño, J. (2009). *Algoritmos genéticos: Una solución alternativa para optimizar el modelo de inventario(Q,r)*. Medellín.
- Ballou, R. (2004). *Logística. Administración de la Cadena de Suministro*. Mexico: Pearson Mexico.
- Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2005). *Administración de la Producción y las Operaciones*. México: Mc Graw-Hill Interamericana.
- Eltawil, A., & Elnagar, G. (2007). *Simulation Optimization of an (s,S) inventory control system with random demand sizes, demand arrivals and lead times*. Alexandria.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2006). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Johnson, F., Leender, M., & Flynn, A. (2012). *Administración de Compras y Abastecimientos*. México: Mc Graw Hill.
- López, R. M. (2011). *Diseño e implementación de un sistema de inventarios, aplicando simulación montecarlo, en una empresa de servicios petroleros*. Quito.
- Urrea, A., & Torres, J. (2003). *Optimización de un política de inventario por medio de búsqueda tabú*.

ANEXOS

Anexo 1 Clasificación ABC Productos Terminados

| CÓDIGO | FRECUENCIA RELATIVA | FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA | CLASIFICACIÓN ABC |
|--------|---------------------|-------------------------------|-------------------|
| 250001 | 0,15287962 | 15,29% | A |
| 249970 | 0,13147926 | 28,44% | A |
| 249964 | 0,09051846 | 37,49% | A |
| 250003 | 0,08994718 | 46,48% | A |
| 249971 | 0,07417048 | 53,90% | A |
| 249966 | 0,06528297 | 60,43% | A |
| 249996 | 0,05841453 | 66,27% | A |
| 250002 | 0,05226487 | 71,50% | A |
| 249997 | 0,04562433 | 76,06% | A |
| 249965 | 0,04551432 | 80,61% | A |
| 249998 | 0,04496341 | 85,11% | B |
| 249973 | 0,04280246 | 89,39% | B |
| 249967 | 0,01768315 | 91,15% | B |
| 249977 | 0,01696385 | 92,85% | B |
| 250025 | 0,0153685 | 94,39% | B |
| 249972 | 0,01461368 | 95,85% | C |
| 249976 | 0,0146089 | 97,31% | C |
| 250014 | 0,00783993 | 98,09% | C |
| 250015 | 0,00446525 | 98,54% | C |
| 250020 | 0,00410793 | 98,95% | C |
| 249994 | 0,00286868 | 99,24% | C |
| 250031 | 0,00238798 | 99,48% | C |
| 250033 | 0,00142352 | 99,62% | C |
| 250022 | 0,00123045 | 99,74% | C |
| 250034 | 0,00074473 | 99,82% | C |
| 250029 | 0,00039785 | 99,86% | C |
| 250049 | 0,00039079 | 99,90% | C |
| 250036 | 0,0002408 | 99,92% | C |
| 250037 | 0,00023287 | 99,94% | C |
| 250053 | 0,00014394 | 99,96% | C |
| 250035 | 0,00014053 | 99,97% | C |
| 250052 | 0,00011334 | 99,98% | C |
| 250050 | 0,00011254 | 99,99% | C |
| 250051 | 5,8917E-05 | 100,00% | C |

Anexo 2 Clasificación ABC materias primas

| CÓDIGO | CLASIFICACIÓN ABC |
|---------------|------------------------------|
| 2115 | A |
| 2177 | A |
| 57 | A |
| 56 | A |
| 93186 | A |
| 34 | A |
| 16918 | A |
| 2152 | A |
| 2176 | A |
| 20545 | A |
| 93904 | A |
| 20511 | A |
| 2173 | A |
| 3701 | A |
| 3713 | A |
| 3717 | A |
| 3715 | A |
| 21113 | A |
| 856 | A |
| 2174 | A |
| 2011 | A |
| 28104 | A |
| 771 | A |
| 40202 | A |
| 40203 | A |
| 2175 | A |
| 93436 | A |
| 93435 | A |
| 780 | A |
| 555 | A |
| 554 | A |
| 556 | A |
| 138 | A |
| 2061 | A |
| 11 | A |
| 1 | A |
| 3213 | A |
| 2211 | A |
| 3908 | A |
| 3907 | A |

| | |
|--------------|----------|
| 107 | B |
| 40201 | B |
| 93671 | B |
| 558 | B |
| 204 | B |
| 93646 | B |
| 2151 | C |
| 2131 | C |
| 2132 | C |
| 2133 | C |
| 93608 | C |
| 293 | C |
| 295 | C |
| 33101 | C |
| 33132 | C |
| 3414 | C |
| 33138 | C |
| 2172 | C |
| 93609 | C |
| 93610 | C |
| 30414 | C |
| 30415 | C |
| 557 | C |
| 30422 | C |
| 30425 | C |
| 31118 | C |
| 93674 | C |
| 93675 | C |
| 93673 | C |
| 93668 | C |
| 31122 | C |
| 93672 | C |
| 31121 | C |
| 31120 | C |
| 31119 | C |
| 139 | C |
| 96718 | C |
| 2144 | C |
| 2141 | C |
| 2150 | C |

Anexo 3 Resultados de prueba de bondad de ajuste

| CÓDIGO | MEDIA | DESVIACIÓN ESTÁNDAR | VALOR P |
|---------------|--------------|----------------------------|----------------|
| 2061 | 353402 | 33852 | 0,058 |
| 2115 | 56761 | 7412 | >0,15 |
| 2141 | 6,175 | 4,947 | 0,113 |
| 2144 | 7,065 | 5,22 | >0,15 |
| 2211 | 2237 | 360,1 | >0,15 |
| 3213 | 864475 | 278175 | >0,15 |
| 2131 | 1,895 | 0,669 | >0,15 |
| 2132 | 1,114 | 0,6629 | >0,15 |
| 2133 | 1,252 | 0,7193 | >0,15 |
| 2151 | 751,3 | 483,3 | 0,083 |
| 2152 | 9925 | 2604 | >0,15 |
| 2172 | 9,05 | 5,02 | >0,15 |
| 2173 | 256,9 | 66,09 | 0,137 |
| 2174 | 3444 | 854,7 | >0,15 |
| 2175 | 141,4 | 38,58 | >0,15 |
| 2176 | 111,3 | 27,38 | >0,15 |
| 2177 | 11,32 | 4,265 | >0,15 |
| 21113 | 22,71 | 6,089 | >0,15 |
| 2011 | 17792 | 3062 | >0,15 |
| 30419 | 114,4 | 53,24 | >0,15 |
| 30420 | 196,5 | 72,93 | >0,15 |
| 30424 | 44,97 | 21,71 | >0,15 |
| 771 | 337,1 | 46,66 | >0,15 |
| 780 | 827,5 | 136,3 | >0,15 |
| 28104 | 714,2 | 229 | >0,15 |
| 31118 | 238,6 | 58,24 | >0,15 |
| 31122 | 193,3 | 97,44 | >0,15 |
| 3311 | 79195 | 20479 | >0,15 |
| 3419 | 1878 | 1066 | >0,15 |
| 33131 | 1167 | 737,1 | >0,15 |
| 33132 | 5530 | 20005 | 0,117 |
| 33138 | 4454 | 1620 | >0,15 |
| 3713 | 1049 | 299,4 | >0,15 |
| 3715 | 360,2 | 119,2 | >0,15 |
| 3701 | 19,45 | 4,73 | >0,15 |
| 0 | 118,1 | 19,98 | >0,15 |
| 3907 | 328908 | 80076 | >0,15 |
| 3908 | 71322 | 12889 | >0,15 |
| 2 | 556,1 | 174,9 | >0,15 |
| 3 | 589,8 | 131,2 | >0,15 |
| 40201 | 678,7 | 235,9 | >0,15 |
| 1 | 8174 | 1273 | >0,15 |
| 56 | 67,07 | 17,15 | >0,15 |
| 57 | 34,87 | 8,965 | >0,15 |

| | | | |
|--------------|--------|-------|-------|
| 107 | 184,9 | 43,96 | >0,15 |
| 139 | 28 | 16,93 | >0,15 |
| 93186 | 943,8 | 129,4 | 0,734 |
| 16918 | 456,1 | 103,7 | 0,818 |
| 204 | 151,11 | 27,28 | >0,15 |
| 554 | 853,9 | 174,8 | >0,15 |
| 555 | 459,9 | 70,35 | >0,15 |
| 556 | 358,5 | 79,29 | >0,15 |
| 557 | 48,04 | 29,35 | >0,15 |
| 558 | 329,5 | 80,74 | >0,15 |
| 93435 | 697,5 | 218,6 | >0,15 |
| 93436 | 518,6 | 118 | >0,15 |
| 93609 | 105,2 | 51,21 | >0,15 |
| 93610 | 94,85 | 23,58 | >0,15 |
| 93646 | 140,2 | 40,23 | >0,15 |
| 93668 | 124,2 | 48,46 | >0,15 |
| 93669 | 26,84 | 15,27 | >0,15 |
| 93671 | 413,7 | 126,8 | >0,15 |
| 20511 | 138411 | 28922 | >0,15 |
| 20545 | 113211 | 34152 | 0,112 |
| 93904 | 46173 | 21357 | 0,076 |
| 856 | 26170 | 4496 | >0,15 |

Anexo 4 Ejecución de la metaheurística Búsqueda Tabú

1. Resultados primera ejecución del modelo

| | Lista Tabú | | | | Óptimo | | | | | |
|--------------|------------|----|---------|----|--------|----|---------|------|----|---------|
| | Q | R | CT(\$) | n | Q | R | CT(\$) | Q | R | CT(\$) |
| Iteración 1 | 781 | 48 | 142 | | | | | 781 | 48 | 142 |
| Iteración 2 | 704 | 70 | 148,6 | 1 | 704 | 70 | 148,6 | 781 | 48 | 142 |
| Iteración 3 | 622 | 83 | 158,38 | 2 | 622 | 83 | 158,38 | 781 | 48 | 142 |
| Iteración 4 | 641 | 82 | 157,51 | 3 | 641 | 82 | 157,51 | 781 | 48 | 142 |
| Iteración 5 | 563 | 81 | 164,52 | 4 | 563 | 81 | 164,52 | 781 | 48 | 142 |
| Iteración 6 | 690 | 78 | 147,52 | 5 | 690 | 78 | 147,52 | 781 | 48 | 142 |
| Iteración 7 | 721 | 87 | 148,52 | 6 | 721 | 87 | 148,52 | 781 | 48 | 142 |
| Iteración 8 | 578 | 85 | 164,57 | 7 | 578 | 85 | 164,57 | 781 | 48 | 142 |
| Iteración 9 | 783 | 67 | 142,405 | 8 | 783 | 67 | 142,405 | 781 | 48 | 142 |
| Iteración 10 | 669 | 86 | 150,108 | 9 | 669 | 86 | 150,108 | 781 | 48 | 142 |
| Iteración 11 | 914 | 64 | 136,891 | | | | | 914 | 64 | 136,891 |
| Iteración 12 | 851 | 75 | 137,699 | 10 | 851 | 75 | 137,699 | 914 | 64 | 136,891 |
| Iteración 13 | 949 | 65 | 136,775 | | | | | 949 | 65 | 136,775 |
| Iteración 14 | 723 | 73 | 147,132 | 11 | 723 | 73 | 147,132 | 949 | 65 | 136,775 |
| Iteración 15 | 974 | 79 | 136,85 | 12 | 974 | 79 | 136,85 | 949 | 65 | 136,775 |
| Iteración 16 | 832 | 84 | 140,186 | 13 | 832 | 84 | 140,186 | 949 | 65 | 136,775 |
| Iteración 17 | 725 | 76 | 147,541 | 14 | 725 | 76 | 147,541 | 949 | 65 | 136,775 |
| Iteración 18 | 772 | 51 | 144,059 | 15 | 772 | 51 | 144,059 | 949 | 65 | 136,775 |
| Iteración 19 | 944 | 89 | 138,159 | 16 | 944 | 89 | 138,159 | 949 | 65 | 136,775 |
| Iteración 20 | 950 | 63 | 136,971 | 17 | 950 | 63 | 136,971 | 949 | 65 | 136,775 |
| Iteración 21 | 1004 | 49 | 135,23 | | | | | 1004 | 49 | 135,23 |
| Iteración 22 | 823 | 80 | 138,87 | 18 | 823 | 80 | 138,87 | 1004 | 49 | 135,23 |
| Iteración 23 | 743 | 53 | 145,717 | 19 | 743 | 53 | 145,717 | 1004 | 49 | 135,23 |
| Iteración 24 | 937 | 77 | 139,124 | 20 | 937 | 77 | 139,124 | 1004 | 49 | 135,23 |

2. Resultados segunda ejecución del modelo

| | Lista Tabú | | | | | | | Óptimo | | |
|--------------|------------|-----|---------|----|-----|----|---------|--------|-----|---------|
| | Q | R | CT(\$) | n | Q | R | CT(\$) | Q | R | CT(\$) |
| Iteración 1 | 509 | 61 | 174,68 | | | | | 509 | 61 | 174,68 |
| Iteración 2 | 755 | 86 | 148,19 | | | | | 755 | 86 | 148,19 |
| Iteración 3 | 758 | 65 | 145,027 | | | | | 758 | 65 | 145,027 |
| Iteración 4 | 620 | 82 | 157,97 | 1 | 620 | 82 | 157,97 | 758 | 65 | 145,027 |
| Iteración 5 | 646 | 68 | 153,71 | 2 | 646 | 68 | 153,71 | 758 | 65 | 145,027 |
| Iteración 6 | 819 | 60 | 137,594 | 3 | 819 | 60 | 137,594 | 758 | 65 | 145,027 |
| Iteración 7 | 787 | 78 | 143,21 | 4 | 787 | 78 | 143,21 | 758 | 65 | 145,027 |
| Iteración 8 | 618 | 76 | 157,77 | 5 | 618 | 76 | 157,77 | 758 | 65 | 145,027 |
| Iteración 9 | 689 | 64 | 147,32 | 6 | 689 | 64 | 147,32 | 758 | 65 | 145,027 |
| Iteración 10 | 840 | 107 | 143,9 | | | | | 840 | 107 | 143,9 |
| Iteración 11 | 909 | 91 | 140,45 | | | | | 909 | 91 | 140,45 |
| Iteración 12 | 619 | 62 | 157,77 | 7 | 619 | 62 | 157,77 | 909 | 91 | 140,45 |
| Iteración 13 | 645 | 71 | 155,12 | 8 | 645 | 71 | 155,12 | 909 | 91 | 140,45 |
| Iteración 14 | 730 | 87 | 148,57 | 9 | 730 | 87 | 148,57 | 909 | 91 | 140,45 |
| Iteración 15 | 846 | 84 | 136,68 | | | | | 846 | 84 | 136,68 |
| Iteración 16 | 947 | 75 | 136,38 | | | | | 947 | 75 | 136,38 |
| Iteración 17 | 754 | 66 | 146,097 | 10 | 754 | 66 | 146,097 | 947 | 75 | 136,38 |
| Iteración 18 | 798 | 92 | 143,47 | 11 | 798 | 92 | 143,47 | 947 | 75 | 136,38 |
| Iteración 19 | 718 | 90 | 149,7 | 12 | 718 | 90 | 149,7 | 947 | 75 | 136,38 |
| Iteración 20 | 898 | 73 | 138,25 | 13 | 898 | 73 | 138,25 | 947 | 75 | 136,38 |
| Iteración 21 | 788 | 74 | 143,421 | 14 | 788 | 74 | 143,421 | 947 | 75 | 136,38 |
| Iteración 22 | 807 | 22 | 137,259 | 15 | 807 | 22 | 137,259 | 947 | 75 | 136,38 |
| Iteración 23 | 818 | 54 | 137,397 | 16 | 818 | 54 | 137,397 | 947 | 75 | 136,38 |
| Iteración 24 | 871 | 84 | 139,124 | 17 | 871 | 84 | 139,124 | 947 | 75 | 136,38 |
| Iteración 25 | 877 | 99 | 140,2 | 18 | 877 | 99 | 140,2 | 947 | 75 | 136,38 |
| Iteración 26 | 821 | 57 | 137,99 | 19 | 821 | 57 | 137,99 | 947 | 75 | 136,38 |
| Iteración 27 | 786 | 70 | 142,2 | 20 | 786 | 70 | 142,2 | 947 | 75 | 136,38 |

3. Resultados Tercera ejecución del modelo

| | Lista Tabú | | | | Óptimo | | | | | |
|--------------|------------|-----|---------|----|--------|-----|---------|------|----|---------|
| | Q | R | CT(\$) | n | Q | R | CT(\$) | Q | R | CT(\$) |
| Iteración 1 | 594 | 64 | 158,91 | | | | | 594 | 64 | 158,91 |
| Iteración 2 | 579 | 78 | 164,776 | 1 | 579 | 78 | 164,776 | | | |
| Iteración 3 | 768 | 54 | 145,166 | | | | | 768 | 54 | 145,166 |
| Iteración 4 | 825 | 81 | 138,78 | | | | | 825 | 81 | 138,78 |
| Iteración 5 | 929 | 21 | 139,864 | 2 | 929 | 21 | 139,864 | 825 | 81 | 138,78 |
| Iteración 6 | 627 | 94 | 157,83 | 3 | 627 | 94 | 157,83 | 825 | 81 | 138,78 |
| Iteración 7 | 890 | 36 | 136,74 | | | | | 890 | 36 | 136,74 |
| Iteración 8 | 866 | 86 | 140,66 | 4 | 866 | 86 | 140,66 | 890 | 36 | 136,74 |
| Iteración 9 | 690 | 69 | 147,52 | 5 | 690 | 69 | 147,52 | 890 | 36 | 136,74 |
| Iteración 10 | 687 | 92 | 150,35 | 6 | 687 | 92 | 150,35 | 890 | 36 | 136,74 |
| Iteración 11 | 806 | 36 | 137,063 | 7 | 806 | 36 | 137,063 | 890 | 36 | 136,74 |
| Iteración 12 | 972 | 41 | 136,46 | | | | | 972 | 41 | 136,46 |
| Iteración 13 | 814 | 65 | 138,644 | 8 | 814 | 65 | 138,644 | 972 | 41 | 136,46 |
| Iteración 14 | 1023 | 73 | 136,349 | | | | | 1023 | 73 | 136,349 |
| Iteración 15 | 838 | 108 | 143,492 | 9 | 838 | 108 | 143,492 | 1023 | 73 | 136,349 |
| Iteración 16 | 831 | 82 | 139,98 | 10 | 831 | 82 | 139,98 | 1023 | 73 | 136,349 |
| Iteración 17 | 775 | 92 | 146,609 | 11 | 775 | 92 | 146,609 | 1023 | 73 | 136,349 |
| Iteración 18 | 1008 | 57 | 136 | | | | | 1008 | 57 | 136 |
| Iteración 19 | 1038 | 87 | 136,65 | 12 | 1038 | 87 | 136,65 | 1008 | 57 | 136 |
| Iteración 20 | 880 | 63 | 136,915 | 13 | 880 | 63 | 136,915 | 1008 | 57 | 136 |
| Iteración 21 | 638 | 104 | 156,9 | 14 | 638 | 104 | 156,9 | 1008 | 57 | 136 |
| Iteración 22 | 652 | 70 | 151,699 | 15 | 652 | 70 | 151,699 | 1008 | 57 | 136 |
| Iteración 23 | 720 | 94 | 150,12 | 16 | 720 | 94 | 150,12 | 1008 | 57 | 136 |
| Iteración 24 | 734 | 88 | 149,12 | 17 | 734 | 88 | 149,12 | 1008 | 57 | 136 |
| Iteración 25 | 673 | 71 | 149,32 | 18 | 673 | 71 | 149,32 | 1008 | 57 | 136 |
| Iteración 26 | 661 | 41 | 148,52 | 19 | 661 | 41 | 148,52 | 1008 | 57 | 136 |
| Iteración 27 | 850 | 89 | 137,47 | 20 | 850 | 89 | 137,47 | 1008 | 57 | 136 |