

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Diseño de una política óptima de inventario para una bodega de repuestos de una empresa procesadora de alimentos de la ciudad de
Machala

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Logística y Transporte

Presentado por:

Carlos Paúl González Bustamante

Elías Efraín Zaruma Buscán

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Carlos Paúl González Bustamante, Elías Efraín Zaruma Buscán* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

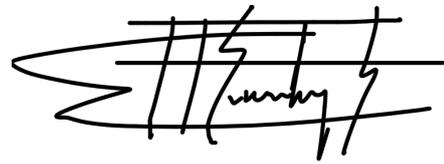


Carlos Paúl González Bustamante



Elías Efraín Zaruma Buscán

EVALUADORES



Mgtr. Carlos Ronquillo F.

PROFESOR DE LA MATERIA

PhD. Fernando Sandoya S.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El proyecto actual se realiza en una empresa que procesa alimentos que ha modernizado sus procesos de producción. Con el cambio de maquinarias es necesaria una gestión eficiente del inventario para los repuestos. Se elaboró una política de inventario empleando modelos de optimización matemática con el fin de minimizar los costos. Para esto se definió el stock a ser analizado mediante una depuración de la base de datos realizando un análisis ABC y determinando un total 2,000 sku válidos para el análisis de las 12,000 iniciales. Para los pronósticos se realizó un análisis bajo un esquema de planificación agregada, tomando 5 familias lo cual nos permitió determinar buenos modelos matemáticos para la gestión óptima del inventario aplicable en la empresa, que fueron los modelos Revisión Continua y Silver Meal. Se hizo una comparación de costos de los modelos propuestos y la situación actual evidenciando un ahorro al aplicar uno de los modelos recomendados. En conclusión, utilizando el método Revisión Continua por familia se observó un incremento de 5%, y bajo el esquema de planificación Silver Meal se pudo ver un ahorro del 33% en comparación a la situación actual es decir se redujo \$68 mil dólares de los costos totales. Además, se desarrolló un entregable en C# que grafica el comportamiento y simula los costos de las políticas mencionadas. Se recomienda por el gran número de sku que se maneja una planificación agregada y un reajuste semestralmente de los pronósticos para mejorar la confiabilidad debido a la variabilidad de la demanda.

Palabras clave: Clasificación ABC, abastecimiento, Silver Meal, inventario.

ABSTRACT

The current project is carried out in a company that processes food that has modernized its production processes. With the change of machinery, efficient inventory management for spare parts is necessary. An inventory policy was developed using mathematical optimization models to minimize cost. For this, the stock to be analyzed was defined by filtering the database performing an ABC analysis and determining a total of 2000 SKUs valid for the analysis of the initial 12,000. For forecasts, an analysis was performed under an aggregate planning scheme Taking 5 families which allowed us to determine good mathematical models for the optimal inventory management applicable in the company which were the Continuous Review and Silver Meal models. A comparison of costs of the proposed models and the current situation was made, showing savings when applying one of the recommended models. In conclusion, using the Continuous Review method per family an increase of 5% was observed and under the Silver Meal planning scheme it was possible to see a saving of 33% compared to the current situation, that is \$68 thousand dollars was reduced of total costs. In addition, a program was developed in C# that graphs the behavior and simulates the costs of the policies. It is recommended by the large number of sku that an aggregate planning and a semi-annual readjustment of the forecasts is handled to improve reliability due to demand variability.

Keywords: ABC classification, sourcing, Silver Meal, inventory.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
CAPÍTULO 1.....	9
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Descripción del problema	10
1.2 Justificación del problema	11
1.3 Objetivos.....	13
1.3.1 Objetivo General	13
1.3.2 Objetivos Específicos.....	13
1.4 Marco teórico.....	13
1.4.1 Revisión de Literatura	13
1.4.2 Marco conceptual.....	18
CAPÍTULO 2.....	29
2. METODOLOGÍA	29
2.1 Técnicas de investigación.....	29
2.1.1 Levantamiento de información	29
2.1.2 Análisis de la información levantada: Situación actual.....	30
2.2 Recopilación de los datos.....	31
2.3 Descripción de los modelos.....	32
2.4 Uso de software.....	36
2.5 Consideraciones legales y éticas	37

2.6	Fases del proyecto	38
2.7	Cronograma de trabajo	39
CAPÍTULO 3.....		41
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	41
3.1	Clasificación ABC de los repuestos	41
3.2	Cálculo de Pronósticos	42
3.2.1	Oring	43
3.2.2	Cables.....	45
3.2.3	Teflón	47
3.2.4	Terminales	49
3.2.5	Aceites	51
3.3	Modelo de Revisión Continua.....	53
3.4	Modelo Silver Meal	54
3.5	Comparativa de Costos	56
CAPÍTULO 4.....		59
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
4.1	Conclusiones	59
4.2	Recomendaciones	59
BIBLIOGRAFIA.....		60
ANEXOS.....		63

ABREVIATURAS

ACF	Función de Autocorrelación
ADI	Información Anticipada sobre La Demanda
ARIMA	Modelo Autorregresivo Integrado de Media Móvil
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PACF	Función de Autocorrelación Parcial
PHM	Pronósticos y Monitoreo de Salud
RC	Revisión Continua
RUL	Vida Útil Restante
SKU	Stock-Keeping Unit (Unidad de Mantenimiento de Stock)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Cadena logística de la empresa	10
Figura 1.2 Proceso de mantenimiento	12
Figura 1.3 Inventario.....	18
Figura 1.4 Pronóstico de la demanda.....	23
Figura 1.5 Análisis ABC.....	25
Figura 2.1 Clasificación ABC	31
Figura 2.2 Modelo de Revisión Continua.....	33
Figura 2.3 Plan de trabajo	40
Figura 3.1 ACF y PACF de la familia ORING	43
Figura 3.2 Aplicación de la función auto.arima() en la familia ORING	43
Figura 3.3 Pronostico de la familia ORING.....	44
Figura 3.4 ACF y PACF de la familia CABLES.....	45
Figura 3.5 Aplicación de la función auto.arima() en la familia CABLES	45
Figura 3.6 Pronostico de la familia CABLES	46
Figura 3.7 ACF y PACF de la familia TEFLON.....	47
Figura 3.8 Aplicación de la función auto.arima() en la familia TEFLON	47
Figura 3.9 Pronostico de la familia TEFLON	48
Figura 3.10 ACF y PACF de la familia TERMINALES	49
Figura 3.11 Aplicación de la función auto.arima() en la familia TERMINALES.....	49
Figura 3.12 Pronostico de la familia TERMINALES.....	50
Figura 3.13 ACF y PACF de la familia ACEITES.....	51
Figura 3.14 Aplicación de la función auto.arima() en la familia ACEITES	51
Figura 3.15 Pronostico de la familia ACEITES	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Factor de seguridad de acuerdo con el nivel de servicio deseado	34
Tabla 2.2 Nivel máximo y mínimo para el modelo de punto de reorden	35
Tabla 2.3 Fases del proyecto	38
Tabla 2.4 Cronograma de tareas a realizar	39
Tabla 3.1 Clasificación ABC	41
Tabla 3.2 Valores pronosticados del año 2023 para la familia ORING.....	44
Tabla 3.3 Valores pronosticados del año 2023 para la familia CABLES	46
Tabla 3.4 Valores pronosticados del año 2023 para la familia TEFLON	48
Tabla 3.5 Valores pronosticados del año 2023 para la familia TERMINALES	50
Tabla 3.6 Valores pronosticados del año 2023 para la familia ACEITES	52
Tabla 3.7 Cantidad a pedir del modelo de RC.....	53
Tabla 3.8 Cantidad a pedir mediante el modelo de RC según el porcentaje de participación de la familia ACEITES	54
Tabla 3.9 Planificación agregada para la familia ORING	55
Tabla 3.10 Planificación agregada para la familia CABLES	55
Tabla 3.11 Planificación agregada para la familia TEFLON	55
Tabla 3.12 Planificación agregada para la familia TERMINALES	55
Tabla 3.13 Planificación agregada para la familia ACEITES	55
Tabla 3.14 Cantidad a pedir mediante el algoritmo Silver Meal según el porcentaje de participación de la familia ACEITES	56
Tabla 3.15 Costos asociados aplicando el modelo de RC	57
Tabla 3.16 Costos asociados aplicando el algoritmo Silver Meal	57
Tabla 3.17 Costos asociados por método empírico.....	58

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La empresa en estudio tiene como actividad principal la fabricación de compotas, mermeladas, jaleas, purés y otras confituras de frutas o frutos secos, inicio sus actividades en el país en 1998 en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro. La empresa está considerada como uno de los principales proveedores de ingredientes de la más alta calidad para la industria alimenticia en los continentes de América, Europa y Asia.

Entre sus servicios se ofrece una trazabilidad total de su producción debido a este eficiente sistema de trazabilidad han obtenido varias certificaciones internacionales como productores de ingredientes orgánicos.

Desde el año 2013 paso a formar parte de una subdivisión de un grupo alemán, proveedor de fragancias, sabores, alimentos, nutrición e ingredientes cosméticos. El grupo cuenta con más de 100 ubicaciones en seis continentes y tiene como principales compradores fabricantes de perfumes, cosméticos, alimentos y bebidas, fabricantes de productos farmacéuticos, productores de suplementos nutricionales y alimentos para mascotas.

Actualmente, se ha visto en la necesidad de actualizar sus procesos productivos, ya que su enfoque está en el cumplimiento ágil y eficiente de las necesidades de los clientes. Considerando la atención al cliente como una de sus prioridades como empresa.

En todo tipo de empresa: Industrial, comercial o de servicios, una buena parte de sus actividades operativas tienen su base en el inventario. Comprendiendo como inventario el conjunto de bienes, materia prima, suministros, repuestos, y todo tipo de artículos que se requieren para la actividad cotidiana de las empresas.

Gestionar eficientemente el inventario significa asegurar la disponibilidad de estas existencias en el momento, la calidad y la cantidad necesarias, y todo esto al costo mínimo. Esta importancia del inventario cobra mayor vigencia en una época en la que las empresas quieren introducirse en la transformación digital, pues en esta el uso eficiente de los recursos se vuelve una tarea prioritaria.

En particular los inventarios de repuestos adquieren una dimensión especial, pues sin una gestión óptima de su inventario se puede interrumpir el proceso productivo de la línea de producción como se observa en la Figura 1.1

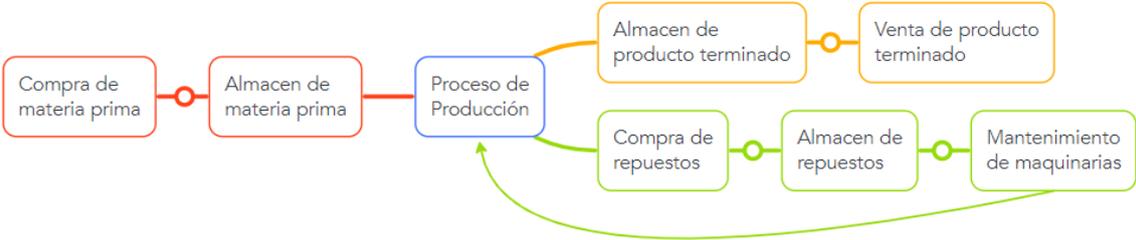


Figura 1.1 Cadena logística de la empresa
[Elaboración propia]

1.1 Descripción del problema

El problema consiste en que actualmente la empresa bajo análisis no tiene una gestión eficiente de la bodega de repuestos, que puede ser mejorada por medio de las técnicas que se tratan en esta investigación. Esto se debe a que actualmente la bodega de repuestos no se ha depurado en mucho tiempo y con la modernización de los procesos en la empresa se deben realizar ajustes y reclasificar los artículos obsoletos, caducos y discontinuados que ocupan espacio y además representan un capital invertido en existencias de la empresa.

Una nueva política más eficiente de la gestión del inventario minimizará los costos asociados a su manejo, por lo que se espera mejorar el almacenaje y generar un proceso de control de repuestos, que mejoren la funcionalidad de la bodega, disminuyan costos fijos, operativos, de almacenamiento y tiempos de respuesta y reposición del inventario.

Políticas ineficientes de la gestión de abastecimiento son comunes en muchas empresas de los sectores productivos, por lo tanto, es una problemática que puede afectar a varias empresas o unidades de negocios al tener materiales obsoletos o materiales que son de baja rotación.

1.2 Justificación del problema

En general las industrias no prestan suficiente atención al inventario de repuestos para respaldar la disponibilidad y exigencia de los deterioros o el mantenimiento planificado. Esto puede deberse a la falta de tiempo o conocimiento sobre cómo implementar una organización del inventario de repuestos.

La carencia de repuestos durante una avería puede generar problemas y altos costos para las empresas. Tener acceso a las piezas correctas durante las averías o el mantenimiento programado es esencial para asegurar un tiempo de inercia limitada y disminuir las pérdidas de producción.

El mantenimiento implica el consumo de materiales. Las fallas a menudo conducen a problemas graves si no se dispone de las piezas de repuesto necesarias. Sin repuestos existe el riesgo de aumentar en demasía el tiempo de inactividad de las maquinas, pero a su vez, la acumulación de repuestos en exceso, suele ser un gran gasto en el capital de las empresas.

En particular la empresa sujeta a estudio no cuenta actualmente con una política de inventario para los repuestos de la maquinaria, tampoco se tiene un orden en la bodega, lo cual impide una buena planificación para el abastecimiento de estos productos. Además, no se ha hecho un estudio adecuado para la planificación y abastecimiento de repuestos.

La empresa adquirió nueva maquinaria para la producción, por lo tanto, se han encontrado con la necesidad de mejorar el espacio en los almacenes y adquirir de manera competente los repuestos. Sin olvidarse del reciclaje de repuestos como la correcta gestión en el desecho de los repuestos obsoletos o caducos.

Es por lo que se vuelve importante para la empresa contar con una nueva política de inventario, basada en un proceso bien definido de base científica, que gestione óptimamente y de manera automatizada las existencias de repuestos. Evitando la pérdida de productos, sobre stock, quiebres del stock, disminuyendo el tiempo en la atención de estos requerimientos, ayudando a tener un mayor control en estas bodegas y disminuyendo los costos de almacenamiento y un incremento en el nivel de servicio a los clientes como se ve el proceso de materia prima en la Figura 1.2.

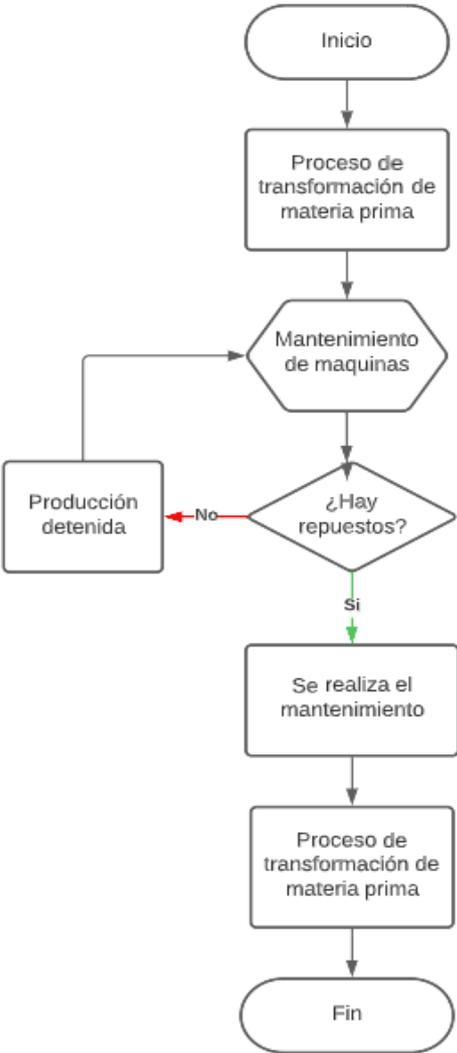


Figura 1.2 Proceso de mantenimiento
[Elaboración propia]

1.3 Objetivos

Para declarar la finalidad del presente proyecto y definir lo que se desea alcanzar, se han fijado los siguientes objetivos:

1.3.1 Objetivo General

Elaborar una política para la gestión óptima de repuestos mediante el empleo de modelos matemáticos de optimización de inventario con el fin de minimizar los costos asociados a su gestión.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir el stock a ser analizado mediante la depuración de la base de datos.
- Determinar el mejor modelo matemático para la gestión óptima del inventario aplicable en las bodegas de la empresa.
- Comparar los costos asociados a la gestión del inventario, entre el modelo propuesto y la situación actual.
- Diseñar un aplicativo del modelo seleccionado simulando el funcionamiento de la política propuesta.

1.4 Marco teórico

En esta sección se revisan conceptos involucrados en el diseño de una política óptima de inventario. Para ello se realizó una revisión bibliográfica y del estado del arte, incluyendo trabajos e investigaciones previas relacionadas con el tema de análisis.

1.4.1 Revisión de Literatura

Durante el desarrollo de este proyecto se han revisado varios artículos científicos, los cuales sirven de apoyo y guía en el proceso de una política óptima de inventario.

Pronosticar la demanda es indispensable para la generar una política óptima de inventario en especial en productos que sirven como repuestos porque su demanda suele ser estocástica ya que dependen mucho de fallas en las maquinas o bienes, aunque también podemos tener información anticipada sobre la demanda como es el caso de mantenimientos programados, por lo tanto, teniendo un buen pronóstico se puede elaborar una política híbrida con un modelo matemático adecuado para la gestión del inventario.

La previsión de la demanda de repuestos es necesario para controlar los inventarios, prevenir la insuficiencia de repuestos y aminorar costos de mantenimiento. Los métodos de series de tiempo evalúan la demanda basándose en los históricos y (Syntetos & Boylan, 2005), como tales, pueden funcionar bien cuando la situación histórica es similar con los pronósticos futuros. Ellos garantizan reactivamente a factores sin precedentes y no pueden predecir el momento de picos repentinos de la demanda, esto es principalmente cuestionado para la demanda de repuestos debido a su intermitencia y desigualdad. (Petropoulos & Kourentzes, 2015)

La información anticipada sobre la demanda (ADI) es información sobre pedido, ya sea perfecta o imperfecta, que está disponible antes de la ocurrencia de la demanda real (Tan, Güllü, & Erkip, 2007). Este concepto se ha utilizado ampliamente en diversos entornos industriales fuera de repuestos, por ejemplo, el pronóstico de la demanda en e-commerce (Özer, 2003), productos personalizados (Gallego & Özer, 2003); (Johnson & Whang, 2009), en la industria de construcción (van Donselaar, Rock Kopczak, & Wouters, 2001). Para superar las limitaciones de los métodos de series temporales, tratar la intermitencia de la demanda de repuestos y su desigualdad, proponen utilizar tareas de mantenimiento planificadas como fuente de ADI para el inventario de piezas de repuesto control.

Se recomienda enfocarse en las labores de cuidado que indican examinar una parte del activo, y reconocer el estado de la pieza, se sustituye inmediatamente o permanece en el activo. Tales condiciones sobre el mantenimiento deben ser eficaces para asegurar que las piezas sigan ejecutando los requisitos para su funcionamiento

y de garantía, por lo que forman parte primordial de las políticas modernas de mantenimiento de aeronaves, trenes y otros activos del patrimonio.

Los bienes que facultan el mantenimiento, por ejemplo, mecánicos y un cobertizo de mantenimiento, deben ser planificado con anticipación del mantenimiento real. Para posibilitar esta planificación logística de mantenimiento, las empresas deben realizar estas tareas de mantenimiento algunos períodos de tiempo en el futuro. Por eso propusieron el uso de este método de información anticipada sobre la demanda (ADI), pero se necesitan superar dos complicaciones en el uso de esta metodología.

En primer lugar, las tareas de mantenimiento bajo condición son una forma de información de demanda imperfecta: Sólo después de la inspección queda claro si una esta tarea de mantenimiento necesitara piezas de repuesto.

En segundo lugar, mientras que la necesidad de planificación logística obliga a las empresas a planificar las tareas de mantenimiento con varios periodos de tiempo de anticipación, este plan solo está disponible y confiable unos meses en el futuro.

Por esto, proponen un nuevo enfoque para la previsión y control de inventarios basado en los planes de mantenimiento, evaluando este enfoque con datos reales. Un método de pronóstico híbrido combinando la información sobre el reemplazo histórico de piezas junto con el plan de mantenimiento para llegar a una distribución del pronóstico de demanda unos meses a futuro.

Este enfoque híbrido nos permite capturar los cambios repentinos en la demanda de piezas de repuesto causados mediante tareas de mantenimiento planificadas. Durante meses fuera del tiempo de las tareas de mantenimiento programadas el método vuelve a un pronóstico generado por series temporales. Como en diferentes meses hay un número diferente de Tareas de mantenimiento planificadas, la previsión de demanda no es la misma para todos los meses. Para hacer frente a esta no estacionalidad en el pronóstico, también se toma en cuenta una política de inventario dinámica y con visión de futuro.

Una ventaja importante en esta política Híbrida ADI es que se puede obtener sin incurrir en costos operativos adicionales sustanciales.

La precisión de la previsión de la demanda futura determina el rendimiento de cualquier modelo de control de inventario. Cuanto menor sea el nivel de inventario de seguridad requerido para satisfacer las necesidades y cumplir con los criterios de tasa de llenado, mayor será la precisión de las estimaciones de demanda futura. Los perfiles de demanda histórica se utilizan habitualmente para predecir demandas futuras en la mayoría de las situaciones del mundo real.

En el caso de los inventarios de piezas de repuesto, una técnica para aumentar la precisión de la predicción de la demanda es utilizar la información recopilada mediante el control de los niveles de deterioro de los componentes. Este método puede ser especialmente significativo cuando el comportamiento de la demanda varía con el tiempo, como cuando cambian las condiciones operativas. Como resultado, el propósito de este estudio es proporcionar un modelo novedoso de control de inventario de repuestos para bienes no reparables con revisión periódica.

Los pronósticos de vida útil restante (RUL) de los componentes monitoreados proporcionados por un sistema de Pronósticos y Monitoreo de Salud (PHM) se emplean en el modelo propuesto para pronosticar la demanda futura de repuestos. Permite el ajuste dinámico del punto de pedido, s , y el pedido hasta el nivel, S , a medida que se determina los nuevos datos de PHM. Se prevé que los datos del PHM se actualicen periódicamente con el período R . Sujeto a una limitación de la tasa de llenado, el modelo propuesto optimiza el costo total del inventario.

En términos de costo total promedio por período y nivel de inventario promedio, se realizan experimentos numéricos para evaluar el desempeño del modelo $[R, s, S]$ sugerido con el modelo clásico $[s, S]$. De acuerdo con los resultados, el modelo propuesto reduce tanto el costo total promedio por período como el nivel de inventario promedio. (Ramos Rodrigues & Yoneyama, 2020)

(Pujawan I. N., 2004) y (Pujawan & Silver, 2008) investigaron el uso de la heurística Silver-Meal bajo demanda estocástica para una cadena de suministro típica.

Este documento se basa en el trabajo de (Pujawan & Silver, 2008). Ambas publicaciones concluyeron que es posible una extensión de la heurística Silver-Meal para el caso estocástico y que puede usarse como una política de reposición incluso cuando hay incertidumbre. La heurística Silver-Meal es una política de reabastecimiento en una cadena de suministro típica para la demanda estocástica variable en el tiempo.

En una publicación reciente, (Pujawan I. N., 2004) consideró los efectos de una variabilidad relativamente baja de la demanda en el tiempo entre reaprovisionamientos y los tamaños de los reaprovisionamientos para cada uno de los dos procedimientos comunes heurísticos, de tamaño de lote. La lista detallada de referencias proporcionada allí no se repetirá aquí.

En el documento, se centraron en cambio en el desempeño de costos bajo una demanda variable en el tiempo (el promedio cambia con el tiempo) y una gama más amplia de variabilidad de la demanda, incluidos los efectos de aumentar la cantidad del pedido para reducir la posibilidad de que, debido a una demanda superior a la media, la próxima reposición deberá realizarse al menos un período (discreto) antes de lo planeado. Lo trataremos como una variable continua y hacer una experimentación bastante extensa con respecto a su uso con un tipo popular de método de tamaño de lote, a saber, la heurística Silver-Meal (menor costo del período).

Esta heurística se ha desempeñado excelentemente en casos deterministas, particularmente con una implementación de horizonte móvil. (Chalmet, Francis, & Saunders, 1982) también han demostrado que funciona bien cuando la obsolescencia es un factor clave.

Por lo tanto, gracias a lo expuesto en las revisiones previas resulta de especial relevancia garantizar una política de inventario óptima para tener activamente un mayor control en las bodegas previniendo pérdida de productos, sobre-stock, quiebres del stock, mejorando los tiempos de atención de los requerimientos, aumentando el nivel de servicio y disminuyendo la probabilidad de paras largas en la

producción por no tener el repuesto en el momento adecuado y los costos asociados con el almacenamiento.

1.4.2 Marco conceptual

Inventario

El inventario es un listado de bienes tangibles y en existencia documentados en una empresa, que pueden usarse, alquilarse, transformarse, consumirse o venderse. Representan una inversión y es necesario capital para mantener estas reservas.

El inventario es las provisiones de bienes y manufacturas. En la fabricación, el inventario se denomina SKU y se guarda en almacenes como se observa en la Figura 1.3

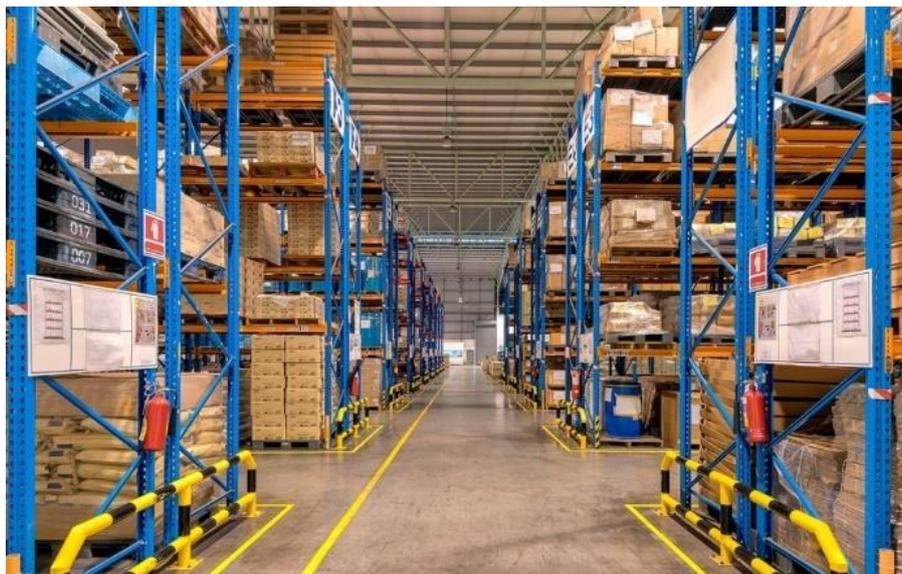


Figura 1.3 Inventario

[(Blog desobras, 2019)]

Política de Inventario

La política de inventario implica disponer los niveles de inventario más económicos de la empresa y responder preguntas sobre cuánto ordenar y cuándo. Una política de inventario deficiente se ve reflejada directamente en el nivel de servicio brindado. (Jacobs & Chase, 2014)

Las empresas mantienen cierto nivel de inventario por estos argumentos:

- **Conservar la autosuficiencia de las operaciones:** El abastecimiento de componentes de la empresa le brinda tolerancia en su operación (Ebert & Adam, 1998).
- **Comprobar fluctuaciones en la demanda de producto:** Si se entiende con precisión los requerimientos de un producto, es posible producirlo en la cantidad justa para atenderla. La demanda a menudo no es del todo clara, por lo que se debe mantener existencias de reserva para compensar estos cambios (Ebert & Adam, 1998).
- **Permitir flexibilidad al programar la producción:** Los inventarios alivian la presión sobre los sistemas de producción para que los bienes entren en circulación (Ebert & Adam, 1998).
- **Ofrecer un soporte sobre las fluctuaciones en los tiempos de entrega en las materias primas:** También existe sesgos sobre el tiempo de entrega del proveedor, ya que no suele ser persistentes. Para reducir el riesgo de posibles retrasos, el inventario puede actuar como amortiguador frente a retrasos inesperados en la entrega de esa cantidad (Ebert & Adam, 1998).
- **Emplear el tamaño asequible de la orden de compra:** Cuanto mayor sea la medida por demanda, menos pedidos serán de gestionar, por lo tanto, menor será el coste del pedido por unidad (Ebert & Adam, 1998).

Dentro de una política de inventario tenemos:

- **Inventario inicial:** este es el inventario disponible cuando comienzan las operaciones (Gaither & Frazier, 2013).
- **Inventario final:** registrada al final del ejercicio contable, generalmente al concluir un período, para determinar un nuevo estado del patrimonio (Gaither & Frazier, 2013).
- **Stock Máximo:** La cantidad máxima de stock que se puede almacenar en el almacén (Gaither & Frazier, 2013).

- **Stock Mínimo:** La cantidad mínima de stock que se puede mantener en el almacén (Gaither & Frazier, 2013).
- **Inventario de productos terminados:** Son productos que están utilizables para presentación y venta y son esenciales para las tácticas de ubicación (Gaither & Frazier, 2013).
- **Inventario en tránsito:** Productos que pertenecen a la empresa y no se encuentran en una ubicación específica destinada dentro de la instalación física (Gaither & Frazier, 2013).
- **Inventario de trabajo en proceso:** este es el inventario que se mantiene a medida que se agregan mano de obra, otras herramientas y otros costos transversales a las materias primas que se convertirán en subcomponentes o componentes del resultado; mientras no esté en el proceso de elaboración final, este será considerado como inventario en desarrollo. Esto es imprescindible para la fabricación orientada a procesos, que separa los ciclos de producción y aumenta la tolerancia de la producción (Gaither & Frazier, 2013).
- **Inventario de materias primas:** Estos son los materiales utilizados para hacer el producto, pero no se pueden cuantificar con precisión. Comprar al por mayor ofrece importantes descuentos y ahorros en el envío o en el precio de adquisición (Gaither & Frazier, 2013).
- **Stock de seguridad:** Mantenemos más stock de un producto en particular en nuestros almacenes de lo que normalmente necesitamos tomando en cuenta las alteraciones en la demanda o retardos inesperados en el ingreso de pedidos (Gaither & Frazier, 2013).

De igual forma al mantener inventarios tenemos costos asociados a este como son:

- **Costos de pedido o reposición:** Son los costos de procesamiento, rastreo, inscripción y recepción al efectuar un pedido o entregar suministros o productos terminados (Gaither & Frazier, 2013).
- **Costos de escasez:** costos incurridos cuando nos permanecemos sin suministros o inventario de manufactura debido a la merma de ventas y clientes descontentos, por ellos se debe mantener existencias adicionales o de garantía (Gaither & Frazier, 2013).
- **Costo de adquisición:** Costos obtenidos al comprar materias primas, los costos unitarios pueden ser menores al comprar a granel y nuestros costos de flete y manejo de materiales también son menores (Gaither & Frazier, 2013).
- **Costos de almacenaje:** Son los gastos de alquiler o mantenimiento de una bodega o almacén, acondicionamiento térmico, luminaria, limpieza, seguridad, etc. (Gaither & Frazier, 2013).
- **Costos de producción:** costos incurridos por mantener una gran cantidad de inventario y a su vez requieren más trabajadores para producir (Gaither & Frazier, 2013)

Demanda

La solicitud de un artículo en un almacén es cantidad que deben retirarse del almacén para algún propósito en un lapso determinado (Hillier & Lieberman, 2010). La demanda de inventario se manifiesta de diferentes formas y está influenciada por una o más causas, los cuales pueden ser especiales, comunes, sociales o corporativos, por lo que se dice que existen diferentes modelos de demanda.

Las demandas pueden ser:

- **Demanda dependiente:** Cuando se conoce la dependencia de la demanda de un producto respecto a otro.

- **Demanda independiente:** Son aquellos cuya dependencia de la demanda de otro objeto o producto se desconoce. Las condiciones del mercado afectan esta demanda.

Estas pueden clasificarse en:

- **Demanda Determinística:** La demanda se conoce con precisión en cualquier lapso, puede permanecer incesantes durante ciertos períodos o puede cambiar de un período a otro. Este tipo de demanda ocurre cuando los clientes o los sistemas automatizados generan la demanda de manera insistente y a cierto nivel de demanda del producto. (Hillier & Lieberman, 2010)

Pueden ser:

- **Estática:** El nivel de consumo se mantiene igual a lo largo del tiempo.
- **Dinámica:** Donde la demanda es fija, pero cambia de un período a otro.
- **Demanda Estocástica:** La demanda en cualquier período actúa como una variable aleatoria que difiere de una constante conocida. El objetivo es delimitar si esta demanda sigue un modelo estadístico de comportamiento y si se acopla a un patrón de distribución estadística conocido como la Uniforme, Normal, Exponencial, Chi-Cuadrada, Beta o Gamma. (Hillier & Lieberman, 2010)
- **Estacionaria:** Si la función de densidad de probabilidad de la demanda permanece constante en el tiempo.
- **No estacionaria:** Por el contrario, cuando la función de densidad de probabilidad cambia con el tiempo.

Pronósticos

Esta es una estimación cuantitativa o cualitativa de un o más factores (variables) que componen unos eventos futuros, basados en información actual o pasado.

Pronóstico de la Demanda

Las opciones que ofrece el modelo de gestión de inventarios tienen un gran impacto en las resoluciones que toma la compañía. En la mayoría de los casos, estas decisiones se toman al planificar el futuro a corto, mediano o largo plazo. Por ende, el modelo debe proporcionar información sobre el rendimiento futuro de las acciones.

Como se mencionó anteriormente, la demanda es un factor contingente, por lo que es importante obtener una visión general del comportamiento de la demanda en períodos futuros como se visualiza en Figura 1.4

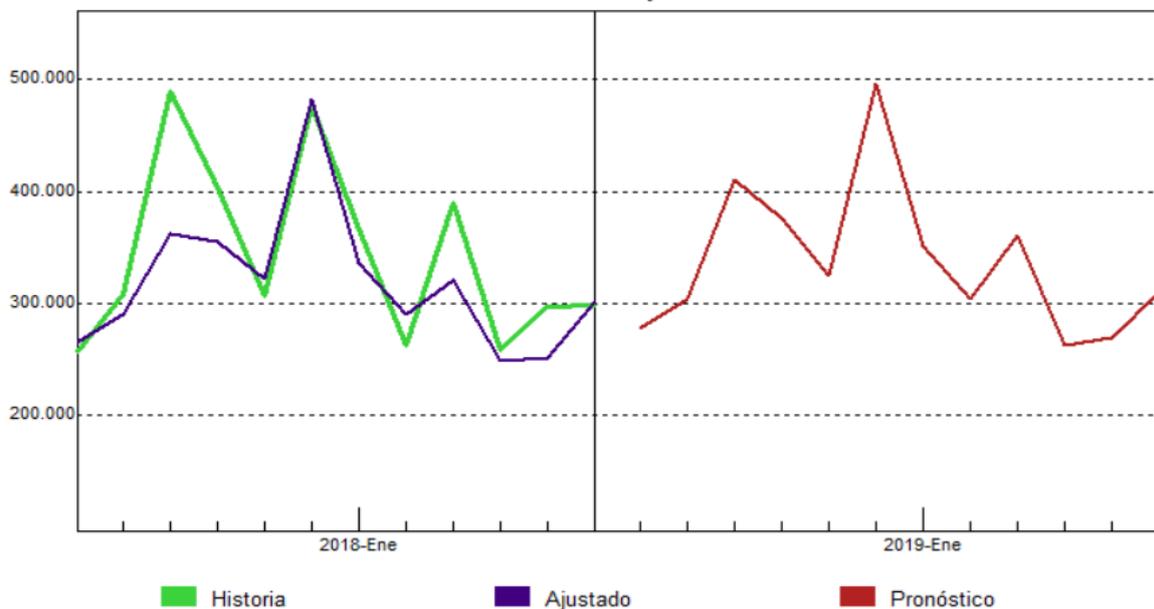


Figura 1.4 Pronóstico de la demanda

[(Valbuena, 2022)]

El pronóstico de la demanda apoya a las empresas a rondar en un entorno con baja incertidumbre, es decir, faculta a las empresas aminorar los sesgos futuros al predecir eventos que tienen una probabilidad relativamente alta de ocurrir en comparación con otras circunstancias posibles. También faculta la toma de decisiones y apoya a las empresas a prevenir para estos eventos. Estas predicciones acatan de los datos reales, y cuantos más datos reales se tengan y más corto sea el horizonte predecible mejores serán sus resultados.

Clasificación ABC

En 1987, el economista italiano Wilfried Fritz Pareto afirmó que “el 20% de la población posee el 80% de la riqueza”. Es el resultado de este principio, el que ahora se aplica a diferentes cosas y forman una manera de gestión. En un ambiente de gestión de inventario, el principio de Pareto denota que ciertos materiales constituyen la mayor parte de la adquisición de una empresa.

El análisis ABC del producto está diseñado para priorizar una pequeña cantidad de artículos de inventario que figuran una gran parte de la adquisición de los fondos de una empresa. Estos bienes no son indispensables, los bienes con el precio unitario más alto, ni son los bienes con una mayor participación en el consumo, sino bienes cuya valoración (precio unitario de consumo o demanda) constituye un gran porcentaje del valor total del inventario. (Pohlen & La Londe, 1994)

Este método de clasificación de inventario, llamado análisis ABC, consiste en clasificar artículos en tres categorías como se observa en la Figura 2.1Figura 1.5:

- **Grupo A (De importancia mayor en efectos de control):** En esta categoría encontraremos muy pocos productos con un valor entre el 70% y el 80% del stock total, normalmente suponen el 15% de los productos.
- **Grupo B (De importancia secundaria en efectos de control):** Se concentrará un número moderado de productos, generalmente representan del 20% al 30% del inventario y tienen un valor del 15% al 25% de la inversión total anual.
- **Grupo C (De importancia menor en efectos de control):** Representa la mayoría de los productos, entre el 60% y el 70%, con un valor de stock total insignificante entre el 5% y el 10%.

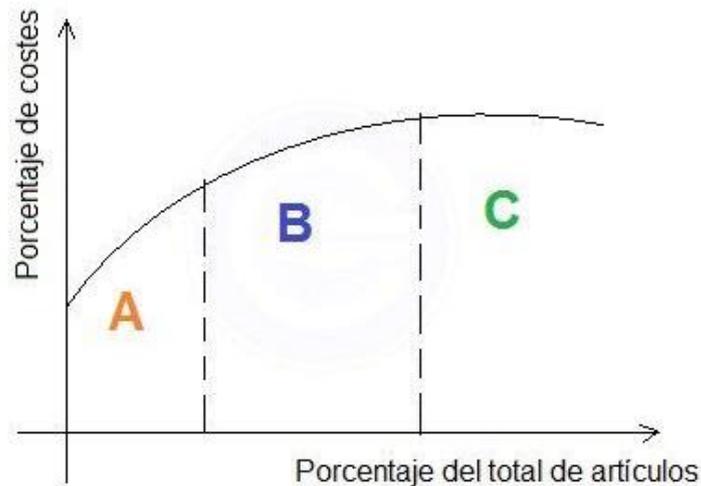


Figura 1.5 Análisis ABC

[(Peiró R., 2022)]

Modelos de Inventario

Existen varios modelos de gestión de inventarios, y entre ellos podemos descubrir estructuras complejas con gran diversidad. Se ha evolucionado en un amplio repertorio de modelos para adaptarse a posibles situaciones. A continuación, se presentan algunos aspectos a considerar al desarrollar un modelo:

- **Tiempo:** Necesita saber si la función del tiempo es continua o discreta.
- **Producto:** Si es un solo artículo o la estrategia se creará para varios artículos.
- **Costos de pedido:** Existen costos por realizar un pedido a un proveedor o realizar un pedido de producción.
- **Incertidumbre de la demanda:** Si la demanda es determinista (conocidos) o estocástica (desconocidos).
- **Distribución de la Demanda:** Si la demanda es dinámica (cambiante) o constante.

- **Alcance de la planificación:** Si el alcance del modelo a aplicar es finito o infinito.

Entre los métodos usados para demanda independiente tenemos:

PRR (Punto de Reorden)

El nivel de reorden establece un nivel de colocación de pedido inmediato que evitará el desabastecimiento de los elementos del inventario y mantendrá los procesos productivos funcionando hasta que se realice la nueva entrega.

Los cálculos para los niveles de inventario utilizando el nivel de reorden se describen en la ecuación 1.1:

$$T = Q + SS \quad (1.1)$$

Donde:

$$R = Dp + SS \quad \text{Punto de Reorden}$$

$$SS = k(1 - \alpha) \sigma_L \quad \text{Stock de Seguridad}$$

T Nivel del inventario fijado como meta

CT Costos Totales

Dp Demanda Promedio Mensual

Da Demanda Anual

P Periodo de Tiempo en que se va a hacer la revisión

L Lead Time desde que inicia el proceso de compras hasta cuando es recibido

$K = [p(z \leq k) = CSL]$ Factor de seguridad

$Q^* = \sqrt{\frac{(2Da * \text{costo de compra})}{H}}$ Cantidad Por Pedir

H Costo de compra

i % de mantener la unidad en relación con los CT

$\sigma(L) = [\sqrt{L} * \sigma(Dp)]$ Desviación estándar de (L)

PPR (Pedido Periódico)

El nivel del inventario se revisa cada periodo de tiempo predeterminado, antes de la colocación del pedido en el siguiente periodo. El inventario fijado como óptimo, se establece para recubrir el consumo durante el lapso tardío para que los repuestos estén ingresados y listos para consumo; eso implica sumar el tiempo que toma la etapa preparatoria, precontractual, contractual, ejecución, recepción y liquidación. La cantidad solicitada es el resultado de restar el inventario fijado óptimo (T) menos la cantidad existente en inventario.

Las fórmulas de cálculo se presentan en la ecuación 1.2:

$$T = Dp * (P + L) + k(1 - \alpha) * \sigma_{P+L} \quad (1.2)$$

Donde:

α	Faltante de Inventario
SS	Stock de Seguridad
T	Nivel del inventario fijado como meta
Dp	Demanda Promedio
P	Periodo de Tiempo en que se va a hacer la revisión
L	Lead Time desde que inicia el proceso de compras hasta cuando es recibido
K	Factor de seguridad
σ_{P+L}	Desviación estándar de (P+L)

Heurísticas

Son técnicas de búsqueda espontanea que utilizan ajustes prácticos favorables para encontrar soluciones mejoradas. (Taha, 2012)

Algoritmo de Silver–Meal

Es una heurística, es decir, intenta dar una buena (u óptima) solución al problema del inventario usando reglas de decisión para periodos futuros que

probablemente se produzca una demanda. Se enfoca en reducir los costos totales es decir costos por pedir y costos por almacenar para cada período. (Taha, 2012)

El procedimiento del algoritmo de Silver Meal se apoya en la ecuación 1.3:

$$k(m) = \frac{1}{m} (A + HD_2 + 2HD_3 + \dots + (m - 1)HD_m) \quad (1.3)$$

Donde:

$M = 1, 2, \dots, n$ Se detiene el proceso cuando $K(m + 1) > K(m)$

$K(m)$ Costo variable promedio por unidad

A Costo de preparación

H Costo por mantener el inventario/período

D_m Demanda/período

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En esta sección, se examinan todos los métodos ejecutados para la obtención de los objetivos propuestos en este proyecto. Primero, se realizó un análisis de los datos alcanzados a través de las diálogos y reuniones con el personal de la empresa y los datos históricos transaccionales del consumo de los repuestos. Luego se procedió a hacer una depuración en la base de datos, para eliminar errores en los datos y realizar una clasificación ABC de los repuestos según sus costos. Para finalizar se hizo el modelo que simula el comportamiento del inventario para su ejecución y posterior validación.

2.1 Técnicas de investigación

Las técnicas que se usaron en este proyecto fueron:

Entrevistas virtuales no estructuradas: Estas fueron realizadas en la plataforma Microsoft Teams, estas entrevistas se las realizo con el gerente de Cadena de Suministros y el encargado de Producción. Esto permitió recopilar información necesaria para definir el problema que genera no contar con un modelo de inventario para repuestos.

Documental: Base de datos, Kardex, y documentos donde pudimos recolectar información importante como fechas de movimientos, valor de los movimientos, cantidades y costos asociados al manejo de inventarios.

2.1.1 Levantamiento de información

Realizadas las técnicas mencionadas anteriormente se pudo recopilar información relevante como:

- Numero de Bodegas: 3
- Cantidad de SKU: 12,823
- Cantidad de Movimientos por SKU
- Fechas de movimientos por SKU

- Costo de movimientos por SKU
- Tipos de ítems
 - Válvulas
 - O 'ring
 - Zapatas
 - Planchas
 - Bombas
 - Empaques
 - Abrazaderas, etc.

2.1.2 Análisis de la información levantada: Situación actual

Se noto en el momento de la revisión de los datos que existen:

- Repuestos con códigos duplicados: 52
- Repuestos sin movimientos desde muchos años atrás y sin stock: 4123
- Repuestos sin movimientos con stock: 2855
- Repuestos insertados con datos erróneos en cuanto al registro de los campos Línea, Sub línea o Status: 643
- Repuestos con baja Frecuencia: 2667

Lo cual fue informado al personal de la empresa y se decidió que esos productos iban a tener un trato diferenciado por lo tanto no iban a estar sujetos a este análisis. Después del proceso de depuración, se pasó de tener de una base inicial de 12,823 artículos a una base de 5,150 artículos.

Finalmente se descartó 2667 repuestos que tienen una frecuencia baja, menores a la unidad porque son de consumo esporádico y no son importantes para el análisis realizado. Entiéndase como frecuencia al promedio de veces que fue pedido el producto por año.

Por lo tanto, dejamos una base de datos de 2,483 artículos lo que consideramos una reducción importante de los datos iniciales con una disminución de un 80% de los registros iniciales.

Análisis ABC

Con el histórico de datos facilitados por la empresa (unidades solicitadas por el personal) de los últimos 3 años. Para el análisis ABC consideramos los 2483 artículos posteriores a la depuración, se procedió a realizar la suma de la demanda mensual de cada uno de ellos, así mismo sus costos, ordenando de forma descendente los productos por su costo para la realización del análisis. Donde 328 repuestos resultaron de categoría A representando el 80% de los costos, 561 resultaron de categoría B con un 15% de costos y 1594 representando el 5% son considerados como categoría C como se muestra en la Figura 2.1.

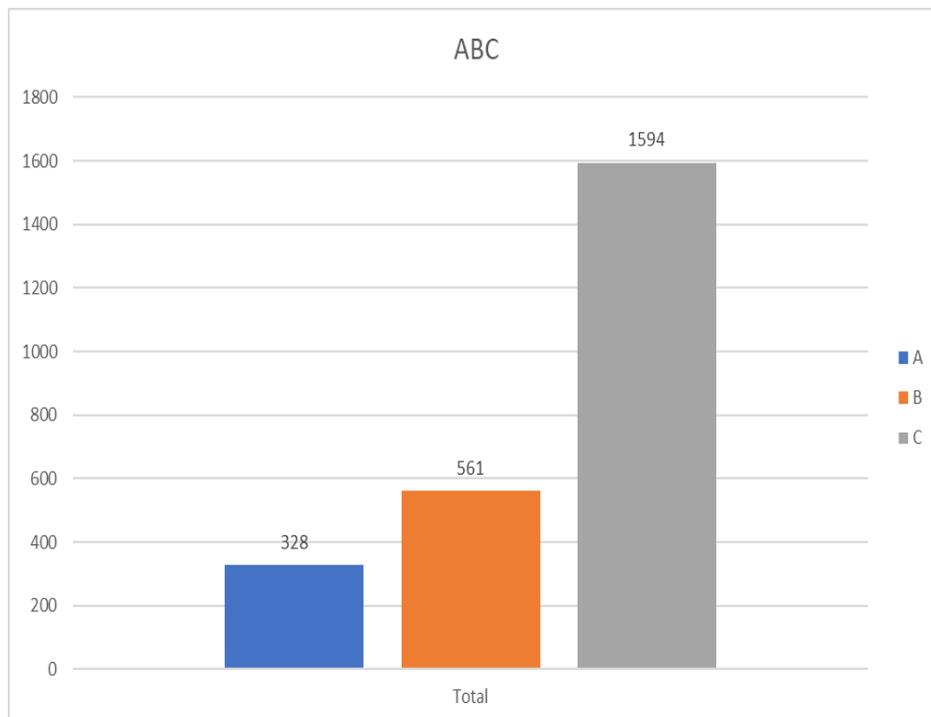


Figura 2.1 Clasificación ABC
[Elaboración propia]

2.2 Recopilación de los datos

Los datos fueron proporcionados por el encargado de producción de la empresa donde se nos explicó cada una de las variables que contenían los Excel.

Se nos proporcionó dos archivos formato csv.

El primer archivo contenía la base de datos actual de la empresa y el segundo archivo contenía el histórico transaccional de los últimos 3 años.

Las columnas más relevantes de los archivos para nuestro proyecto se detallan a continuación:

Cod_articulo: Es el código interno asignado a cada tipo de producto del inventario.

Desc_producto: Este campo referencia al nombre del producto.

Fec_movimiento: Nos indica la fecha y hora cuando se realizó el egreso o ingreso del producto.

Qtz_movimiento: Indica la cantidad exacta del movimiento en cuestión.

Val_movimiento: Indica el costo monetario que tuvo al realizarse esta transacción.

Cod_linea: Indica la línea a la cual pertenece el producto en este caso nos enfocamos a la línea 10 que es la categoría asignada por la empresa para los repuestos.

Status_articulo: En este campo se indica si el artículo está en esta activo (A) o inactivo (I).

2.3 Descripción de los modelos

Después de hacer el análisis de los datos, se decidió usar los siguientes modelos para la reposición de inventarios.

- Revisión Continua
- Algoritmo de Silver–Meal

Revisión Continua

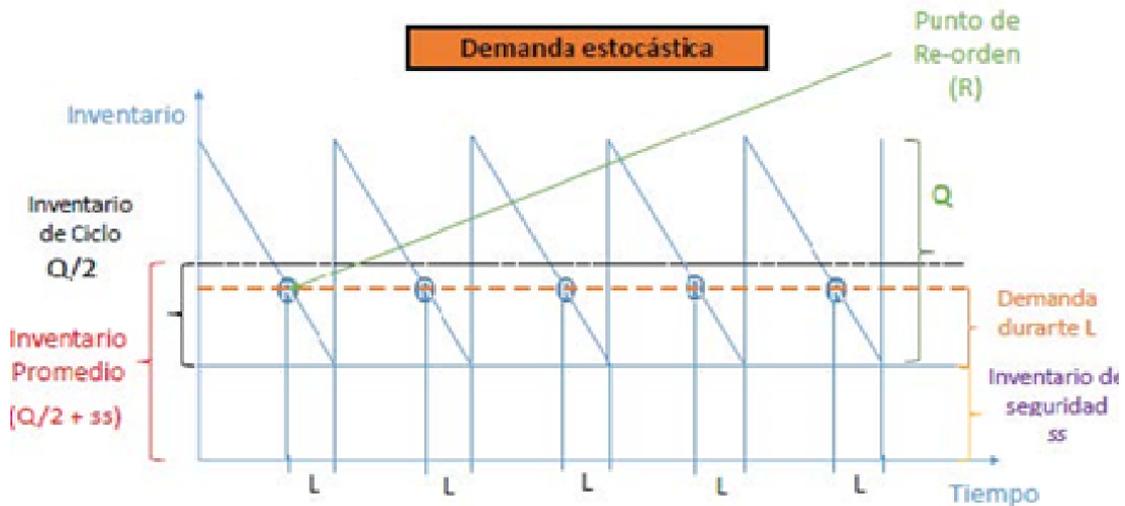


Figura 2.2 Modelo de Revisión Continua
[Elaboración Propia]

Esta metodología confirma con cada salida mientras que el nivel de inventario no haya descendido del punto de reorden, no se debe colocar una orden, únicamente cuando el nivel este por debajo de este punto se debe colocar la nueva orden para realizar el pedido. La cantidad de inventario a solicitar debe ser igual a la cantidad faltante necesaria que permita llegar al nivel de inventario óptimo como se muestra en la Figura 2.2.

Se comprende como punto de reorden a aquel que es capaz de abastecer la demanda promedio de dicho inventario durante el tiempo que lleva la entrega de los repuestos y materiales que conforman el pedido. (Schroeder, 2011)

Los cálculos para los niveles de inventario utilizando el nivel de reorden se describen en la ecuación 2.1:

$$T = Q + SS \quad (2.1)$$

Donde:

$$R = Dp + SS$$

Punto de Reorden

$$SS = k(1 - \alpha) \sigma_L$$

Stock de Seguridad

T

Nivel del inventario fijado como meta

CT

Costos Totales

D_p	Demanda Promedio Mensual
D_a	Demanda Anual
P	Periodo de Tiempo en que se va a hacer la revisión
L	Lead Time desde que inicia el proceso de compras hasta cuando es recibido
$K = [p(z \leq k) = CSL]$	Factor de seguridad
$Q^* = \sqrt{\frac{(2D_a * \text{costo de compra})}{H}}$	Cantidad Por Pedir
H	Costo de compra
i	% de mantener la unidad en relación con CT
$\sigma(L) = [\sqrt{L} * \sigma(D_p)]$	Desviación estándar de (L)

El factor de seguridad se calcula acorde al nivel de servicio deseado como lo muestra la Tabla 2.1 los niveles de servicio los cuales se presenta a continuación:

Tabla 2.1 Factor de seguridad de acuerdo con el nivel de servicio deseado
 [(RITZMAN, 2008)]

z	Nivel de servicio (%)	Faltante de inventario (%)	z	Nivel de servicio (%)	Faltante de inventario (%)
0,0	50,0	50,0	2,0	97,7	2,3
0,5	69,1	30,9	2,1	98,2	1,8
1,0	84,1	15,9	2,2	98,6	1,4
1,1	86,4	13,6	2,3	98,9	1,1
1,2	88,5	11,5	2,4	99,2	0,8
1,3	90,3	9,7	2,5	99,4	0,6
1,4	91,9	8,1	2,6	99,5	0,5
1,5	93,3	6,7	2,7	99,6	0,4
1,6	94,5	5,5	2,8	99,7	0,3
1,7	95,5	4,5	2,9	99,8	0,2
1,8	96,4	3,6	3,0	99,9	0,1
1,9	97,1	2,9			

Es así como el nivel de seguridad está representado con: el factor de seguridad “ K ” multiplicado por la desviación estándar “ σ_L ” que está dada por “ $\sqrt{L} * \sigma_{D_p}$.”

La Tabla 2.2 muestra el resumen de las cantidades aplicables a este modelo para establecer los niveles de inventarios con los que se trabajaría.

Tabla 2.2 Nivel máximo y mínimo para el modelo de punto de reorden

[(RITZMAN, 2008)]

Definición de Inventario Basado en Punto de Reorden	
Inventario máximo	Inventario mínimo
$Q + SS$	$k(1 - \alpha) * \sigma_L$

Los valores de L serán calculados con base en los tiempos de contratación y entrega específicos de cada elemento del inventario.

Selección de la heurística

Para la selección de la heurística se hizo el estudio y análisis para la tendencia de la demanda, mediante el coeficiente de variación en el que se determina la desviación estándar y el promedio de la demanda mensual como se ve en la ecuación 2.2.

$$V = \frac{\sigma}{Media} * 100 \quad (2.2)$$

El resulta de este estudio se determinó que los datos tienen una demanda periódica y estocástica por lo que su porcentaje es mayor al 20%. Debido a esto los consumos en los mantenimientos varíen a través del tiempo. Por lo tanto, se optó por utilizar la heurística Silver Meal lo cual nos permitirá optimizar los costos de inventario.

Algoritmo de Silver Meal

Según el cálculo del factor de variación muestran que para este diseño es imprescindible utilizar una heurística que permita mejorar el costo, en este estudio se empleará la heurística Silver Meal que funciona de forma que permitirá una fluctuación en los valores de inventarios.

Delimitamos $CT(i, t)$ como los costos de mantenimiento y de provisión agregados para los mismos ciclos con los parámetros visualizados en la ecuación 2.3

$$CT(i, t) = \begin{cases} K_i, & t = i \\ K_i + h_i D_{i+1} + (h_i + h_{i+1}) D_{i+2} + \dots + \left(\sum_{k=i}^{t-1} h_k \right) D_t & t > i \end{cases} \quad (2.3)$$

Delimitamos $CT_P(i, t)$ como el costo por ciclo asociado; es decir:

$$CT_P(i, t) = \frac{CT(i, t)}{t - i + 1}$$

Dado un ciclo actual i , la heurística delimita i^* que minimiza el $CT_P(i, t)$.

La función $CT(i, t)$ se calcula recursivamente como:

$$CT(i, i) = K_i$$

$$CT(i, t) = TC(i, t - 1) + \left(\sum_{k=i}^{t-1} h_k \right) D_t, \quad t = i + 1, i + 2, \dots, n$$

Paso 0. Inicializar $t = 1$

Paso 1. Delimitamos el mínimo local t^* que retribuya las dos restricciones continuas:

$$CT_P(i, t^* - 1) \geq CT_P(i, t^*)$$

$$CT_P(i, t^* + 1) \geq CT_P(i, t^*)$$

La heurística delimita que se solicite la porción $(D_i + D_{i+1} + \dots + D_{i^*})$ en el ciclo i para los ciclos $i, i + 1, \dots, y t^*$.

Paso 2. Establezca $i = t^* + 1$. Si $i > n$, deténgase; ya se ha cubierto todo el horizonte de planeación. De lo contrario, vaya al paso 1.

2.4 Uso de software

En la implementación de este estudio utilizamos:

Microsoft Excel: Este programa puede ejecutar cálculos numéricos, manipular datos aritméticos, aplicar funciones matemáticas, permitirle planificar operaciones y generar patrones con todos los cálculos relevantes para implementar estrategias de manejo de inventario.

R: Este software estadístico nos permite aplicar varios modelos de pronóstico para proporcionar el soporte estadístico de la demanda en un periodo de tiempo determinado de una empresa para entregar inventario.

Visual Studio: Este programa nos da acceso a crear una interfaz la cual se enlaza a los libros creados en Excel para una mejor interacción y facilidad en la ejecución del programa.

2.5 Consideraciones legales y éticas

El proyecto de investigación se rige a una estructura legal. Del cual están acatadas al cumplimiento de las normas de buenas prácticas de almacenamiento estipuladas por la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA).

El art. 129 de la Ley Orgánica de Salud menciona que deben de cumplir las normas de cuidado y manejo de la higiene es obligatorio para todas las asociaciones, organizaciones, organismos públicos y privados que trabajan en fabricación, importación, exportación, almacenamiento, transporte, distribución, comercialización y venta de bienes para el consumo humano.

Por lo tanto, todas las industrias tienen la responsabilidad de acatar los estatutos gubernamentales en el manejo de inventario que ARCSA anuncia. Además, de los artículos que estipulan en el proceso de manipulación, envasado y almacenamiento de alimentos según el Reglamento de Alimentos, junto a las normas extranjeras estipuladas por la Organización Internacional de Normalización (ISO). El incumplimiento de estas leyes y normas provocan multas y sanciones tanto municipales como gubernamentales.

2.6 Fases del proyecto

Para este proyecto abarcamos las fases apreciadas en la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, ejecutando tareas que nos ayudaron a cumplir nuestros objetivos planteados.

Tabla 2.3 Fases del proyecto

[Elaboración propia]

FASE	TAREAS
INICIO	ELECCION DE TITULO
	RECEPTACION DE DATOS
PLANIFICACION	DEPURACION DE DATOS
	DEFINICION DE METODOLOGIAS
EJECUCION	DESARROLLO DE METODOLOGIAS
	ANALISIS COMPARATIVO DE METODOLOGIAS
	PRESENTACION DE ENTREGABLE

INICIO

En esta fase ejecutamos las siguientes tareas

Elección de Título: Se sostuvo reuniones con personal de la empresa para poder otorgarle un título interno para la aprobación del proyecto.

Receptación de datos: Se realizaron reuniones virtuales para conocer las necesidades de la empresa y nuestros alcances definiendo que tipos de datos se necesitaban y como iban a ser entregados.

PLANIFICACION

Depuración de datos: Posterior a la receptación de los datos entramos en la depuración de estos, quedándonos solo con datos limpios y útiles para el análisis que se realizara esto nos ayudara con el primer objetivo específico.

Definición de metodologías: Teniendo nuestro stock definido se buscó las metodologías que podían ser aplicadas al comportamiento de los datos la cual nos ayuda con el segundo objetivo específico.

EJECUCION

Desarrollo de metodologías: Definidas las metodologías a realizar, se empezó su desarrollo para todos los elementos seleccionados, que acompañadas de un análisis ABC que nos permitió obtener resultados.

Análisis comparativo de metodologías: Con la obtención de resultados se pudo hacer la comparación y la elección del mejor modelo aplicable para estos ítems, el análisis junto con el desarrollo nos ayuda con el tercer objetivo específico.

Presentación de entregable: Obtenido el mejor modelo aplicable se procedió a su programación en Visual Basic para su posterior entrega, el cual nos ayuda en el cuarto objetivo específico.

2.7 Cronograma de trabajo

Para la elaboración del proyecto nos hemos planteado el cronograma detalla a continuación el la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, con fecha de inicio el 11/10/2022 y fecha de finalización 18/01/2023.

Tabla 2.4 Cronograma de tareas a realizar

[Elaboración propia]

TAREAS	FECHA INICIO	DURACION (Días)	FECHA FIN
ELECCION DE TITULO	11/10/2022	3	14/10/2022
RECEPTACION DE DATOS	14/10/2022	7	21/10/2022
DEPURACION DE DATOS	21/10/2022	21	11/11/2022
DEFINICION DE METODOLOGIAS	6/11/2022	5	11/11/2022
DESARROLLO DE METODOLOGIAS	12/11/2022	20	2/12/2022
ANALISIS COMPARATIVO DE METODOLOGIAS	2/12/2022	10	12/12/2022
DESARROLLO/PRESENTACION DE ENTREGABLE	12/11/2022	60	11/1/2023

Para mejor apreciación del cronograma de trabajo, se ha realizado un diagrama de gantt que se muestra en la Figura 2.3 Plan de trabajo
 [Elaboración propia]Figura 2.3

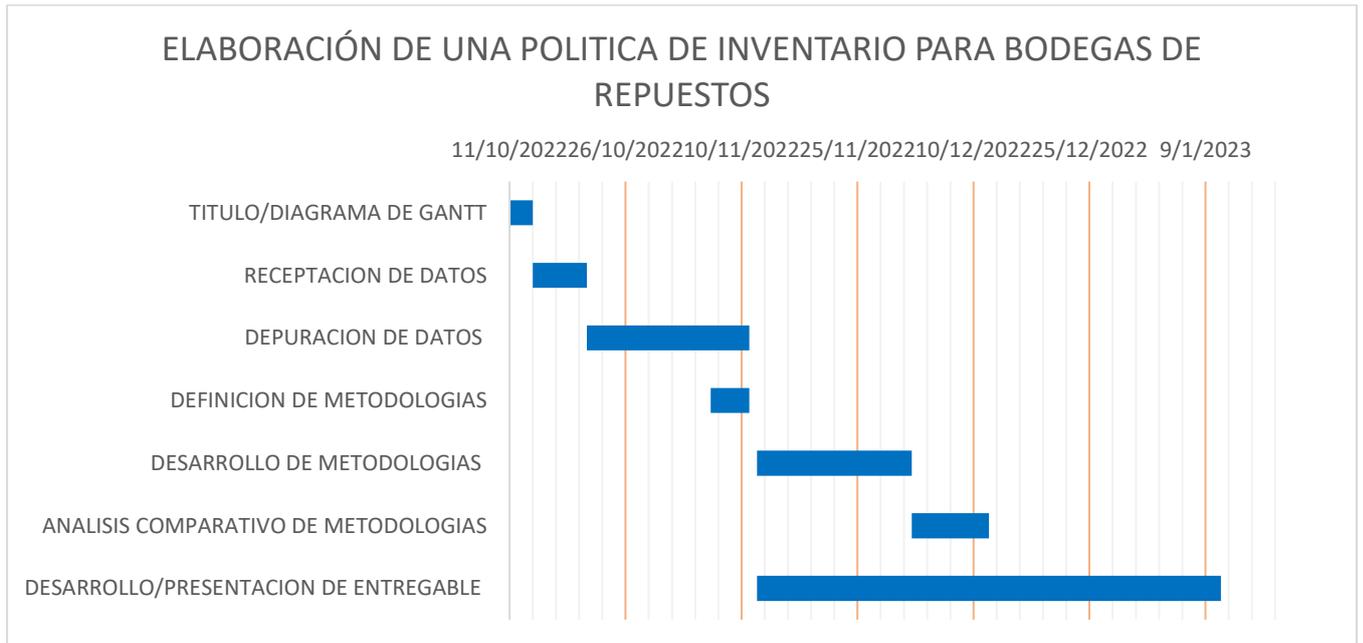


Figura 2.3 Plan de trabajo
 [Elaboración propia]

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se muestra en este capítulo el análisis de los resultados alcanzados en los modelos seleccionados para el reaprovisionamiento del inventario.

Se utilizó los datos proporcionados por la empresa, los registros de salida de cada sku en un periodo de 3 años que está comprendido desde enero del 2020 hasta noviembre del 2022, teniendo en cuenta la frecuencia de estos movimientos y sus costos, se permitió realizar una clasificación ABC en base a las salidas de repuestos utilizadas por el área de producción.

3.1 Clasificación ABC de los repuestos

Con datos proporcionados por la empresa, se ejecutó la clasificación ABC el costo de las unidades requeridas.

Tabla 3.1 Clasificación ABC

[Elaboración propia]

Categoría	Unidades Solicitadas	Cantidad de SKU	Porcentaje de participación
A	4389397	328	13%
B	979768	561	23%
C	22691322	1594	64%

De acuerdo con la Tabla 3.1 la clasificación ABC realizada a los 2483 ítems, 328 ítems están representados por la categoría A, 561 ítems por la categoría B y 1594 ítems por la categoría C, el 80% de las unidades requeridas están representadas por la categoría A, los de la categoría B representan un 15% y os de la categoría C el 5% restante.

3.2 Cálculo de Pronósticos

Por la cantidad de ítems que se manejan, no es eficiente realizar un pronóstico individual para cada sku, y tampoco aplicar los modelos de inventario para cada uno de ellos. En lugar de se trabajó con una planificación agregada de la demanda, es decir que se agrupo a los sku que maneja la empresa por familias.

Una vez obtenido el modelo de pronóstico por cada familia y aplicado el modelo para determinar la gestión del inventario, las cantidades de las ordenes de reabastecimiento se establecen de manera porcentual respecto a la participación del sku dentro de cada familia.

Para esto, el cálculo de los pronósticos se lo realizará a partir de una subclasificación de los productos por familias, tomando las siguientes agrupaciones:

- **Oring:** 94 SKU
- **Cables:** 36 SKU
- **Teflón:** 26 SKU
- **Terminales:** 20 SKU
- **Aceites:** 21 SKU

3.2.1 Oring

Para la familia Oring se ejecutó el análisis en el programa estadístico R, primero se analizó como una serie de tiempo la salida de estos repuestos, como vemos en la Figura 3.1 se verificó que la serie temporal presente una tendencia, comparando los correlogramas de la función (ACF) y la función de autocorrelación parcial (PACF), para la formulación del modelo orientativo.

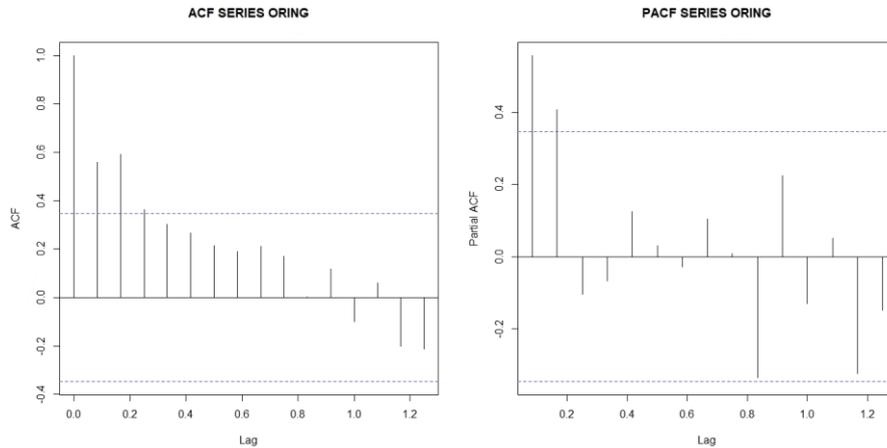


Figura 3.1 ACF y PACF de la familia ORING
[Elaboración propia]

Ya con los datos analizados se procedió a usar la función `auto.arima` con la cual se definió el mejor modelo, que es en el que la suma cuadrática de errores es el menor posible. Para el caso de la familia Oring se concluyó que el mejor modelo el ARIMA (1,1,0) como podemos observar en la Figura 3.2.

```
ARIMA(2,1,2)           with drift      : Inf
ARIMA(0,1,0)           with drift      : 440.908
ARIMA(1,1,0)           with drift      : 428.5059
ARIMA(0,1,1)           with drift      : 428.6234
ARIMA(0,1,0)           with drift      : 439.0663
ARIMA(2,1,0)           with drift      : 430.4279
ARIMA(1,1,1)           with drift      : 430.0432
ARIMA(2,1,1)           with drift      : Inf
ARIMA(1,1,0)           with drift      : 427.6549
ARIMA(2,1,0)           with drift      : 429.8694
ARIMA(1,1,1)           with drift      : 429.8555
ARIMA(0,1,1)           with drift      : 429.9907
ARIMA(2,1,1)           with drift      : 432.4614

Best model: ARIMA(1,1,0)
```

Figura 3.2 Aplicación de la función `auto.arima()` en la familia ORING
[Elaboración propia]

La Figura 3.3 muestra el comportamiento de la serie de tiempo de la familia Oring y con color celeste el comportamiento del pronóstico bajo el modelo seleccionado.

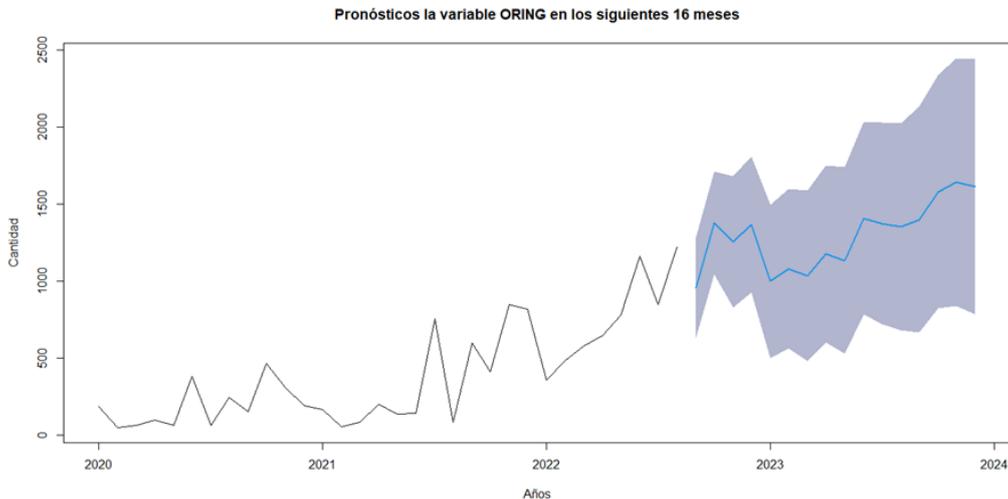


Figura 3.3 Pronostico de la familia ORING
[Elaboración propia]

Los pronósticos de esta familia Oring para el año 2023 se presentan en la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**

Tabla 3.2 Valores pronosticados del año 2023 para la familia ORING
[Elaboración propia]

Mes	Pronóstico	Min 80%	Max 80%
Enero	998	500	1495
Febrero	1079	564	1595
Marzo	1032	478	1586
Abril	1176	602	1750
Mayo	1133	529	1738
Junio	1408	783	2033
Julio	1374	722	2026
Agosto	1353	681	2025
Septiembre	1397	664	2130
Octubre	1579	823	2336
Noviembre	1641	836	2445
Diciembre	1611	782	2440

3.2.2 Cables

Para la familia Cables, así mismo se procedió con el análisis en el programa estadístico R, se ejecutó como una sola serie de tiempo la salida de estos repuestos, como vemos en la Figura 3.4 se verificó que la serie temporal presente una tendencia, comparando ACF y PACF, para la formulación del modelo orientativo.

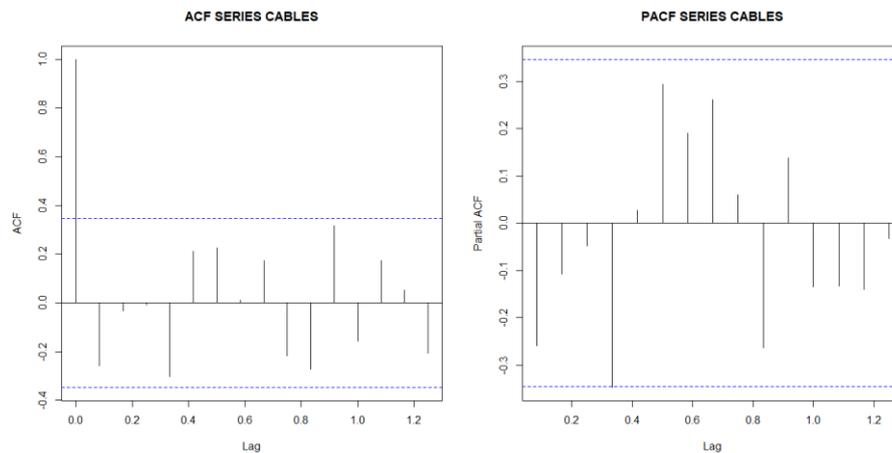


Figura 3.4 ACF y PACF de la familia CABLES
[Elaboración propia]

Con los datos analizados se procedió a usar también la función autoarima con la cual se determinó el mejor modelo. Para el caso de la familia Cables se concluye que el mejor modelo el ARIMA (0,0,1) como podemos observar en la Figura 3.5

```
ARIMA(2,0,2)           with non-zero mean : Inf
ARIMA(0,0,0)           with non-zero mean : 458.8056
ARIMA(1,0,0)           with non-zero mean : 458.9461
ARIMA(0,0,1)           with non-zero mean : 458.3035
ARIMA(0,0,0)           with zero mean      : 493.4312
ARIMA(1,0,1)           with non-zero mean : 460.5636
ARIMA(0,0,2)           with non-zero mean : 460.5856
ARIMA(1,0,2) with non-zero mean : Inf
ARIMA(0,0,1)           with zero mean      : 487.9264

Best model: ARIMA(0,0,1)           with non-zero mean
```

Figura 3.5 Aplicación de la función auto.arima() en la familia CABLES
[Elaboración propia]

El comportamiento de la serie de tiempo de la familia Cables y con color celeste el comportamiento del pronóstico bajo el modelo seleccionado como se muestra en la Figura 3.6.

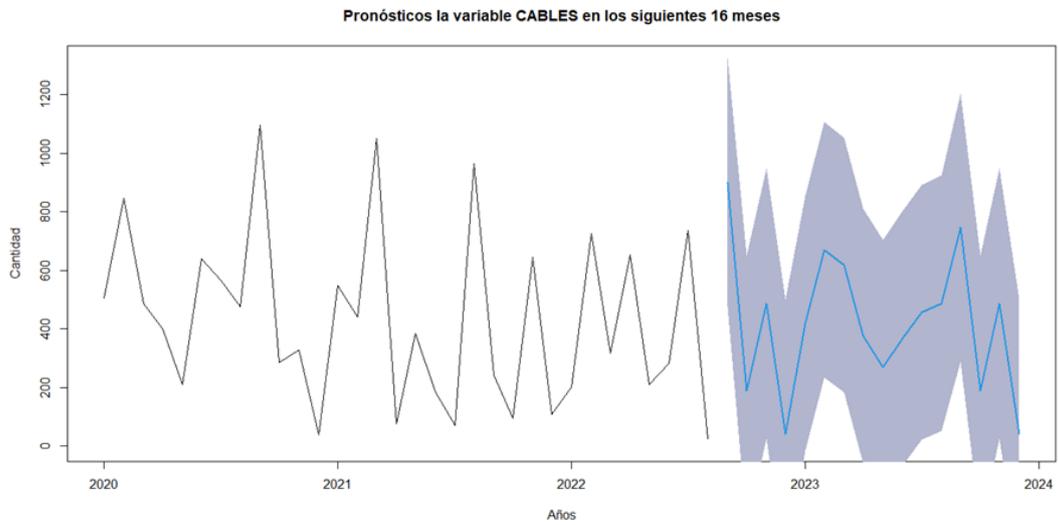


Figura 3.6 Pronostico de la familia CABLES
[Elaboración propia]

Los pronósticos de esta familia Cables para el año 2023 se presentan en la Tabla 3.3

Tabla 3.3 Valores pronosticados del año 2023 para la familia CABLES
[Elaboración propia]

Mes	Pronóstico	Min 80%	Max 80%
Enero	419	0	854
Febrero	670	235	1106
Marzo	618	183	1053
Abril	376	0	811
Mayo	268	0	703
Junio	369	0	805
Julio	457	22	892
Agosto	488	53	923
Septiembre	747	289	1205
Octubre	190	0	651
Noviembre	486	25	948
Diciembre	42	0	500

3.2.3 Teflón

Para la familia Teflón, así mismo se ejecutó el análisis en el programa estadístico R, se analizó como una sola serie de tiempo la salida de estos repuestos, como vemos en la Figura 3.7 se verificó que la serie temporal presente una tendencia, comparando ACF y PACF, para la formulación del modelo orientativo.

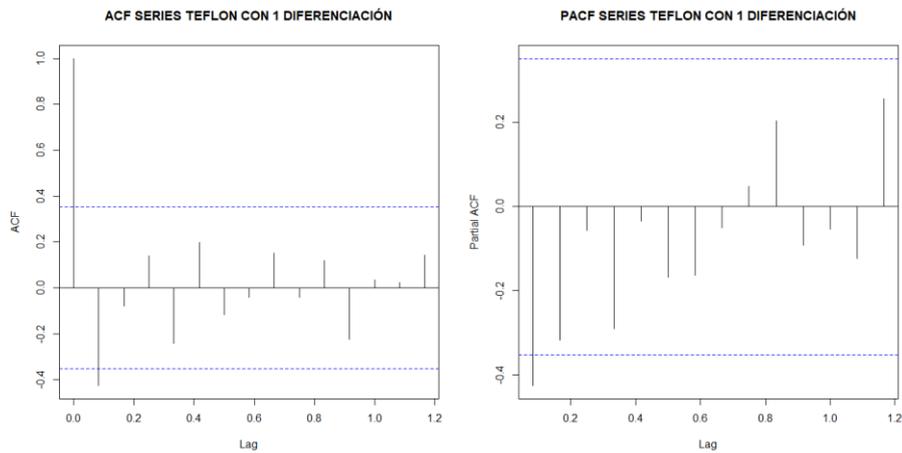


Figura 3.7 ACF y PACF de la familia TEFLON
[Elaboración propia]

Con los datos analizados se procedió a usar también la función autoarima con la cual se determinó el mejor modelo. Para el caso de la familia Teflón nos resultó el mejor modelo el ARIMA (0,1,1) como podemos observar en la Figura 3.8

ARIMA(2,1,2)	with drift	: Inf
ARIMA(0,1,0)	with drift	: 426.3743
ARIMA(1,1,0)	with drift	: 422.0367
ARIMA(0,1,1)	with drift	: Inf
ARIMA(0,1,0)		: 424.0884
ARIMA(2,1,0)	with drift	: 420.3568
ARIMA(3,1,0)	with drift	: 423.2131
ARIMA(2,1,1)	with drift	: Inf
ARIMA(1,1,1)	with drift	: Inf
ARIMA(3,1,1)	with drift	: Inf
ARIMA(2,1,0)		: 417.8185
ARIMA(1,1,0)		: 419.589
ARIMA(3,1,0)		: 420.4623
ARIMA(2,1,1)		: 418.6596
ARIMA(1,1,1)		: 416.0115
ARIMA(0,1,1)		: 413.6186
ARIMA(0,1,2)		: 416.0091
ARIMA(1,1,2)		: 418.0048
Best model: ARIMA(0,1,1)		

Figura 3.8 Aplicación de la función auto.arima() en la familia TEFLON
[Elaboración propia]

La Figura 3.9 muestra el comportamiento de la serie de tiempo de la familia Teflón y con color celeste el comportamiento del pronóstico bajo el modelo seleccionado.

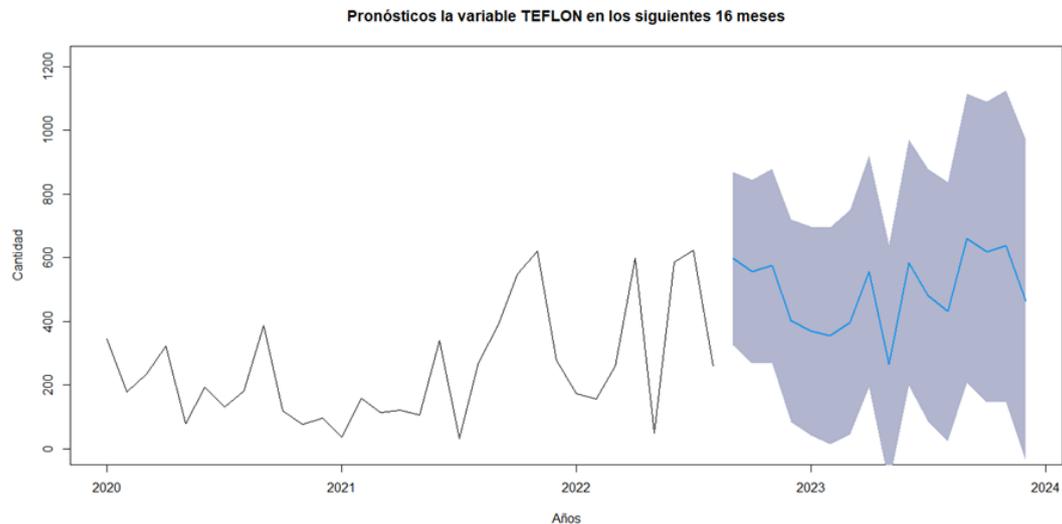


Figura 3.9 Pronostico de la familia TEFLON
[Elaboración propia]

Los pronósticos de esta familia Teflón para el año 2023 se presentan en la Tabla 3.4

Tabla 3.4 Valores pronosticados del año 2023 para la familia TEFLON

[Elaboración propia]

Mes	Pronóstico	Min 80%	Max 80%
Enero	370	42	698
Febrero	355	14	695
Marzo	397	45	749
Abril	557	193	921
Mayo	267	0	641
Junio	585	199	971
Julio	483	87	879
Agosto	432	25	838
Septiembre	661	208	1114
Octubre	619	148	1090
Noviembre	638	150	1127
Diciembre	466	0	971

3.2.4 Terminales

Para la cuarta familia Terminales, así mismo se ejecutó el análisis en el programa estadístico R, se analizó como una sola serie de tiempo la salida de estos repuestos, como se visualiza en la Figura 3.10 se verificó que la serie temporal presente una tendencia, comparando ACF y PACF, para la formulación del modelo orientativo.

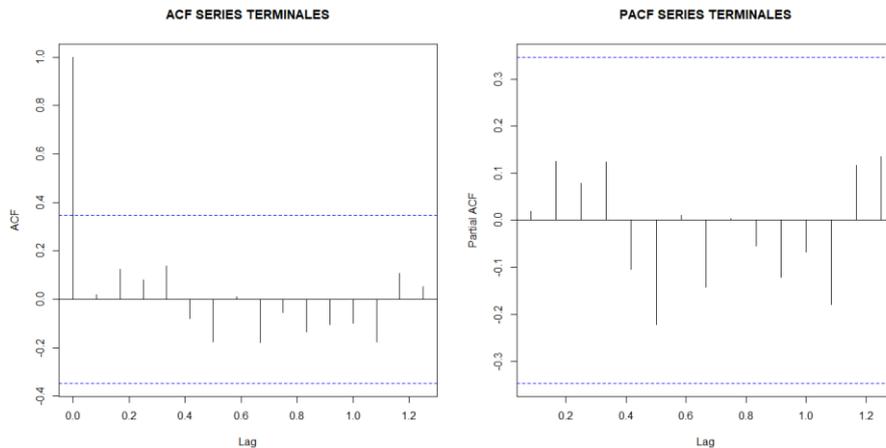


Figura 3.10 ACF y PACF de la familia TERMINALES
[Elaboración propia]

Con los datos analizados se procedió a usar también la función autoarima con la cual nos arrojó el mejor modelo. Para el caso de la familia Terminales se determina que el mejor modelo el ARIMA (0,0,0) como podemos observar en la Figura 3.11

```
ARIMA(2,0,2)           with non-zero mean : Inf
ARIMA(0,0,0)           with non-zero mean : 437.4457
ARIMA(1,0,0)           with non-zero mean : 439.8747
ARIMA(0,0,1)           with non-zero mean : 439.878
ARIMA(0,0,0)           with zero mean      : 452.658
ARIMA(1,0,1)           with non-zero mean : 442.1585

Best model: ARIMA(0,0,0)           with non-zero mean
```

Figura 3.11 Aplicación de la función auto.arima() en la familia TERMINALES
[Elaboración propia]

La Figura 3.12 señala el proceder de la serie de tiempo de la familia Terminales y con color celeste el comportamiento del pronóstico bajo el modelo seleccionado.

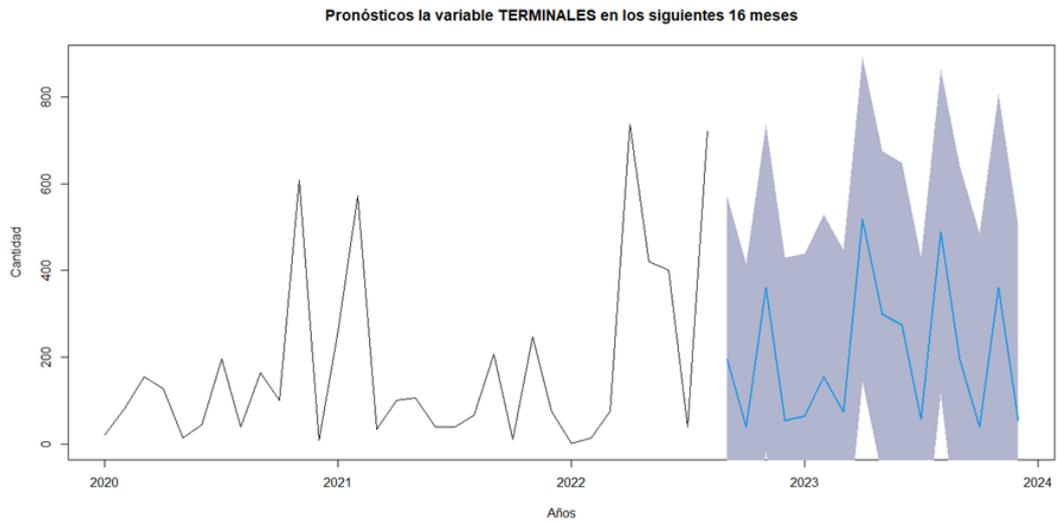


Figura 3.12 Pronostico de la familia TERMINALES
[Elaboración propia]

Los pronósticos de esta familia Terminales para el año 2023 se muestran en la Tabla 3.5

Tabla 3.5 Valores pronosticados del año 2023 para la familia TERMINALES
[Elaboración propia]

Mes	Pronóstico	Min 80%	Max 80%
Enero	66	0	439
Febrero	156	0	530
Marzo	74	0	448
Abril	518	144	892
Mayo	301	0	675
Junio	275	0	649
Julio	58	0	431
Agosto	490	116	864
Septiembre	195	0	642
Octubre	39	0	486
Noviembre	361	0	808
Diciembre	55	0	502

3.2.5 Aceites

Para la quinta familia Aceites, se ejecutó el análisis en el programa estadístico R, se analizó como una sola serie de tiempo la salida de estos repuestos, como vemos en la Figura 3.13 se verificó que la serie temporal presente una tendencia, comparando ACF y PACF, para la formulación del modelo orientativo.

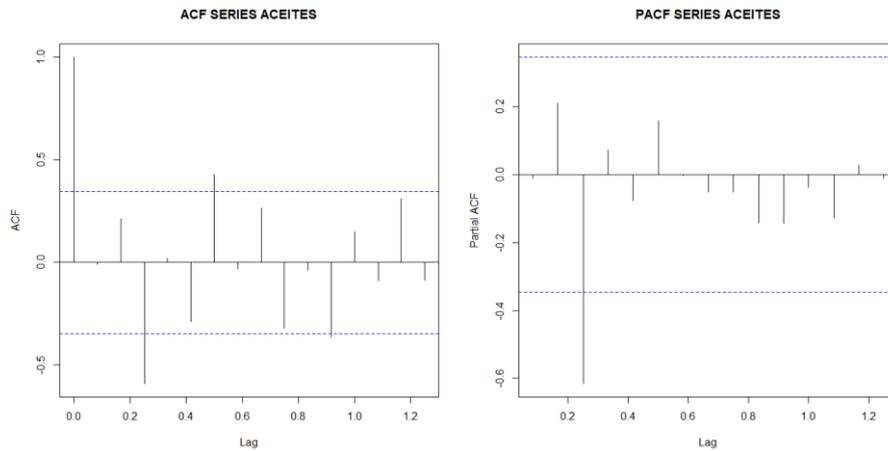


Figura 3.13 ACF y PACF de la familia ACEITES
[Elaboración propia]

Con los datos analizados se procedió a usar también la función autoarima con la cual se determinó el mejor modelo. Para el caso de la familia Aceites se concluye que el mejor modelo el ARIMA (0,0,0) como podemos observar en la Figura 3.14

```
ARIMA(2,0,2) with non-zero mean : Inf
ARIMA(0,0,0) with non-zero mean : 390.2333
ARIMA(1,0,0) with non-zero mean : 392.6735
ARIMA(0,0,1) with non-zero mean : 392.6744
ARIMA(0,0,0) with zero mean : 428.261
ARIMA(1,0,1) with non-zero mean : Inf

Best model: ARIMA(0,0,0) with non-zero mean
```

Figura 3.14 Aplicación de la función auto.arima() en la familia ACEITES
[Elaboración propia]

La Figura 3.15 muestra el comportamiento de la serie de tiempo de la familia Terminales y con color celeste el comportamiento del pronóstico bajo el modelo seleccionado.

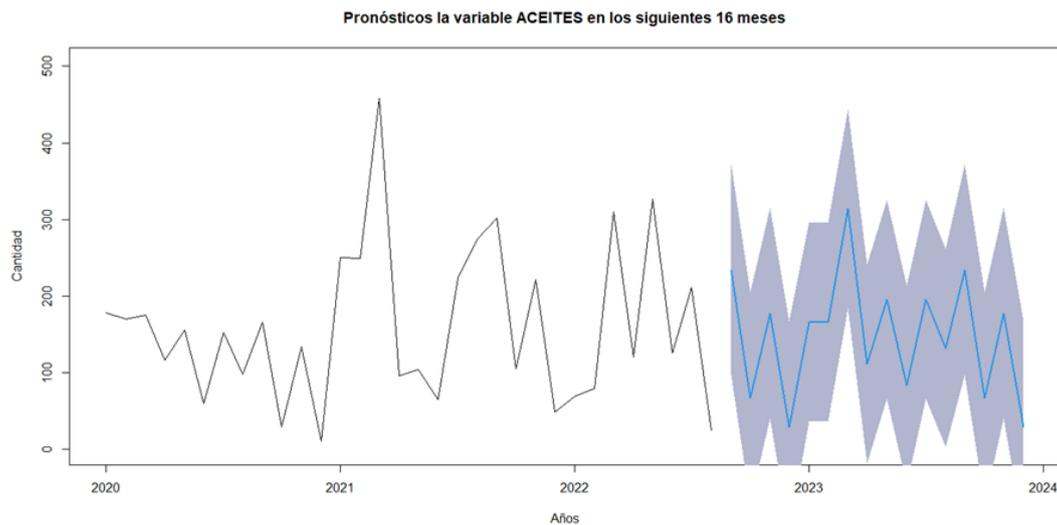


Figura 3.15 Pronóstico de la familia ACEITES
[Elaboración propia]

Los pronósticos de esta familia Aceites para el año 2023 se muestran en la Tabla 3.6

Tabla 3.6 Valores pronosticados del año 2023 para la familia ACEITES
[Elaboración propia]

Mes	Pronóstico	Min 80%	Max 80%
Enero	166	37	296
Febrero	166	37	296
Marzo	315	185	444
Abril	111	0	241
Mayo	196	66	325
Junio	84	0	214
Julio	196	66	325
Agosto	133	3	262
Septiembre	234	97	372
Octubre	67	0	205
Noviembre	178	41	315
Diciembre	29	0	167

3.3 Modelo de Revisión Continua

Una vez obtenidos los pronósticos se procedió a realizar el modelo de Revisión Continua de las familias seleccionadas, la empresa solicita que el nivel del servicio sea del 95% y el lead time de 1 mes.

En la Tabla 3.7 podemos ver los valores dados por este modelo que sirven para la planificación del 2023.

Tabla 3.7 Cantidad a pedir del modelo de RC

[Elaboración propia]

Familia	Demanda anual	Desviación estándar	Demanda promedio mensual	A (Costo por ordenar)	C (Costo Promedio)	H (Costo por mantener)	Q*	SS	R
ORING	15781	229	1316	\$1,500.00	\$ 10.88	\$ 1.09	6591	321	1637
CABLES	5130	201	428	\$ 250.00	\$ 1.91	\$ 0.29	2997	282	710
TEFLON	5830	127	486	\$ 100.00	\$ 0.97	\$ 0.15	2831	178	664
TERMINALES	2588	173	216	\$ 100.00	\$ 0.05	\$ 0.05	3218	243	459
ACEITES	1875	79	157	\$1,500.00	\$ 20.67	\$ 3.50	1268	111	268

Como el reabastecimiento no se realiza por familia, sino por sku se procedió a hacer la distribución de la cantidad a pedir según la participación de salida de cada sku por cada familia.

En este caso para demostrar el comportamiento de esta política se tomó la familia de aceites. Ya teniendo la cantidad optima a pedir que es Q* en este caso 1268 gal, se hizo la distribución para cada uno de los sku pertenecientes a esa familia como podemos ver en la Tabla 3.8.

Se identificó que las cantidades no son enteras entonces se redondeó al inmediato superior, dejándonos como resultado un Q** para esta familia de 1280 gal.

Tabla 3.8 Cantidad a pedir mediante el modelo de RC según el porcentaje de participación de la familia ACEITES

[Elaboración propia]

Código Producto	Descripción producto	% de participación	Q*	Q**
A04010	ACEITE VILTER 717 -	26.76%	339.37	340
A04036	ACEITE # 20W50 -	18.63%	236.23	237
A04254	ACEITE # 40 PARA MOTOR A DIESEL -	11.02%	139.71	140
A04008	ACEITE MOBILGEAR SHC - 320 -	10.29%	130.46	131
A04040	ACEITE # 40 PARA MOTOR A GASOLINA -	9.94%	126.05	127
A01015	ACEITE RAND OIL HD-46 -	6.95%	88.15	89
A04016	ACEITE FULL SINT. SUMMIT SYNGEAR FG ISO 460 -	3.61%	45.84	46
A04002	ACEITE IR ULTRA COOLANT # 38459582 -	2.09%	26.44	27
A20000	ACEITE AEON 9000SP SINT. 8000H CGD-NW -	2.02%	25.56	26
A04129	ACEITE # 90 -	1.62%	20.49	21
A05041	ACEITE P COMPRESOR TORNILLO GRADO ALIMENT -	1.11%	14.10	15
A10033	ACEITE SOLUBLE -	0.96%	12.12	13
A04029	ACEITE # 300 ARTIC -	0.87%	11.02	12
A02041	ACEITE BESLUX AIR-ATOX 46/CF NW -	0.78%	9.92	10
A04078	ACEITE TRANSMICION ATF DEXRON III-VALVOLINE -	0.78%	9.92	10
A04011	ACEITE # 140 -	0.73%	9.26	10
A04046	ACEITE RANDO OIL HD-32 -	0.73%	9.26	10
A02014	ACEITE #110756-005 P/COMPRESO QUINCY -	0.54%	6.83	7
A04015	ACEITE 2 TIEMPO -	0.30%	3.75	4
A04058	ACEITE ALL SEASON INGERSOLL RAND -	0.17%	2.20	3
A02081	ACEITE 2T HP (BOMBA DE MOTOR) -	0.10%	1.32	2

3.4 Modelo Silver Meal

Se realizó el modelo de Silver Meal bajo el mismo esquema de planificación agregada, y se revisó el comportamiento de las 5 familias ya mencionadas.

La heurística se ejecutó para cada ciclo de pedido, desde uno, dos o más ciclos y se detiene cuando aumenta el precio promedio del siguiente ciclo y luego se construye para colocar una orden en el ciclo con un precio promedio más bajo. En la Tabla 3.9,

Tabla 3.10, Tabla 3.11, Tabla 3.12, Tabla 3.13 muestran los planes para las 5 familias que se utilizaron en esta heurística.

Tabla 3.9 Planificación agregada para la familia ORING

[Elaboración propia]

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inv. Inicial	0	2111	1032	0	1133	0	2727	1353	0	0	0	0
Tamaño de lote	3109			2309		4135			1397	1579	1641	1611
Demanda	998	1079	1032	1176	1133	1408	1374	1353	1397	1579	1641	1611
Inv. Final	2111	1032	0	1133	0	2727	1353	0	0	0	0	0

Tabla 3.10 Planificación agregada para la familia CABLES

[Elaboración propia]

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inv. Inicial	0	166	0	391	280	84	0	641	508	274	207	29
Tamaño de lote	332		706				837					
Demanda	166	166	315	111	196	84	196	133	234	67	178	29
Inv. Final	166	0	391	280	84	0	641	508	274	207	29	0

Tabla 3.11 Planificación agregada para la familia TEFLON

[Elaboración propia]

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inv. Inicial	0	1576	1221	824	267	0	915	432	0	1723	1104	466
Tamaño de lote	1946					1500			2384			
Demanda	370	355	397	557	267	585	483	432	661	619	638	466
Inv. Final	1576	1221	824	267	0	915	432	0	1723	1104	466	0

Tabla 3.12 Planificación agregada para la familia TERMINALES

[Elaboración propia]

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inv. Inicial	0	1382	1226	1152	634	333	58	0	650	455	416	55
Tamaño de lote	1448							1140				
Demanda	66	156	74	518	301	275	58	490	195	39	361	55
Inv. Final	1382	1226	1152	634	333	58	0	650	455	416	55	0

Tabla 3.13 Planificación agregada para la familia ACEITES

[Elaboración propia]

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inv. Inicial	0	166	0	720	609	413	329	133	0	274	207	29
Tamaño de lote	332		1035						508			
Demanda	166	166	315	111	196	84	196	133	234	67	178	29
Inv. Final	166	0	720	609	413	329	133	0	274	207	29	0

Al igual que en el modelo de Revisión Continua después de haber determinado el tamaño de lote para hacer el reabastecimiento, se distribuyó el tamaño del lote en cada pedido según la participación de salida de cada sku.

Como podemos observar en la Tabla 3.14 de la familia aceites, teniendo en cuenta que los valores no son enteros por lo cual se redondeó al inmediato superior teniendo un tamaño de lote total en el pedido uno de 342 gal, en el pedido dos un total de 1045 gal y en el pedido tres un total de 516 gal.

Tabla 3.14 Cantidad a pedir mediante el algoritmo Silver Meal según el porcentaje de participación de la familia ACEITES

[Elaboración propia]

Código Producto	Descripción producto	% de participación	Tamaño de lote Pedido 1 (Ene)	Tamaño de lote Pedido 2 (Mar)	Tamaño de lote Pedido 3 (Sep)
A04010	ACEITE VILTER 717 -	26.76%	89	278	136
A04036	ACEITE # 20W50 -	18.63%	62	193	95
A04254	ACEITE # 40 PARA MOTOR A DIESEL -	11.02%	37	115	56
A04008	ACEITE MOBILGEAR SHC - 320 -	10.29%	35	107	53
A04040	ACEITE # 40 PARA MOTOR A GASOLINA -	9.94%	34	103	51
A01015	ACEITE RAND OIL HD-46 -	6.95%	24	72	36
A04016	ACEITE FULL SINT. SUMMIT SYNGEAR FG ISO 460 -	3.61%	13	38	19
A04002	ACEITE IR ULTRA COOLANT # 38459582 -	2.09%	7	22	11
A20000	ACEITE AEON 9000SP SINT. 8000H CGD-NW -	2.02%	7	21	11
A04129	ACEITE # 90 -	1.62%	6	17	9
A05041	ACEITE P COMPRESOR TORNILLO GRADO ALIMENT	1.11%	4	12	6
A10033	ACEITE SOLUBLE -	0.96%	4	10	5
A04029	ACEITE # 300 ARTIC -	0.87%	3	9	5
A02041	ACEITE BESLUX AIR-ATOX 46/CF NW -	0.78%	3	9	4
A04078	ACEITE TRANSMICION ATF DEXRON III-VALVOLINE	0.78%	3	9	4
A04011	ACEITE # 140 -	0.73%	3	8	4
A04046	ACEITE RANDO OIL HD-32 -	0.73%	3	8	4
A02014	ACEITE #110756-005 P/COMPRESO QUINCY -	0.54%	2	6	3
A04015	ACEITE 2 TIEMPO -	0.30%	1	4	2
A04058	ACEITE ALL SEASON INGERSOLL RAND -	0.17%	1	2	1
A02081	ACEITE 2T HP (BOMBA DE MOTOR) -	0.10%	1	2	1

3.5 Comparativa de Costos

En este punto se analizó el comportamiento de pedido y venta de las familias estudiadas para el año 2021, se enfocó el análisis en la salida del producto y como

fueron reabastecidos los productos por las familias ese año, frente a los dos modelos estudiados.

En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** podemos apreciar los costos de haber utilizado la política con RC bajo la demanda real de ese año podemos darnos cuenta de que ese año una política con Revisión Continua para las 5 familias que comprenden un total de 197 sku, hubiera sido de \$216,253.36.

Tabla 3.15 Costos asociados aplicando el modelo de RC
[Elaboración propia]

Familia	Costos por pedir con RC	Costo inventario con RC	Costos totales con RC
ORING	\$ 3,000.00	\$ 82,304.88	\$ 85,304.88
CABLES	\$ 750.00	\$ 19,052.95	\$ 19,802.95
TEFLON	\$ 100.00	\$ 2,273.39	\$ 2,373.39
TERMINALES	\$ 100.00	\$ 265.30	\$ 365.30
ACEITES	\$ 4,500.00	\$103,906.83	\$108,406.83
TOTAL			\$216,253.36

En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** podemos apreciar los costos de haber utilizado la política Silver Meal bajo la demanda real de ese año podemos darnos cuenta de que ese año una política bajo el modelo Silver Meal para las 5 familias que comprenden un total de 197 sku, hubiera sido de \$136,317.58.

Tabla 3.16 Costos asociados aplicando el algoritmo Silver Meal
[Elaboración propia]

Familia	Costos por pedir Silver Meal	Costo Inventario Silver Meal	Costos totales Silver Meal
ORING	\$ 4,500.00	\$51,377.69	\$ 55,877.69
CABLES	\$ 1,000.00	\$10,519.98	\$ 11,519.98
TEFLON	\$ 400.00	\$ 5,856.86	\$ 6,256.86
TERMINALES	\$ 100.00	\$ 175.90	\$ 275.90
ACEITES	\$ 4,500.00	\$57,887.15	\$ 62,387.15
TOTAL			\$ 136,317.58

En la Tabla 3.17 se reflejan los costos de no haber utilizado ninguna política ese año para los 197 sku perteneciente a las 5 familias, los costos totales fueron de \$205,129.19.

Tabla 3.17 Costos asociados por método empírico

[Elaboración propia]

Familia	Costos por pedir	Costo Inventario actual	Costos totales actual
ORING	\$18,000.00	\$73,652.31	\$ 91,652.31
CABLES	\$ 3,000.00	\$15,897.17	\$ 18,897.17
TEFLON	\$ 1,200.00	\$ 3,834.26	\$ 5,034.26
TERMINALES	\$ 1,200.00	\$ 487.95	\$ 1,487.95
ACEITES	\$18,000.00	\$70,057.50	\$ 88,057.50
TOTAL			\$ 205,129.19

Podemos apreciar que la política bajo el modelo Silver Meal nos arrojó un ahorro del 33% de los costos reales.

También se observó que la política con RC incremento los costos este año, pero tener una política de inventario genera que se minimice el riesgo de tener un quiebre de stock, como en este caso los productos son repuestos, es más importante disminuir ese riesgo ya que la falta de alguno de ellos puede significar la interrupción de la producción por mucho tiempo y esto reflejo un gasto más representativo que los \$11,124.17 perteneciente al 5.42% de incremento por aplicar esta política.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

La clasificación ABC nos faculto diagnosticar que el 13% de los repuestos son los más simbólicos en base a las unidades solicitadas por producción.

Con la política con RC para las familias seleccionadas se incrementó el costo en 5.42% de los costos totales reales, pero este no es tan representativo a sufrir un quiebre de stock por la naturaleza de los productos analizados.

Se pudo constatar que al usar una heurística en los modelos de inventario se puede reducir representativamente los costos reales, debido a que se equilibran los costos de pedir y almacenar.

El comparativo de costos en el año 2021 nos demostró que utilizando el modelo heurístico de Silver Meal ahorramos entre el 25% y 35% de los costos totales reales.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar una planificación agregada por familia debido a la gran cantidad de ítems que se tiene, por lo tanto, se aconseja realizar el estudio con los modelos planteado por los menos a 15 familias que contenga los sku con mayor peso en la categoría A, porque como se ha evidenciado se pueden obtener ahorros significativos y se puede establecer una mejor planificación en las fechas de reabastecimiento.

Como la demanda tiene mucha variabilidad, estos pronósticos se deben reajustar entre 6 meses y 12 meses para mejorar la confiabilidad en la toma de decisiones al momento de reabastecerse.

BIBLIOGRAFIA

- Chalmet, L. G., Francis, R. L., & Saunders, P. B. (Febrero de 1982). Network models for building evacuation. *Fire Technol* 18, 90-113. doi:10.1007/BF02993491
- Desobras, B. (2019). *Ordenar el almacén*. Recuperado el Octubre de 2022, de <https://desobras.es/blog/wp-content/uploads/2019/06/ordenar-el-almac%C3%A9n-768x512.jpg>
- Díaz Madero, C. (2021). *Costos de inventario*. Netlogistik. Obtenido de https://www.netlogistik.com/hubfs/M%C3%A9xico/Marketing/P%C3%A1gina%20Web/P%C3%A1ginas/Blog/Portadas%20de%20Blog/Net_Blog_Portada_Costos-Inventarios_0821_Op.png
- Ebert, R. J., & Adam, E. E. (1998). *ADMINISTRACION DE LA PRODUCCION Y LAS OPERACIONES CONCEPTOS, MODELOS Y FUNCIONAMIENTO*. (Cuarta ed.). Mexico: Prentice-Hall Hispanoamerica.
- Gaither, N., & Frazier, G. (2013). *Administración de producción y operaciones* (Cuarta ed.). Cengage Learning Latin America.
- Gallego, G., & Özer, Ö. (1 de Abril de 2003). Optimal Replenishment Policies for Multiechelon Inventory Problems Under Advance Demand Information. *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(2), 157-175. doi:10.1287/msom.5.2.157.16072
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES* (Novena ed.). Delegación Álvaro Obregón, México: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2014). *ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES. PRODUCCIÓN Y CADENA DE SUMINISTROS* (Decimotercera ed.). México, D. F.: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Johnson, M. E., & Whang, S. (5 de Enero de 2009). E-BUSINESS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: AN OVERVIEW AND FRAMEWORK. *Production and Operations Management*, 11(4), 413-423. doi:10.1111/j.1937-5956.2002.tb00469.x

- Juan, Á. A., & García Martín, R. (2007). *Gestión de stocks: modelos deterministas*. Universitat Oberta de Catalunya, Secretaría de Estado de Educación y, Catalunya.
- Özer, Ö. (Marzo de 2003). Replenishment Strategies for Distribution Systems Under Advance Demand Information. *Management Science*, 49(3), 255-350. doi:10.1287/mnsc.49.3.255.12738
- Peiró, R. (2022). *Análisis ABC*. Economipedia. Recuperado el Octubre de 2022, de <https://economipedia.com/wp-content/uploads/An%C3%A1lisis-ABC.jpg>
- Petropoulos, F., & Kourentzes, N. (2015). Forecast combinations for intermittent demand. *Journal of the Operational Research Society*, 66(6), 914–924. doi:10.1057/jors.2014.62
- Pohlen, T. L., & La Londe, B. J. (1994). Implementing activity-based costing (ABC) in logistics. *Journal of Business Logistics*, 15(2). doi:10.1002
- Pujawan, I. N. (16 de Diciembre de 2004). The effect of lot sizing rules on order variability. *European Journal of Operational Research*, 159(3), 617-635. doi:10.1016/S0377-2217(03)00419-3
- Pujawan, I. N., & Silver, E. A. (2008). Augmenting the lot sizing order quantity when demand is probabilistic. *European Journal of Operational Research*, 188(3), 705-722. doi:10.1016
- Ramos Rodrigues, L., & Yoneyama, T. (2020). A spare parts inventory control model based on Prognostics and Health monitoring data under a fill rate constraint. *Computers & Industrial Engineering*, 148. doi:106724
- Ritzman, L. J., & Krajewski, L. P. (2008). *ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES*. México: PERSON EDUCACIÓN.
- Schroeder, R. G. (2011). *Administración de operaciones*. México: Mc Graw Hill.
- Syntetos, A. A., & Boylan, J. E. (2005). The accuracy of intermittent demand estimates. *International Journal of Forecasting*, 21(2), 303-314. doi:10.1016/j.ijforecast.2004.10.001
- Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones* (Novena ed.). Estado de México, México: Pearson Educación.
- Tan, T., Güllü, R., & Erkip, N. (2007). Modelling imperfect advance demand information and analysis of optimal inventory policies. *European Journal of Operational Research*, 177(2), 897-923. doi:10.1016/j.ejor.2005.12.031
- Valbuena, L. J. (24 de 10 de 2022). *Prónotico Experto*. Obtenido de <https://www.pronosticoexperto.com/>

- van Donselaar, K., Rock Kopczak, L., & Wouters, M. (2001). The use of advance demand information in a project-based supply chain. *European Journal of Operational Research*, 130(3), 519-538. doi:10.1016/S0377-2217(99)00411-7
- Villarreal, F. (2016). *Introducción a los Modelos de Pronósticos*. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Matemática, Bahía Blanca.
- Wang, W., & Syntetos, A. A. (2011). Spare parts demand: Linking forecasting to equipment maintenance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 1194-1209. doi:10.1016

ANEXOS

```
private static double StandardDeviation(IEnumerable<double> values)
{
    {
        double average = values.Average();
        return Math.Sqrt(values.Sum(x => Math.Pow(x - average, 2)) /
values.Count());
    }
}
```

```
private static double NormalDistributionZValue(double porcentaje)
{
    int inicioBusqueda = 0;
    switch (porcentaje)
    {
        case double n when (n < 0.1):
            inicioBusqueda = 0;
            break;
        case double n when (n < 0.2):
            inicioBusqueda = 260;
            break;
        case double n when (n < 0.3):
            inicioBusqueda = 304;
            break;
        case double n when (n < 0.4):
            inicioBusqueda = 336;
            break;
        case double n when (n < 0.5):
            inicioBusqueda = 363;
            break;
        case double n when (n < 0.6):
            inicioBusqueda = 398;
```

```

        break;
    case double n when (n < 0.7):
        inicioBusqueda = 432;
        break;
    case double n when (n < 0.8):
        inicioBusqueda = 459;
        break;
    case double n when (n < 0.9):
        inicioBusqueda = 491;
        break;
    default:
        inicioBusqueda = 535;
        break;
}
int pos = 0;
for (int i = inicioBusqueda; i < normalChart.Count; i++)
{
    pos = i;
    if (normalChart[i][1] > porcentaje)
        break;
}
return normalChart[pos][0];
}
}

```

Función Revision Continua

```

public static RCResult RC(ItemDemand itemDemand, double pendingCost = 0,
double serviceLevel = 0, int leadTime = 0, double orderCost = 0)
{
    double demandaProm = itemDemand.Demands.Average(x => x.Quantity);
    double demandaAnual = demandaProm * 12.0;
    var demandOrd = itemDemand.Demands.OrderBy(x =>
x.Quantity).ToList();

```

```

        double demandaMedian = (demandOrd.Count % 2 == 0) ?
            (demandOrd[demandOrd.Count / 2].Quantity +
demandOrd[(demandOrd.Count / 2) - 1].Quantity) / 2 :
            itemDemand.Demands[itemDemand.Demands.Count / 2].Quantity;
        double maintenanceCost = itemDemand.Demands.Sum(x =>
x.MaintenanceCost) * (12.0 / itemDemand.Demands.Count);
        double raiz1 = maintenanceCost > 0 ? Math.Sqrt(2 * demandaAnual *
orderCost / maintenanceCost) : 0;
        double raiz2 = pendingCost > 0 ? Math.Sqrt((pendingCost +
maintenanceCost) / pendingCost) : 1;

        var z = NormalDistributionZValue(serviceLevel);
        var stdDeviation = StandardDeviation(itemDemand.Demands.Select(x =>
x.Quantity));

        int reorderQuantity = Convert.ToInt32(raiz1 * raiz2);
        var securityStock = z * stdDeviation * Math.Sqrt(leadTime);
        var reorderPoint = Math.Max((demandaProm * leadTime) + securityStock,
0);

        return new RCResult(reorderQuantity, reorderPoint, securityStock);
    }

```