



Trabajo de grado en modalidad de aplicación

[183033] Diseño de un modelo de gestión de producción e inventarios para la empresa ESP FILTERS.

Andrés Felipe Bernal Andrade^{a,c}, Nicolas Torres Joya^{a,c}, Jorge Daniel Palomino Mendez^{a,c}, David Santiago Triviño^{a,c}

Raúl Fabián Roldán Nariño^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Abstract

ESP Filters is a company that applies processes of importation and production for the commercialization of filters for vehicles nationwide. The imported products correspond to three categories of filters: air, oil and fuel while the products manufactured correspond to the air filters. The company is located in Fontibón sector in Bogotá, Colombia, the commercial strength of ESP Filters is the national market, however, it has been exploring the international market in Latin American countries for a year with more than 500 references.

The main policy of the company consists in complying with its sales orders and not generate backorders. Currently, the methodology implemented by management and its operators is to respond the demand by producing and importing the respective references of filters for the sales orders imposed by the distributors. Therefore, in order to not breach the main policy, a security stock is defined for references with a high sales trend, considering that the maximum capacity of the warehouse is 200,000 units.

The decisions that are made in the internal processes of an organization without support or study of data can cause problems that impact beyond the areas involved. The consequences of mismanagement of a company's inventory can lead to stockouts or overstocks. In the case of overstocks, unnecessary costs are generated in storage and in the case of stockouts, losses are generated like that of customers, since an order cannot be supplied due to lack of stock. In addition, the inventory department is affected when a tool that evidences an approximation to the forecast of the demand is not used.

Currently, ESP Filters does not have methodologies or models that help minimize the costs of inventories, production and imports nor heuristics that allow predicting demand for future periods. Its methodology for planning input requirements or importing of products is based on sales contemplations which do not have verifiable hypotheses. For this reason, the design of an inventory management model was proposed for the products that generate the greatest economic impact in the company. The main function of this tool is to give management the ability to improve decision making in relation to the cost that is implemented in the planning of the input requirements for the references produced and in the planning of imported references. It should be noted that it is important to determine a good forecast in order not to generate unnecessary storage costs.

To determine good practices in the development of the prototype, the ISO 13053 standard was chosen to ensure that the design meets the standards. ISO 13053-1: 2011 describes a business improvement methodology known

as Six Sigma. The methodology typically comprises five phases: define, measure, analyze, improve and control (DMAIC) and is applicable to organizations that use manufacturing processes, as well as service and transaction processes.

After identifying the sales behavior of the main references over the last five years, the tool allows to visualize the planning of the material requirements that are necessary for the production of each reference in their established periods, taking into account that it allows to visualize the total costs of four different MRP policies and the modification of variables such as lead times, number of parts required, costs involved, security stock, among others. For imported references, the tool allows the establishment of three different inventory policies, allowing the parameters involved to be manipulated and enabling the associated costs of each implementation to be visualized.

The result is defined as the reduction of costs compared to the policy that the company currently exercises and new alternatives for better decision making for the planning of raw material requirements or product imports.



Imagen 1. Interfaz aplicativo de políticas de inventario para productos importados construcción por el autor

materiales AC-3053	cantidad de partes	Lead Time	Tamaño lote / política	inventario disponible	Stock seguridad	costo por ordenar K	costo inventario	costo ensamble	costo total	lote a lote
AC-3053	1	1	1	0	0	\$ 600,000.00	\$ 47.27	\$ 3,993,040.60	\$ 8,172,760.60	MCU
CAJA	1	1 x	1 x	0	0	\$ 426,000.00	\$ 47.27	\$ 993,240.00		PPB
BOLSA	1	0 x	0 x	0	0	\$ 426,000.00	\$ 47.27	\$ 426,000.00		Silver
PEGAMENTO	1	0 x	0 x	0	0	\$ 426,000.00	\$ 47.27	\$ 426,000.00		
FIBRA	1	0 x	0 x	0	0	\$ 600,000.00	\$ 47.27	\$ 1,167,240.00		
FILTRO DE PAPEL	1	3 x	3 x	0	0	\$ 600,000.00	\$ 47.27	\$ 1,167,240.00		

Imagen 1. Interfaz aplicativo de MRP para productos producidos construcción por el autor

Palabras claves: Clasificación ABC, pronósticos de inventarios, Plan de producción, modelos de inventarios, MRP.

1. Justificación y planteamiento del problema

La cadena de abastecimiento de ESP Filters inicia con dos diferentes órdenes de compra. Una corresponde a los filtros importados y otra a los insumos o materias primas para las referencias que son producidas. Continúa con la recepción, producción y almacenamiento tanto de materia prima como de producto terminado y finaliza con la comercialización de sus productos a empresas minoristas, (diagrama 1).

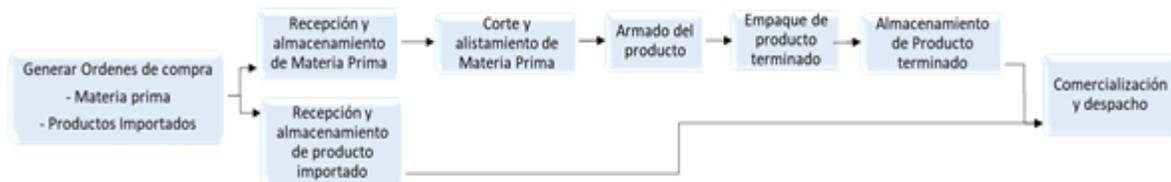


Diagrama 1. Diagrama de flujo de operaciones de empresa ESP filters construcción por el autor.

Por medio de un estudio diagnóstico realizado a través de recorridos y visitas en la empresa se genera el siguiente DOFA, Tabla 2 y 3. Esta herramienta permite evidenciar fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades de la operación.

Fortalezas	Debilidades
Los productos comercializados por la empresa tienen una percepción de alta calidad por parte de los consumidores, los cuales hace que sus clientes sean recurrentes.	No cuenta con un sistema que permita identificar la necesidad de compra de producto importado o materia prima, por lo cual las órdenes de pedido se realizan de manera empírica y de acuerdo con el flujo de caja de cada momento.
Cuenta con cuatro años de experiencia en el mercado de filtros para autos, lo que permite ser reconocido y preferido frente a la competencia por sus clientes.	La empresa no tiene un sistema que brinde certeza y exactitud en la medición de rotación de materias primas y de referencias importadas.
Uno de sus socios tiene aproximadamente 20 años de experiencia en la importación y exportación de artículos para autos, lo que permite tener ventaja competitiva en la estrategia de abastecimiento.	La producción se realiza con personal interno y con satélites, esto genera una producción variable dependiendo de las personas disponibles.
La cultura de la empresa se encuentra abierta al cambio y cuenta con las intenciones de mejorar sus procesos de producción.	Una orden de producción es generada cuando se observa que en el inventario no hay producto suficiente para el despacho.
Cuenta con un portafolio de clientes fidelizados que son recurrentes por la calidad que percibe en sus productos.	No se tiene políticas de producción ni controles definidos para los procesos de producción.
Cuenta con el certificado de origen de sus productos lo que permite una exportación libre de aranceles.	El 90% del proceso de producción es manual y el 10% restante es semiautomático.
	Existe un inventario no medido de unidades importadas y producto terminado que no tienen la rotación esperada.
	La distribución de los procesos en la planta no permite un flujo continuo del material en producción.
Oportunidades	Amenazas
Implementar estrategias de tercerización o producción en satélites para algunas actividades del proceso.	En el mercado existen empresas con una capacidad mayor de producción las cuales pueden cumplir con pedidos de mayor volumen.
Incursionar en nuevos mercados internacionales ya que, al contar con un certificado de origen de los productos, las operaciones son libres de aranceles	La incursión de empresas extranjeras en el mercado de filtros para vehículos.

Tabla 1. Cuadro DOFA construcción por autor.

De acuerdo con el DOFA y su respectivo análisis, se encontró que las áreas y/o procesos los cuales tiene oportunidades de mejora y pueden generar un gran impacto, son el control de inventario y el manejo de producción. Para entender de mejor manera lo mencionado anteriormente, se dividió los productos de la organización en dos líneas, estas corresponden a los productos importados y los fabricados por ESP Filters. Dentro de la empresa se puede encontrar una gran variedad de unidades almacenadas de ambas líneas de productos, pues se tiene la filosofía de nunca incumplir con una orden de compra tanto para el tiempo establecido como en las unidades a entregar. A pesar de tener la intención de siempre satisfacer a los clientes, esta filosofía genera inventario de producto terminado por un periodo de tiempo largo, en el cual para algunas referencias no hay mayor movimiento. Para los productos importados, ESP Filters tiene una política de ordenar referencias cada vez que ellos tengan la disponibilidad económica de hacerlo. Al manejar sus órdenes de pedido de esta manera generan una acumulación de referencias en la bodega de la empresa. Por otro lado las órdenes de producción de las unidades que ellos fabrican se hacen de manera empírica, esto se evidencia debido a que ellos producen bajo dos circunstancias; la primera es producir las unidades máximas posibles en un determinado periodo cuando se evidencia escasez de producto terminado, y la otra forma de producción consiste en suspender cualquier actividad y ejercer los procesos para satisfacer una orden de pedido grande, incluso si se está realizando una producción de cualquier referencia, esto sumado a que los procesos de producción son 90% manuales y 10% semiautomáticos lo que genera un desconocimiento por parte de la gerencia hacia el costo real de producción de una referencia. Estas formas de manejo de órdenes de pedido y producción sirven para el funcionamiento de una empresa, sin embargo, no son las mejores opciones debido a que no hay un conocimiento claro sobre cuántas unidades necesita pedir y/o fabricar, generando un aumento de los costos asociados a estas actividades.



Ilustración 3. Bodega en ESP Filters, realizada por el autor.

Conforma a la información suministrada por la empresa para diciembre del 2018 se encuentran 230,785 unidades de las 4 categorías del producto comercializadas en la empresa almacenadas como inventario, superando la capacidad de almacenamiento en un 15%, generando que las 30,785 unidades se guarden en lugares que no fueron designados para ello, como se puede apreciar en la ilustración 3. Este sobre exceso de inventario provocó que la gerencia de la empresa tomara la decisión de pasar los procesos de producción a otra planta y dejar una gran bodega para poder almacenar sus inventarios, además la misma rotación de los productos ayuda a generar una gran cantidad de productos almacenados pues dicha rotación es baja y muchas veces llevan guardadas más de 6 meses en la bodega, los procesos empíricos desarrollados por la empresa para su manejo de inventarios y pedidos de producción son susceptibles a mejoras a través de políticas de inventarios y un modelo de MRP.

Con lo anterior se puede concluir que ESP Filters tiene la oportunidad de implementar una herramienta que ayude a la gestión de producción e inventario, esto debido que los procesos de gestión para estas áreas son claves para el buen desarrollo de las organizaciones industriales. Para ello, debe haber una correcta planeación de este, con el fin de que la empresa asegure: i) reducir costos de inventario. ii) mayor flujo de efectivo. iii) liberar espacio dentro de la empresa que podrá ser utilizado para procesos de producción. iv) mejorar la utilidad

de la empresa. v) obtener información trascendental y en tiempo real que permita una correcta toma de decisiones por parte de la gerencia. vi) tener control de producción para satisfacer la demanda.

2. Antecedentes

Para la gestión de inventarios de pedidos, (Panzuto, 2011) realiza un estudio en un pequeño negocio de autopartes que presenta fallas en la planeación en la cadena de suministros y falta de control de inventarios de materias primas, para esto realiza una clasificación ABC de los productos para analizar cuáles son los que requieren prioridad. Sobre esos productos calcula el stock de seguridad y el inventario mínimo para satisfacer la demanda imprevista y con esos valores encuentra el lote económico de pedido (EOQ) de materia prima. (Lagodimos, 2018) tiene en cuenta el modelo clásico del EOQ y modifica una de sus suposiciones originales, donde en lugar de ser continuo, el tiempo forma una secuencia de periodos unitarios y se explora para demandas determinísticas. Bajo este supuesto modela un sistema de inventario bajo la política (S, T), donde deriva el costo promedio a largo plazo y muestra que el control óptimo implica la solución de un problema bidimensional de optimización entero. (Roldan, 2016) analiza un sistema de distribución con un depósito, un vehículo y muchos clientes bajo la política de inventario (s,S) para diferentes valores de s, y propone tres métodos de selección de clientes; pedidos grandes primero, primer almacenamiento más bajo y descuento por cantidad igual, donde los clientes seleccionados deben ser visitados por un vehículo para entregar un producto básico para satisfacer las demandas de los clientes. (Al-Hawari, 2013) construye un modelo de simulación para analizar el rendimiento de una cadena de suministro de cuatro niveles compuesto de un minorista, distribuidor, fabricante y proveedor. Los efectos de las políticas de asignación; preferido, cíclico y aleatorio, se analizaron en combinación con diversos factores tales como las políticas de inventario; revisión continua (r, Q) y revisión periódica (T, S) y diferentes patrones de demanda. (Garrido, 2017) realiza un estudio de aplicación de estos modelos en una empresa productora de hornos, para el modelo de revisión continua, utiliza un modelo EOQ con descuentos por cantidad, esto para aquellas situaciones en las que el proveedor ofrece un descuento significativo por colocar grandes pedidos, y para el modelo de revisión periódica y con la cantidad de pedido que se obtiene del modelo se calcula el punto de reorden. Por otro lado (Quinan, 2013) considera una política de inventario basada en el tiempo para una cadena de suministro de dos niveles con un almacén y varios minoristas, el almacén y los minoristas adoptan una política de pedido, es decir, ordenan el stock necesario en un punto de revisión para elevar la posición del inventario a un nivel de pedido fijo.

En cuanto a la gestión de inventarios en empresas manufactureras para el producto en proceso y producto terminado (Rodríguez, 2018) estudia una planta de espuma de poliuretano y plantea un modelo de programación lineal mixta que resuelve simultáneamente problemas de producción (cuándo y cuánto se produce) y planificación de inventarios. Para un sistema de producción / inventario de elementos múltiples y etapas múltiples con capacidad de producción limitada en un entorno de demanda estocástica, (Z.Ping, 2007) propone un modelo robusto de optimización para hacer frente a las demandas inciertas del mercado que se denotan como una serie de escenarios discretos con probabilidades conocidas. (Bogataj, 1996) mejora el enfoque de (Grubbström, 1994) donde estudia teóricamente la relación dinámica entre MRP, análisis de entrada-salida y sistemas de inventario de varios niveles, incluyendo en el modelo la incertidumbre de la demanda externa y los elementos de la teoría de la decisión. En el modelo, suponen que solo se conocen los límites superior e inferior de la tasa de demanda externa y, debido a la falta de información, que la demanda externa está distribuida uniformemente. Sin embargo (Davino, 2014) desarrolla el algoritmo Rev MRP que busca generar un patrón más regular de liberación de pedidos y niveles de inventario más bajos, el algoritmo suaviza la liberación de órdenes de producción, eliminando reabastecimientos y reduciendo drásticamente los niveles de inventario a lo largo de la cadena de suministro, incluso en el caso de frecuentes actualizaciones de pronósticos. Utilizando el enfoque MRP con una política de cantidad de orden periódica para la planificación de suministro de componentes (Louly, 2011) busca encontrar los valores óptimos de la periodicidad de la orden y los plazos de entrega planificados en el paso de compensación del procedimiento MRP. Se prueba varias propiedades teóricas de la función objetivo y se desarrolla un algoritmo de optimización eficiente. El método desarrollado se puede utilizar para la optimización de la fase de tiempo y la periodicidad para dicho sistema de MRP bajo incertidumbres de tiempo de entrega. Algunas investigaciones como (Nahmias, 1997) encontró que el MRP es más apropiado para las empresas en las que hay muchas opciones de productos, cambios de ingeniería frecuentes y fluctuante sistema de producto, mientras que JIT es más apropiado en entornos donde hay relativamente pocas opciones de productos, cambios de ingeniería, la mezcla de productos cambia, y hay menos variabilidad en los niveles de demanda. (Robert, 1993) presenta un enfoque alternativo para determinar el

tamaño de los lotes de los componentes comprados en entornos MRP donde los proveedores pueden obtener descuentos. El rendimiento de esta nueva versión del procedimiento de menor costo del período, que en realidad es una versión modificada de la heurística Silver-Meal original, se considera excelente en relación con los procedimientos alternativos, los efectos del tamaño del lote y las configuraciones de tiempo de entrega planificadas se evalúan en una tienda que produce bienes ensamblados con componentes comunes. La lógica de planificación de necesidades de material (MRP) se utiliza para la planificación de la producción. Se presenta un marco para el análisis de retrasos dentro del sistema de producción. Estos retrasos se evalúan utilizando el software MRP basado en una hoja de cálculo vinculado a un paquete de simulación que emula la actividad del taller. Los resultados muestran que al seleccionar los tamaños de lote adecuados y luego utilizar los plazos de entrega planificados para controlar el rendimiento de entrega, se pueden minimizar los niveles de inventario requeridos (Enns, 2001). (Biggs 1980) muestra los resultados de los análisis que indican que se debe volver a examinar el pensamiento tradicional sobre la relación entre la frecuencia de desabastecimiento, el nivel de inventario, el nivel de capacidad y las reglas de inventario. Una significativa conclusión es que las reglas de tamaño de lotes pueden afectar los planes agregados en relación con los requisitos de capacidad. Los parámetros operativos tienen un efecto significativo en el rendimiento de las reglas de tamaño de lote. Más específicamente, la regla W-W (Wagner-Whitin) no funciona tan bien como las reglas L4L (lot for lot) o PPB (Part Period Balancing) en la mayoría de las condiciones operativas. PPB y L4L funcionan bien en la mayoría de las condiciones. Sin embargo, considerando las dificultades de cómputo y los requisitos de la fuerza laboral, junto con otros criterios, L4L es la regla más aceptable, excepto bajo la condición de que el costo de instalación sea altamente significativo en comparación con el costo de inventario. Bajo esta condición, se recomienda PPB como la mejor regla.

Cuando existen límites para estos recursos, el movimiento lógico consiste en tratar de utilizar los recursos disponibles para controlar el inventario de la mejor manera. En otras palabras, enfocarse en las piezas más importantes en el inventario. Casi todas las situaciones de control de inventarios comprenden tantas piezas que no resulta práctico crear un modelo y dar un tratamiento uniforme a cada una. Para evitar este problema, el esquema de clasificación ABC divide las piezas de un inventario en tres grupos: volumen de dólares alto (A), volumen de dólares moderado (B) y volumen de dólares bajo (C). El volumen en dinero es una medida de la importancia; una pieza de bajo costo, pero de alto volumen puede ser más importante que una pieza costosa, pero de bajo volumen (Chase, 2009). A partir de pronósticos de ventas calculados por el método de Holt-Winters (Arango, 2013) plantea un modelo de gestión de inventarios y abastecimiento. Donde clasifica los productos según sus volúmenes de ventas para establecer niveles de servicio diferenciales a aplicar en un sistema de inventarios por demanda probabilístico que incrementa el valor obtenido con el pronóstico de ventas en tantas desviaciones estándar como las que correspondan a la probabilidad relacionada con el nivel de servicio deseado para cada categoría. Otras investigaciones en temas de pronósticos de ventas, el aprovisionamiento y la planeación de los inventarios de producción (Ferbar, 2010) propuso integrar el modelo de inventarios y el de pronóstico optimizando tanto los parámetros como los valores iniciales.

3. Objetivos

General:

Diseñar una herramienta que le permita a la empresa ESP Filters establecer políticas de inventario ajustadas a los productos que son fabricados e importados y así mismo diseñar el plan maestro de producción de los recursos que componen estos productos.

Específicos:

- Identificar y aplicar criterios de clasificación de productos que tengan características y atributos similares, partiendo si su demanda es estocástica o determinística.
- Aplicar un modelo que permita la identificación del comportamiento de demandas de los productos seleccionados.
- Planificar la producción de los productos seleccionados por medio de los criterios de clasificación, basada en un plan maestro de producción.
- Asignar políticas de inventario para los productos importados y las materias primas de acuerdo con los criterios de clasificación.

- Simular el comportamiento de la empresa con la aplicación de las políticas asignadas y compararla con la situación actual en términos de costos como medida de desempeño.

4. Metodología

Para el desarrollo de la gestión planteada dada por la problemática anteriormente mencionada, se implementó la metodología DMAIC, la cual permitió realizar mejoras significativas de manera consistente dentro de ESP Filters. DMAIC es el proceso de mejora que utiliza la filosofía Seis Sigma y es un modelo que sigue un formato estructurado y disciplinado (McCarty et al., 2004). DMAIC implementa cinco fases (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar), para así obtener una mejora continua. Para iniciar la metodología DMAIC, en la etapa de **Definición**, se visitó la planta de producción para tener conocimiento de todos los procesos que se implementan en la fabricación de filtros y asimismo identificar las oportunidades de mejora. Concluido este paso se pide a los gerentes de la empresa la información pertinente para encontrar otras oportunidades de mejoras desde la base de datos de la empresa. Al obtener toda la información, encontramos que es necesario el diseño de un modelo de gestión de producción e inventarios, ya que los costos para los mismos son elevados.

La implementación del modelo mencionado anteriormente implica la recolección de datos en ventas históricas y para esto se solicitó la información pertinente a la empresa. Inicialmente se hizo una base para las referencias las cuales la empresa poseía la ficha técnica actualizada. El número de referencias que tienen ficha técnica actualizada son 236, para las cuales se aplicó cuatro criterios de clasificación. Hay que aclarar que diez referencias las que corresponden a los filtros importados no pertenecen a las 236 referencias mencionadas anteriormente y por tanto no hay un criterio para clasificar estas, lo que quiere decir que se trabajó con todas. Los cuatro criterios de clasificación fueron los siguientes: Primero, establecer la base de las referencias con ficha técnica que incluye las 8 variables (peso, ancho, largo, profundidad, costo por unidad, tiempo desde la última venta, frecuencia, y ventas), segundo, clasificación bajo las características frecuencia y ventas, tercero, clasificación ABC, teniendo como base las dos características escogidas en el procedimiento anterior y cuarto, clasificación bajo la característica ventas ya que es fundamental para las decisiones de los gerentes de ESP filters. (**Objetivo específico 1**). Continuando con la etapa de **Medición** de la metodología DMAIC, la empresa ESP Filters no cuenta con un método o un software el cual les permita identificar y/o analizar los diferentes procesos que incluyen la fabricación y venta de los diferentes filtros, por ende, se tomó los diferentes registros históricos de venta para así determinar el comportamiento de estos en los últimos 5 años y obtener así un pronóstico el cual se ajuste mejor a la empresa (**Objetivo específico 2**).

“La demanda no depende solo de la estacionalidad, la tendencia, el ruido y demás patrones; sino del ciclo de vida del producto y las variables asociadas al comportamiento del mercado” (Mazo, Molinparra, Guisao, 2011, p. 21). Basado en lo anterior, la etapa de **Análisis** consto de escoger las metodologías que se acoplen mejor a la empresa basado en la literatura revisada. Por consideración de los gerentes y operarios de la empresa ESP Filters, cada filtro debe ser cambiado a los 10.000 kilómetros o al cambio de aceite para el vehículo, lo que equivale a 12 meses en promedio. Esto implica que el dueño de un vehículo registra compras de filtros a los diferentes distribuidores una vez al año. Dada la falta de conocimiento de los propietarios de vehículos sobre los cambios de filtros no se genera un comportamiento de venta periódico, esto basado en el conocimiento de los colaboradores de ESP Filters. Según la literatura, existen diferentes métodos para pronosticar las demandas de periodos futuros según su comportamiento en los registros históricos. Los métodos conocidos comúnmente para pronosticar la demanda son: promedios móviles, regresión lineal y suavización exponencial simple, doble y triple.

Para la etapa de **Mejora**, se implementó el diseño de un modelo en VBA el cual permitió planificar los requerimientos de materiales para la producción de filtros ya previamente seleccionados por el método de clasificación establecido (**Objetivo específico 3**). Esto permitió identificar el costo de implementación de cuatro diferentes políticas (lote a lote, MCU, PPB y Silver Meal), y así proceder a la elección de la política con menor costo para cada una de las referencias. Con el objetivo de definir una política eficiente de inventarios para las referencias de producto importadas, se desarrolla un algoritmo de enjambre de partículas que determina los valores de los parámetros de 3 políticas de inventario, (Q, R), (S, T) y (S, s, T), de esta manera se garantiza que las políticas se ajusten al comportamiento de los datos de demanda para un horizonte de planeación de 52 semanas, a continuación se explica el funcionamiento de los métodos utilizados (**Objetivo específico 4**). En la última etapa **Control** de la metodología DMAIC, para cada una de las referencias escogidas tanto importadas

como producidas, se diseñaron diferentes escenarios para así comparar con la metodología actual que ESP filters implementa para la comercialización de esta. Esta comparación se basó en los costos de implementación por la metodología actual versus las programadas por el modelo en VBA (**Objetivo específico 5**).

4.1 Criterios de clasificación: Objetivo específico 1

El criterio de clasificación para las referencias seleccionadas fue el siguiente:

- Se estableció una base de las referencias las cuales la empresa tenía conocimiento tanto de las ventas registradas en los últimos cinco años, como de las materias primas que son requeridas para la fabricación de cada referencia. En el caso de las referencias importadas se escogieron todas ya que su cantidad no requería establecer una clasificación, el total de referencias importadas son diez.
- Al obtener una base de 236 referencias, se continuo con clasificar las diferentes referencias por dos variables (frecuencia y ventas), ya que son las variables más importantes para los gerentes de la empresa, según su intención comercial.
- Al ordenar las referencias por las dos variables mencionadas anteriormente, se implementó una clasificación ABC, la cual determino que referencias representan aproximadamente el 70% para cada variable (frecuencia y ventas).
- Con colaboración de los gerentes de ESP Filters la variable de ventas es fundamental para ellos, por tal razón tiene un peso más alto frente a la variable frecuencia por ende el ultimo método de clasificación se determinó escogiendo las referencias que acumulaban el 70% aproximadamente para la variable ventas.

4.2 Pronósticos de demanda: Objetivo específico 2

- Para determinar el comportamiento de demanda de cada una de las referencias se graficaron los datos históricos en el tiempo y se analizó su comportamiento, identificando así que la demanda sigue un comportamiento estacionario o con tendencia, la gráfica también permite identificar que la demanda no sigue una distribución de probabilidad ni presenta una varianza constante como muestra la ilustración 4.
- Dado el comportamiento de los datos históricos se decidió estimar la demanda para el año 2019 mediante técnicas de pronósticos Promedios Móviles y Suavización exponencial doble ya que la demanda no presenta un comportamiento estacional marcado.

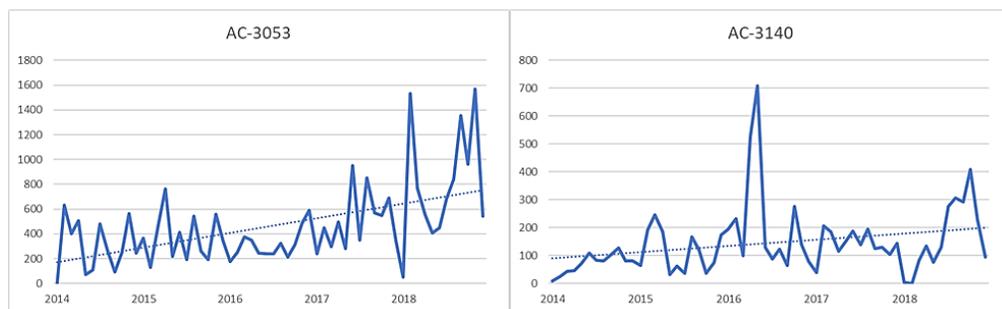


Ilustración 4. Comportamiento ventas 2014 a 2018, realizada por el autor.

$$F_t = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n}^{t-1} D_i$$

Ecuación 1 Método Promedios Móviles

$$S_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + G_{t-1})$$

$$G_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta) G_{t-1}$$

$$F_t = S_{t-1} + G_{t-1}$$

Ecuación 2 Método Suavización exponencial doble

- Al obtener los dos diferentes pronósticos para cada referencia se procedieron a calcular las cuatro medidas de error para cada metodología (MAPE, MSE, ME y MAD).
- En el caso del método de Promedios móviles (PM), se tuvo en cuenta diferentes periodos de tiempo para mejorar la exactitud del pronóstico (4 meses, 6 meses y 12 meses). Al comparar las medidas de error en cada uno de los periodos, se eligió el mejor caso para proseguir a realizar el pronóstico respectivo. El criterio de selección se basa en la mayor cantidad de resultados que demuestren mejor desempeño en las medidas de error con respecto a los otros periodos.

AC-3053	MSE	MAD	MAPE	ME
4 meses	88547,73	213,03	0,71	441,40
6 meses	81832,93	201,99	0,61	-48,90
12 meses	88037,00	203,77	0,55	-79,90

Ilustración 5. Medidas de error para PM, construcción por autor.

- Al escoger el mejor rango de tiempo (4 meses, 6 meses o 12 meses) se procedió a realizar el respectivo pronóstico con el método de Promedios Móviles. Cabe aclarar que el pronóstico se realizó para 1 año.
- En el caso del método de suavización exponencial doble (SED), se utilizó la plantilla formulada por el grupo de trabajo (Ilustración 4). De lo anterior cabe resaltar que se utilizó la herramienta *Solver* en Excel para encontrar los mejores valores de los parámetros de alfa y beta que se utilizan en este método de pronósticos.

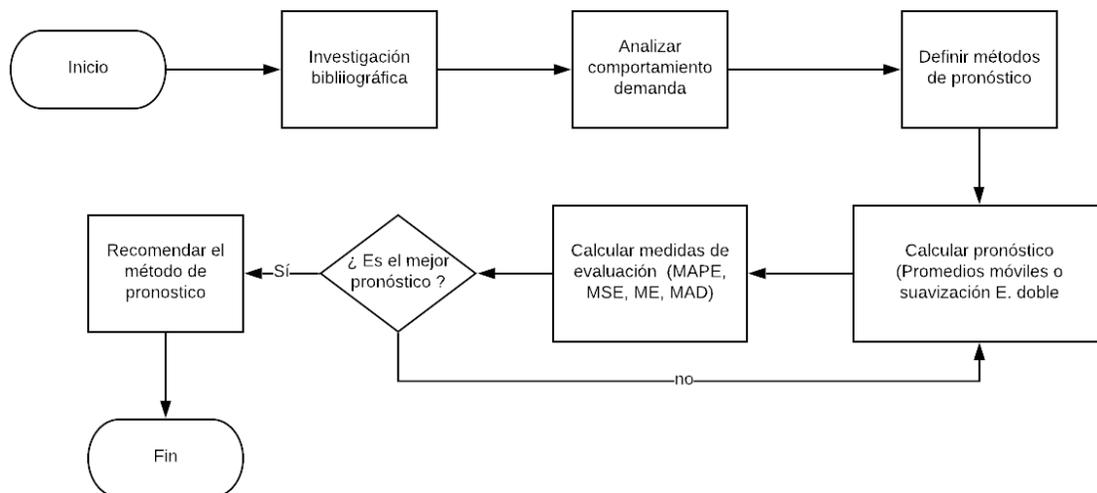


Ilustración 6. Flujo de proceso para seleccionar método de pronóstico, construcción por autor.

- Al igual que en Promedios Móviles, en Suavización exponencial doble se hallan las cuadro medidas de error anteriormente mencionadas, con el fin de identificar cual método de

pronóstico es el más recomendable para cada referencia y así utilizar los pronósticos en el MRP.

AC-3053			
MSE	MAD	MAPE	ME
84280,261	217,2124034	1,374688536	-36,1692

Ilustración 7. Medidas de error para SED, construcción por autor.

4.3 MRP para las referencias producidas: Objetivo específico 3

Para el desarrollo del plan maestro de producción se programaron 4 métodos heurísticos que se encargan de determinar la cantidad de pedido por periodo para cada una de las partes requeridas en el ensamble de los productos finales, siendo así se desarrolló el algoritmo Silver Meal, MCU, PPB y Lote a lote, a continuación, se muestra en detalle el funcionamiento de cada uno de los métodos.

- **Heurística Silver-Meal**

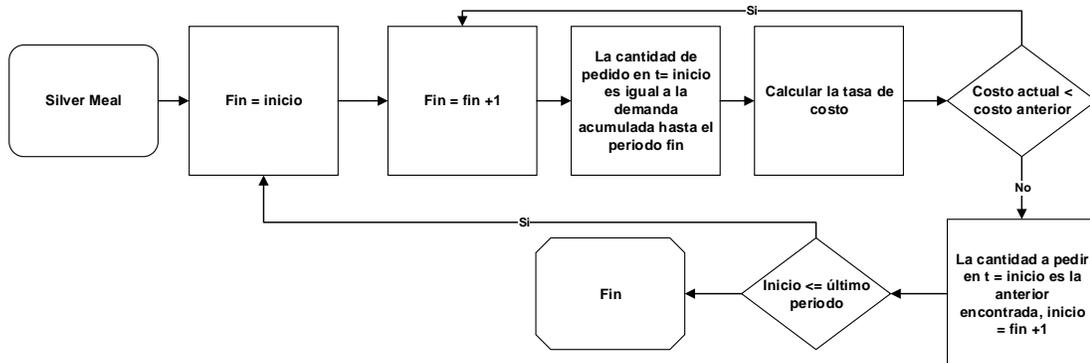


Ilustración 8. Heurística Silver Meal, construcción por autor.

Pseudocódigo

Inicio=1

Hacer

$k=0$

$Fin = Inicio$

Hacer

$k=k+1$

$Fin=Fin+1$

Para $i = inicio$ hasta Fin

$$Q(k) = Q(k) + Demanda(i)$$

Siguiente i

Tasa de costo = costo total / k

Mientras la tasa de costo siga bajando

$$Q^*(inicio) = Q(k-1)$$

$inicio = Fin + 1$

Mientras $inicio \leq$ número de periodos

- **Heurística MCU**

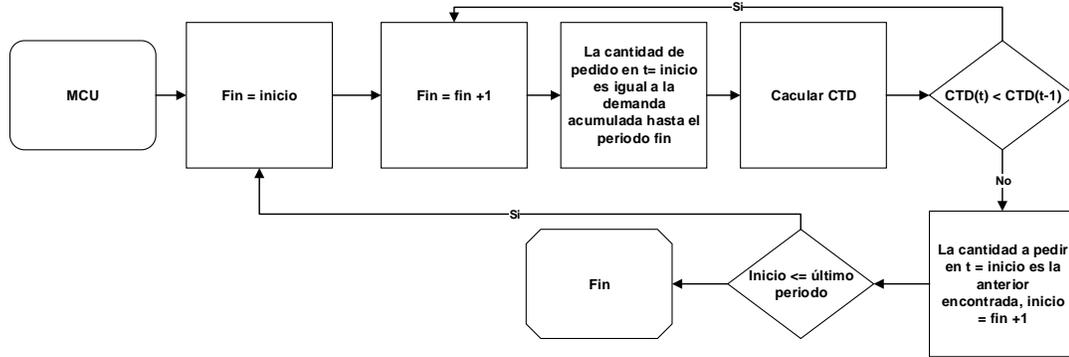


Ilustración 9. Heurística MCU, construcción por autor.

Pseudocódigo

Inicio=1

Hacer

k=0

Fin = Inicio

Hacer

Dacumulada=0

k=k+1

Fin=Fin+1

Para i = inicio hasta Fin

$Q(k) = Q(k) + Demanda(i)$

$Dacumulada = Dacumulada + Demanda(i)$

Siguiente i

$CTD = costo\ total / Dacumulada$

Mientras CTD siga bajando

$Q^*(inicio) = Q(k-1)$

inicio=Fin+1

Mientras inicio <= número de periodos

• **Heurística PPB**

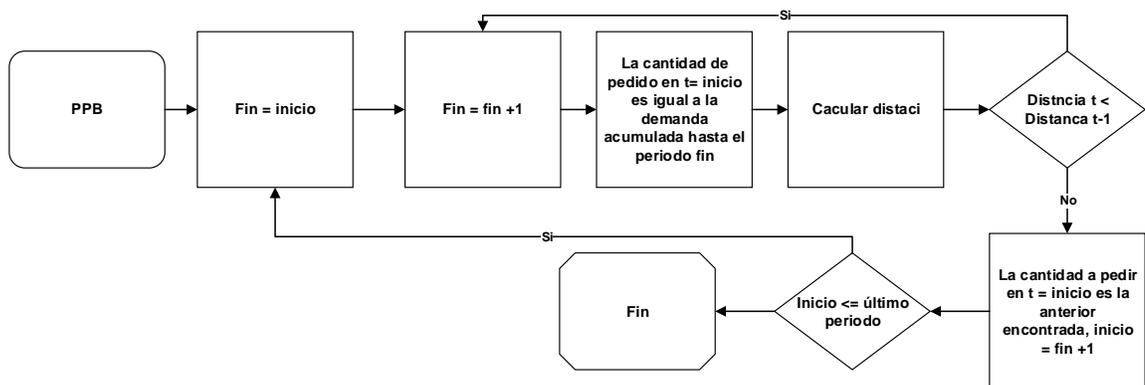


Ilustración 10. Heurística PPB, construcción por autor.

Pseudocódigo

Inicio=1

Hacer

k=0

Fin = Inicio
Hacer
 k=k+1
 Fin=Fin+1
 Para i =inicio hasta Fin
 Q(k) = Q(k) + Demanda(i)
 Siguiente i
 Distancia =abs (costo de aprovisionamiento – costo de mantener)
Mientras Distancia siga bajando
 Q(inicio)=Q(k-1)*
 inicio=Fin+1
Mientras inicio <= número de periodos

• **Heurística Lote a Lote**

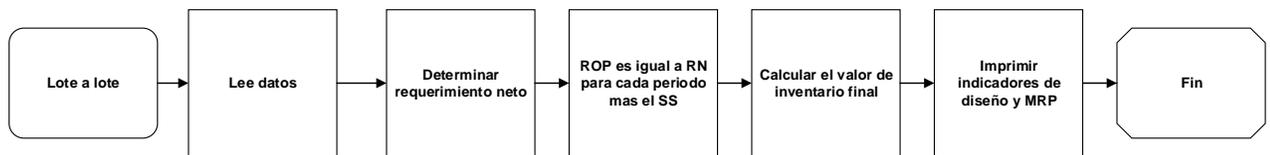


Ilustración 11. Heurística Lote a Lote, construcción por autor.

Pseudocódigo

Para i =1 hasta número de periodos
 Q(i) = RN(i)*
Siguiente i

4.4 Políticas de inventario para las referencias importadas: Objetivo específico 4

Al ser un problema no lineal se utiliza el PSO como herramienta de optimización para determinar los parámetros eficientes de las políticas de inventario. En la literatura se ha utilizado el PSO ampliamente como método de solución para problemas continuos de optimización.

Metaheurística (PSO)

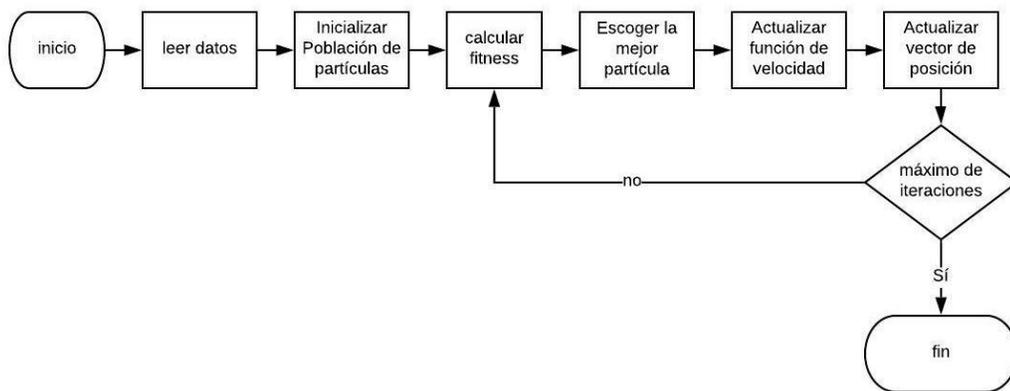


Ilustración 12. Metaheurística, construcción por autor.

Pseudocódigo

- (1) inicializar Población de partículas

Hacer

- (2) calcular fitness

- (3) Escoger la mejor partícula
- (4) Actualizar función de velocidad
- (5) Actualizar vector de posición

Mientras Numero de iteraciones < máximo de iteraciones

(1) Inicializar Población de partículas

Se crea la población de partículas, donde cada partícula es un vector que contiene los valores de los parámetros de las políticas de inventario, a continuación, se muestra un ejemplo de partícula.

Q	R	S	s	T
1000	20	2500	1000	3

Ilustración 13. Heurística MCU, construcción por autor.

(2) Calcular fitness

La función *calcularf* recibe la partícula que contiene los parámetros de las políticas de inventario, a partir de esta se calculan los costos asociados a las tres políticas de inventario, llamando a los métodos (Q, R), (S, T) y (S, s, T).

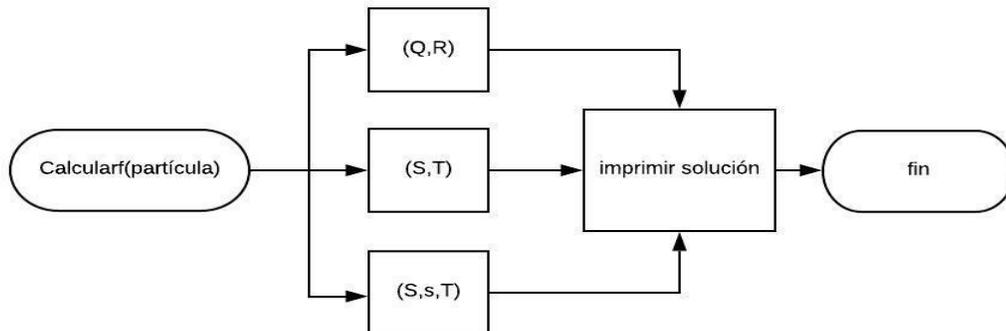


Ilustración 14. Heurística MCU, construcción por autor.

$$Función\ objetivo = calcularf(cromosoma)$$

$$Fitness = \frac{1}{Función\ objetivo}$$

(3) Escoger la mejor partícula

Por medio de esta función se busca la partícula con mejor función objetivo de toda la población y se guarda en la variable *gbest*.

(4) Actualizar función de velocidad

A partir de la mejor partícula encontrada se procede a actualizar la velocidad de cada partícula mediante el siguiente procedimiento donde *poblacion(i).vectorVelocidad(j)* es la velocidad de la partícula *i* para su parámetro *j*, *Winiertia* es una constante junto con {C1, C2, Wmin, Wmax, C1min, C1max, C2min, C2max}, *poblacion(i).vectorPbest(j)* es el vector que contiene los mejores parámetros encontrados por la partícula *i* y *gbest.vectorPosicion(j)* es el vector que contiene los parámetros de la mejor partícula encontrada hasta el momento.

$$Winiertia = ((Wmin - Wmax) * (numIteraciones - 1) / (numIteracionesMAX - 1)) + Wmax$$

$$C1 = ((C1min - C1max) * (numIteraciones - 1) / (numIteracionesMAX - 1)) + C1max$$

$$C2 = ((C2max - C2min) * (numIteraciones - 1) / (numIteracionesMAX - 1)) + C2min$$

para *i* = 1 hasta número de partículas

para $j = 1$ hasta número de parámetros

$$\begin{aligned}
 & poblacion(i).vectorVelocidad(j) \\
 &= Winiertia * poblacion(i).vectorVelocidad(j) + C1 * Rnd() \\
 &* (poblacion(i).vectorPbest(j) - poblacion(i).vectorPosicion(j)) + C2 \\
 &* Rnd() * (gbest.vectorPosicion(j) - poblacion(i).vectorPosicion(j))
 \end{aligned}$$

siguiente j

siguiente i

(5) Actualizar vector de posición

Para cada partícula es necesario actualizar los parámetros de las políticas, sumando a cada posición la velocidad actualizada.

para $i = 1$ hasta número de partículas

para $j = 1$ hasta número de parámetros

$$poblacion(i).vectorPosicion(j) = Int(poblacion(i).vectorPosicion(j) + poblacion(i).vectorVelocidad(j))$$

siguiente j

siguiente i

Política de inventario (Q, R)

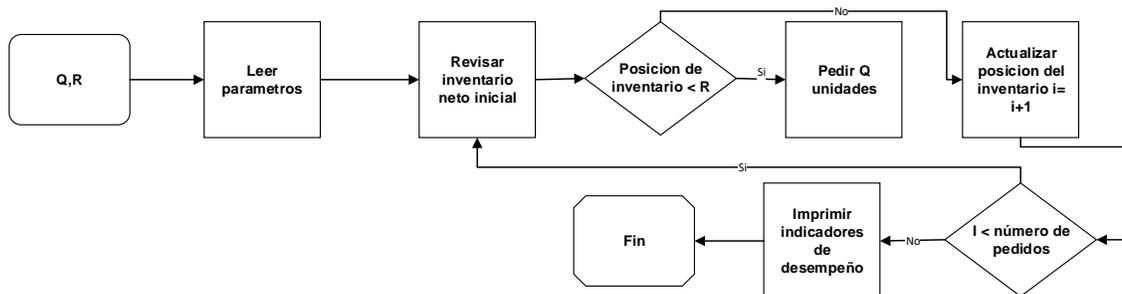


Ilustración 15. Política de inventario (Q, R), construcción por autor.

Para $i = 1$ hasta número de periodos

Si $Inventario\ neto < R$ entonces

Realizar pedido de Q unidades

Fin si

Actualizar posición del inventario

$i=i+1$

Siguiente i

Política de inventario (S, T)

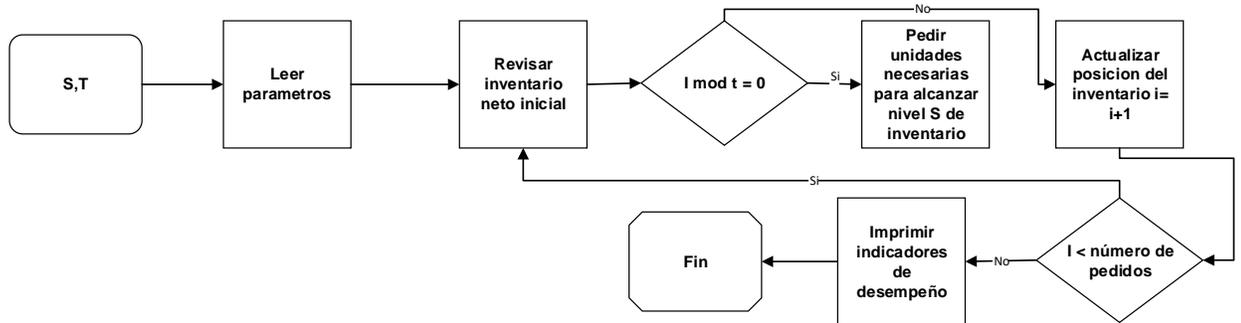


Ilustración 16. Política de inventario (S, T), construcción por autor.

Para $i = 1$ hasta número de periodos
 Si $i \text{ mod } T = 0$ entonces
 Pedir $Q = S - \text{inventario Neto}$
 Fin si
 Actualizar posición del inventario
 $i = i + 1$
 Siguiendo i

Política de inventario (S, s, T)

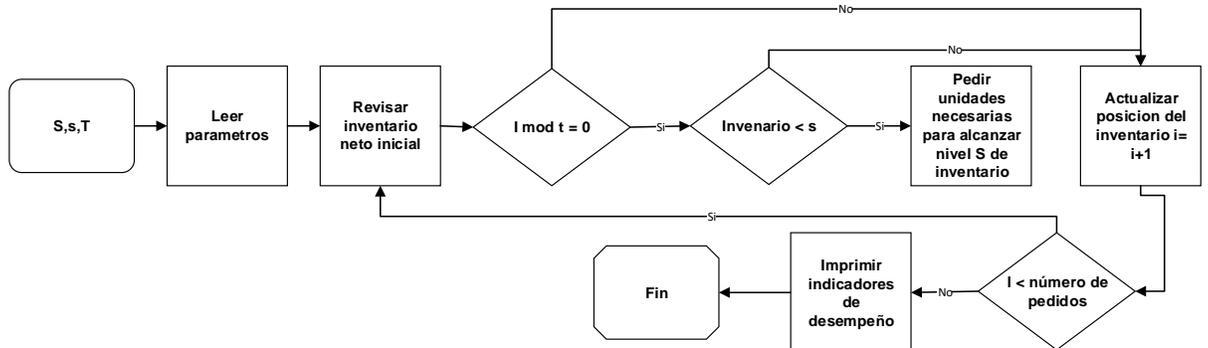


Ilustración 18. Política de inventario (S, s, T), construcción por autor.

Para $i = 1$ hasta número de periodos
 Si $i \text{ mod } T = 0$ entonces
 Si inventario $< s$ entonces
 Pedir $Q = S - \text{inventario Neto}$
 Fin si
 Fin si
 Actualizar posición del inventario
 $i = i + 1$
 Siguiendo i

4.5 Comparación situación actual con políticas asignadas: Objetivo específico 5

Se realizó una serie de escenarios para ver el comportamiento de los costos respecto a las políticas planteadas, las cuales son lote a lote, silver meal, MCU, PPB, en este sentido se hicieron 10 escenarios, donde la variable que se escogió para estudiar fue el stock de seguridad. Para los primeros 8 escenarios se encontró el promedio de la demanda real del 2018 de las 5 referencias que más se venden en la empresa, a esta se hayo le desviación estándar y a partir de esta desviación se hicieron los respectivos escenarios, para los últimos dos escenarios se planteó una política la cual consiste tener como stock de

seguridad un porcentaje de la capacidad que tiene la bodega para almacenar inventario, a partir de estos escenarios se empezó a comparar los costos arrojados por el programa utilizando la demanda real del 2018 respecto a los costos reales que tuvo la empresa en el año 2018, los cuales se calcularon con la suma de los costos de inventario de cada referencia y de cada insumo de materia prima durante el 2018, además del costo de ordenar que fue el número de pedidos realizados de cada referencias y de cada insumo en ese mismo año, así para cada una de las 5 referencias.

Escenario	Stock seguridad	
Escenario 1	Promedio - 1/4 desviación estándar	$ss = \mu - 1/4\sigma$
Escenario 2	Promedio - 1/2 desviación estándar	$ss = \mu - 1/2\sigma$
Escenario 3	Promedio - 3/4 desviación estándar	$ss = \mu - 3/4\sigma$
Escenario 4	Promedio - 1 desviación estándar	$ss = \mu - \sigma$
Escenario 5	Promedio - 5/4 desviación estándar	$ss = \mu - 5/4\sigma$
Escenario 6	Promedio - 3/2 desviación estándar	$ss = \mu - 3/2\sigma$
Escenario 7	Promedio - 7/4 desviación estándar	$ss = \mu - 7/4\sigma$
Escenario 8	Promedio - 2 desviación estándar	$ss = \mu - 2\sigma$
Escenario 9	0.25% capacidad de almacenamiento	
Escenario 10	0.5% capacidad de almacenamiento	

Tabla 2. Stocks de seguridad utilizados para diferentes escenarios, construcción por autor.

5 Resultados

5.1 Criterios de clasificación: Objetivo específico 1

Las referencias que acumularon el 70% de la variable ventas son las siguientes:

AC-3053	AC-3140	AC-3124	AC-3001	A-0516C	AC-3026
A-0882C	A-0614C	A-0588C	A-0672C	AC-3029	AC-3042
AC-3086	AC-3149	AC-3164	AC-3167	A-0586C	AC-3008
A-0536C	AC-3039	AC-3075	AC-3063	AC-3073	

Tabla 3. Cuadro de referencias producidas por ESP filters, construcción por autor.

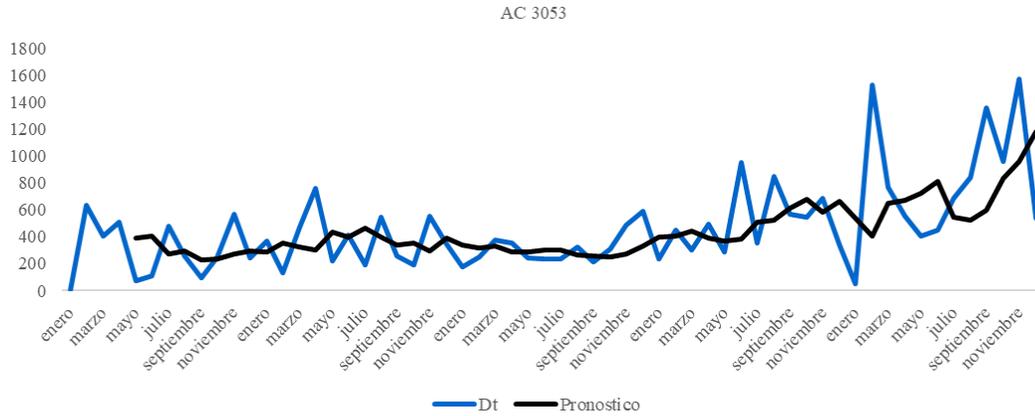
Estas 23 referencias fueron las escogidas por parte del grupo con la ayuda de la gerencia de ESP filters para dar pie al diseño de gestión de producción e inventarios. Las referencias trabajadas para los filtros importados son:

A-0575CI	A-0580CI	A-0583CI	A-0653CI	AC-3010I
AC-3022I	AC-3026I	AC-3034I	AC-3080I	AC-3112I

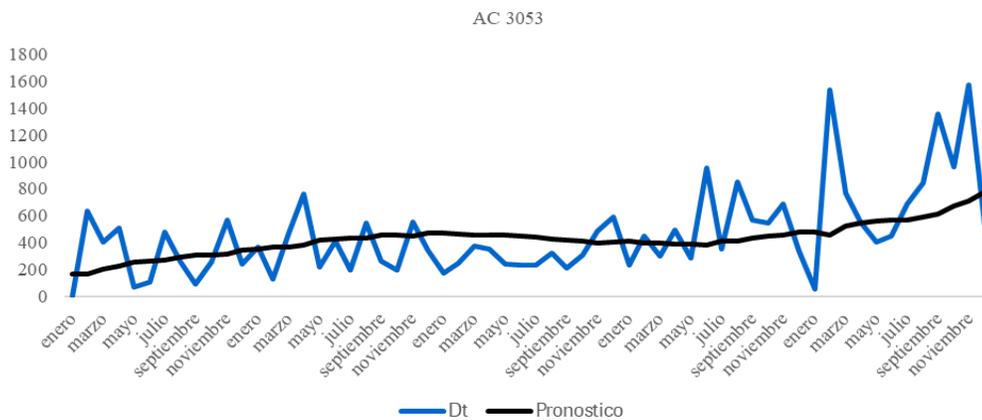
Tabla 4. Cuadro de referencias importadas por ESP filters, construcción por autor.

5.2 Pronósticos de demanda: Objetivo específico 2

Como resultado se obtuvieron los pronósticos de un año completo de cada una de las referencias, utilizando Promedios móviles y Suavización exponencial doble. Como se evidencia en las siguientes gráficas, se observa cómo se comporta la demanda real frente a los pronósticos según el modelo.



Gráfica 1. Comparación demanda real vs promedios móviles, construcción por autor.



Gráfica 2. Comparación demanda real vs suavización exponencial doble, construcción por autor

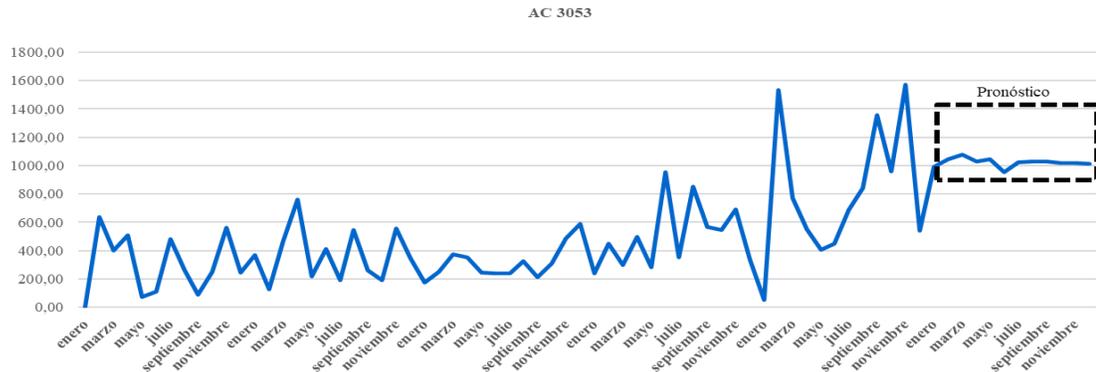
Referencia	Suavización exponencial doble				Promedio Movil				Metodo de ponostico sugerido
	MSE	MAD	MAPE	ME	MSE	MAD	MAPE	ME	
AC-3053	84280	217	1,37	-36	81833	201,99	0,61	-48,90	Promedios Móviles
AC-3140	15927	89	1,68	5	16567	92,88	1,28	144,84	Suavización Exponencial doble
AC-3124	18973	82	2,09	3	24095	89,19	0,98	-14,18	Promedios Móviles
AC-3001	27447	115	0,69	-10	31984	124,82	0,54	-43,93	Suavización Exponencial doble
A-0516C	16214	83	0,76	-2	19204	88,14	0,44	-28,59	Suavización Exponencial doble
AC-3026	205548	334	1,37	-19	283453,083	380,51	0,83	-169,36	Suavización Exponencial doble
A-0882C	1982	29	0,47	-8	1556	16,86	0,21	31,14	Promedios Móviles
A-0614C	3231	37	0,82	-2	3895	39,87	3,03	-12,54	Suavización Exponencial doble
A-0588C	1661	31	2,35	3	1940	32,53	1,91	-9,12	Suavización Exponencial doble
A-0672C	1021	22	1,54	-1	767	14,08	0,74	-5,49	Promedios Móviles
AC-3029	2241	41	3,83	-2	11550	41,49	1,95	-10,41	Suavización Exponencial doble
AC-3042	6360	68	4,81	5	6673	65,67	2,88	121,25	Promedios Móviles
AC-3086	1391	29	1,67	-2	1828	31,55	1,45	34,29	Suavización Exponencial doble
AC-3149	2862	37	0,92	-2	3437	40,03	0,67	78,70	Suavización Exponencial doble
AC-3164	2631	35	1,68	3	3276	39,67	1,18	-5,95	Suavización Exponencial doble
AC-3167	3099	39	4,31	-3	3538	43,41	3,66	79,54	Suavización Exponencial doble
A-0586C	593	17	1,04	0	728	18,78	0,84	-4,41	Suavización Exponencial doble
AC-3008	593	18	0,68	-1	623	18,44	0,66	-3,09	Suavización Exponencial doble
A-0536C	1947	35	1,12	4	2150	35,43	1,15	-5,05	Suavización Exponencial doble
AC-3039	1656	30	0,89	0	1770	30,56	0,71	-3,30	Suavización Exponencial doble
AC-3075	1213	23	1,54	0	1544	26,96	1,69	-4,53	Suavización Exponencial doble
AC-3063	569	16	1,11	1	647	16,88	0,91	-3,03	Suavización Exponencial doble
AC-3073	414	14	1,01	0	528	16,17	1,02	-3,34	Suavización Exponencial doble

Tabla 5. Método de pronóstico escogido por referencia, construcción por autor.

Una vez realizado el comparativo de las medidas de error, se escoge el método más recomendable para poder realizar los pronósticos de un año y así generar el MRP con respecto a las demandas asumidas en el pronóstico.

Se evidencia que el 21% de las referencias es recomendable pronosticar su demanda por medio de Promedios Móviles y por otro lado el 79% de estas se recomienda utilizar Suavización Exponencial

Doble, esto es debido a que este método genera mayor cantidad de medidas de error con mejor resultado con respecto a Promedios Móviles.



Grafica 3. Pronostico 2019 por método de promedios móviles, construcción por autor.

5.3 MRP para las referencias producidas: Objetivo específico 3

El aplicativo de MRP busca darle a la empresa ESP Filters diferentes alternativas para que tengan la posibilidad de programar sus producciones de forma que cumplan con la demanda estipulada, la cual en este caso son los pronósticos que se realizaron para el año 2019.

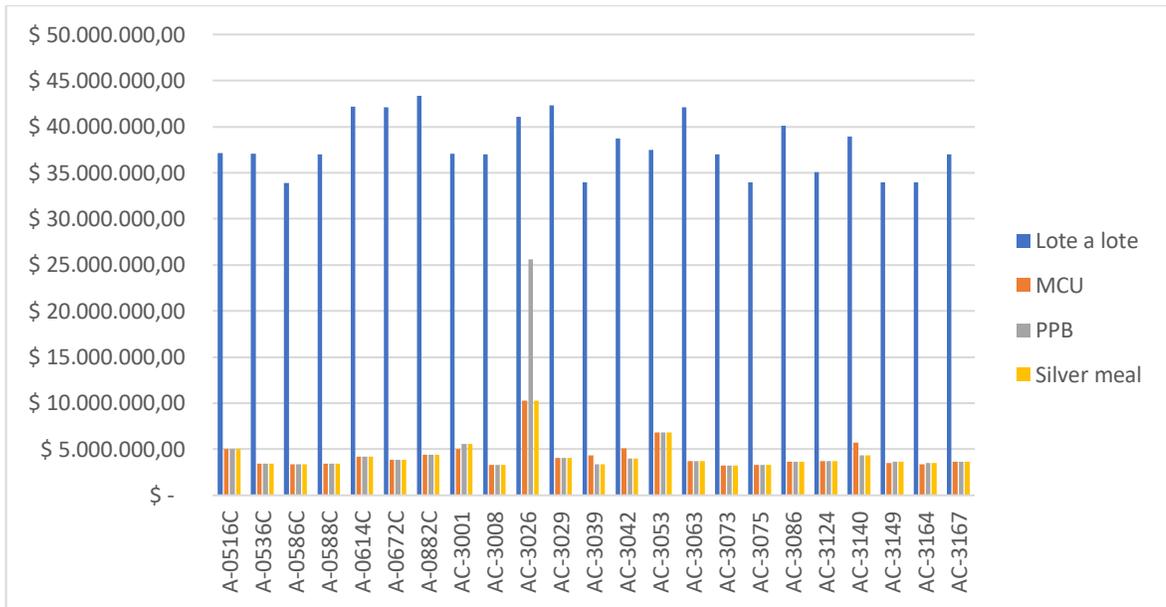
Para el uso de la herramienta hay que ingresar el stock de seguridad que se quiere tener para todo el periodo de planeación. El Stock de seguridad que se utilizó en este caso fue el promedio de los faltantes del año anterior (2018), esto con el fin de tener un valor aproximado que cumpliera con evitar faltantes en el periodo 2019 y cumplir con la demanda estipulada. Otros parámetros que debe ingresar el usuario a la herramienta son las demandas del año que se quiere planear, que en este caso son los pronósticos previamente hallados.

La herramienta permite al usuario modificar los parámetros como costos de pedir, costo de inventario, costo de manufactura, el lead time etc. Esto le garantiza poder utilizar el aplicativo sin importar los cambios que experimente la empresa.

Referencia	Stock de seguridad	Lote a lote	MCU	PPB	Silver meal
AC-3026	1234	\$ 43.459.871	\$ 12.679.868	\$ 27.968.018	\$ 12.679.868
AC-3053	692	\$ 38.506.120	\$ 7.827.359	\$ 7.827.359	\$ 7.827.359
A-0516C	350	\$ 37.730.136	\$ 5.611.644	\$ 5.611.644	\$ 5.611.644
AC-3001	371	\$ 37.682.230	\$ 9.380.713	\$ 6.155.692	\$ 6.155.692
AC-3124	181	\$ 35.186.682	\$ 3.875.307	\$ 3.875.307	\$ 3.875.307
AC-3140	137	\$ 38.621.712	\$ 5.467.937	\$ 4.092.099	\$ 4.092.099
A-0882C	100	\$ 47.292.734	\$ 4.437.633	\$ 4.437.633	\$ 4.437.633
A-0614C	102	\$ 42.217.038	\$ 4.224.028	\$ 4.224.028	\$ 4.224.028
A-0588C	56	\$ 37.019.952	\$ 3.461.610	\$ 3.461.610	\$ 3.461.610
A-0672	53	\$ 42.078.064	\$ 3.799.154	\$ 3.799.154	\$ 3.799.154
AC-3029	37	\$ 42.333.889	\$ 4.092.009	\$ 4.092.009	\$ 4.092.009
AC-3042	85	\$ 38.592.215	\$ 4.942.853	\$ 3.867.790	\$ 3.867.790
AC-3086	35	\$ 40.098.407	\$ 3.675.206	\$ 3.675.206	\$ 3.675.206
AC-3149	93	\$ 33.910.753	\$ 4.737.725	\$ 3.589.438	\$ 3.589.438
AC-3164	71	\$ 33.898.274	\$ 3.303.077	\$ 3.430.146	\$ 3.430.146
AC-3167	96	\$ 36.990.455	\$ 3.577.006	\$ 3.577.006	\$ 3.577.006
A-0586C	45	\$ 33.903.379	\$ 3.361.063	\$ 3.361.063	\$ 3.361.063
AC-3008	50	\$ 36.979.110	\$ 3.310.168	\$ 3.310.168	\$ 3.310.168
AC-0536C	54	\$ 37.051.717	\$ 3.423.445	\$ 3.423.445	\$ 3.423.445
AC-3039	47	\$ 33.939.683	\$ 4.317.219	\$ 3.334.320	\$ 3.334.320
AC-3075	31	\$ 33.926.069	\$ 3.307.225	\$ 3.307.225	\$ 3.307.225
AC-3063	25	\$ 42.100.186	\$ 3.714.323	\$ 3.714.323	\$ 3.714.323
AC-3073	27	\$ 36.951.315	\$ 3.239.017	\$ 3.239.017	\$ 3.239.017

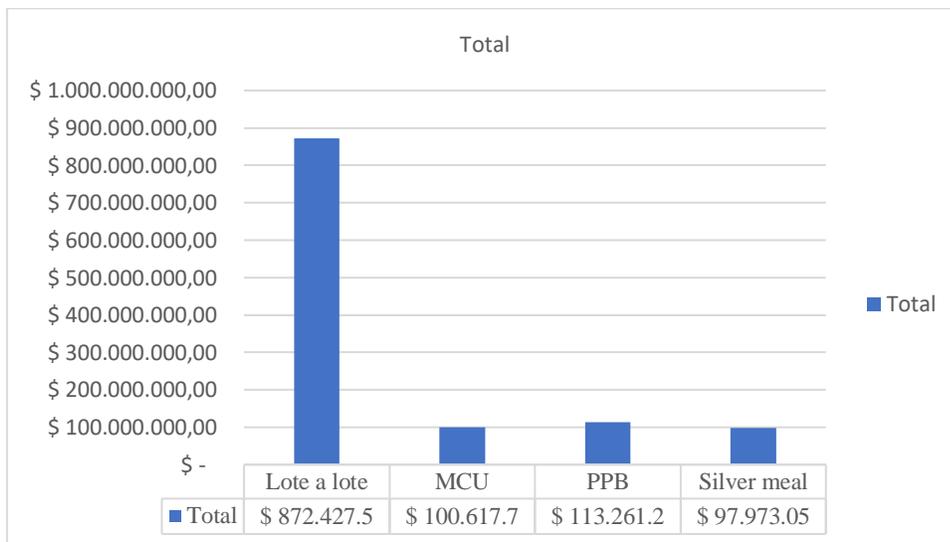
Tabla 6. Costos por política de planeación de 2019, construcción por autor.

Para comparar el desempeño de los 4 modelos propuestos se tomaron los datos de pronóstico para 2019 y se calcularon los costos asociados a la gestión de inventario para las 23 referencias.



Grafica 4. Comparación de costos de políticas por referencia, construcción por autor.

Se evidencia que la política lote a lote a lo largo de las 23 referencias de producto tiene un bajo desempeño en comparación a MCU, PPB y Silver Meal.

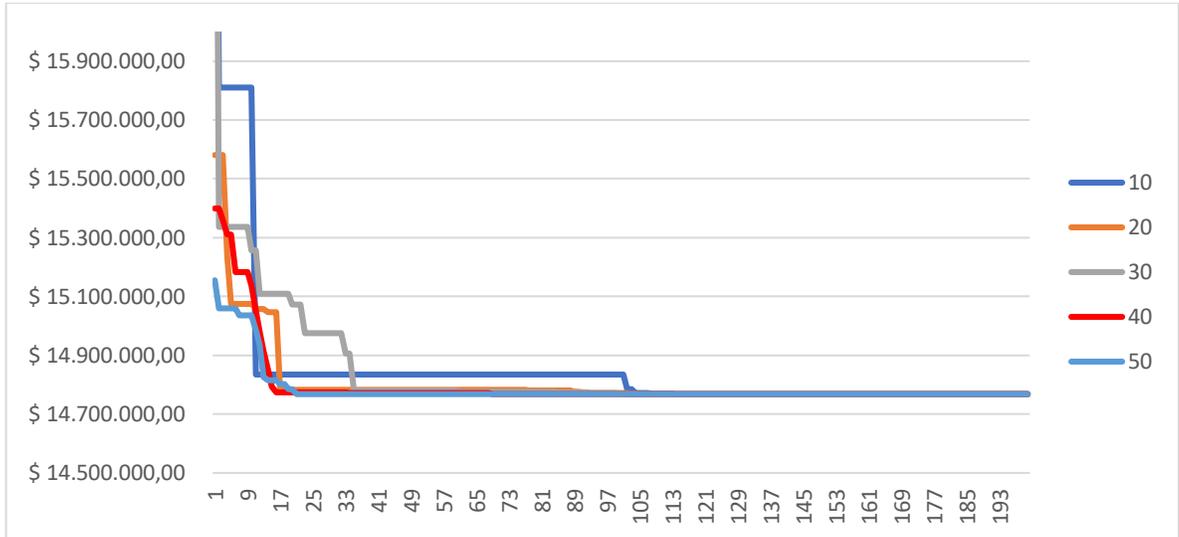


Grafica 5. Comparación de costos de políticas totales, construcción por autor.

Además, se puede observar que las políticas que mejor se ajustan al comportamiento de los datos de pronóstico de demanda son MCU, PPB y Silver Meal, donde esta última es la que minimiza los costos asociados a mantener inventario y reaprovisionamiento.

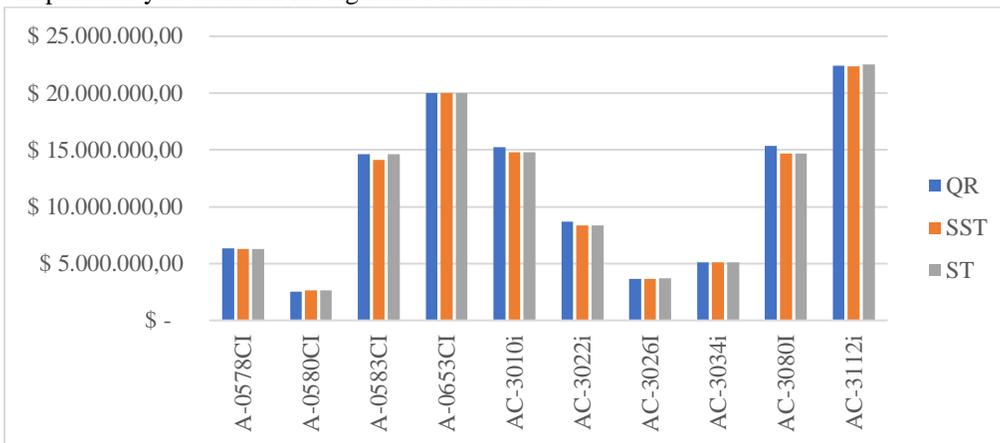
5.4 Políticas de inventario para las referencias importadas: Objetivo específico 4

Antes de ejecutar las políticas de inventario para todas las referencias se realiza una parametrización del algoritmo PSO con el fin de determinar el número de iteraciones y el tamaño de la población de partículas para que el desempeño de la metaheurística sea eficiente, a continuación, se muestran los resultados de este proceso.

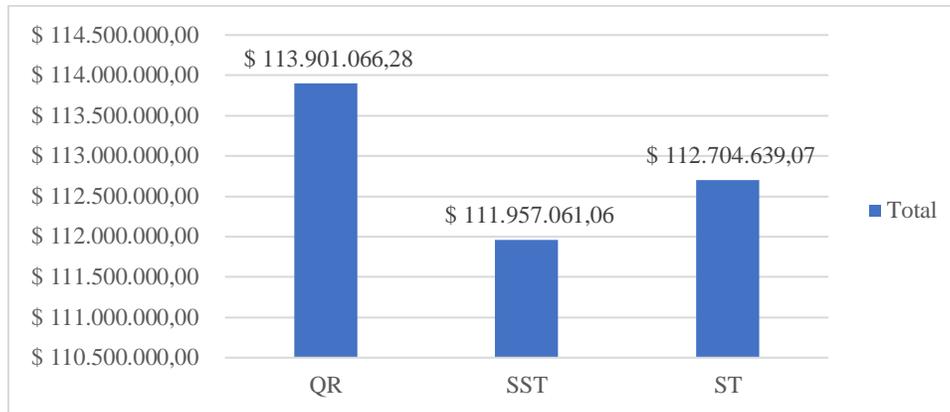


Grafica 6. Función objetivo vs iteraciones, segmentado por número de partículas.

Se evidencia que con 120 iteraciones el algoritmo PSO se estabiliza y con un tamaño de población de 40 partículas logra encontrar la mejor solución en el menor tiempo posible, ya definidos los parámetros de la metaheurísticas se ejecutan las políticas de inventario para las referencias de productos importados y se obtienen los siguientes resultados.



Grafica 7 Función objetivo por referencia, segmentado por política de inventario, construido por el autor



Grafica 8. Costo total de cada política de inventario, construcción por autor.

El aplicativo da como resultado los costos respectivos dependiendo de la política de inventario (costo de ordenar, costo de mantener, costo de faltantes, costo de la adquisición y el costo total), además nos muestra los niveles de servicio tipo I y tipo II que corresponden a la probabilidad de que no haya faltantes y la proporción de la demanda que se suplir con el inventario respectivamente. En este caso cabe aclarar que el aplicativo nos muestra escenarios donde puede haber faltantes en diferentes periodos lo que significa que el nivel de servicio tipo I no siempre llegue al 100%, pese a esto el resultado que nos brinda el programa es efectivo gracias a los parámetros previamente hallados con la metaheurística PSO.

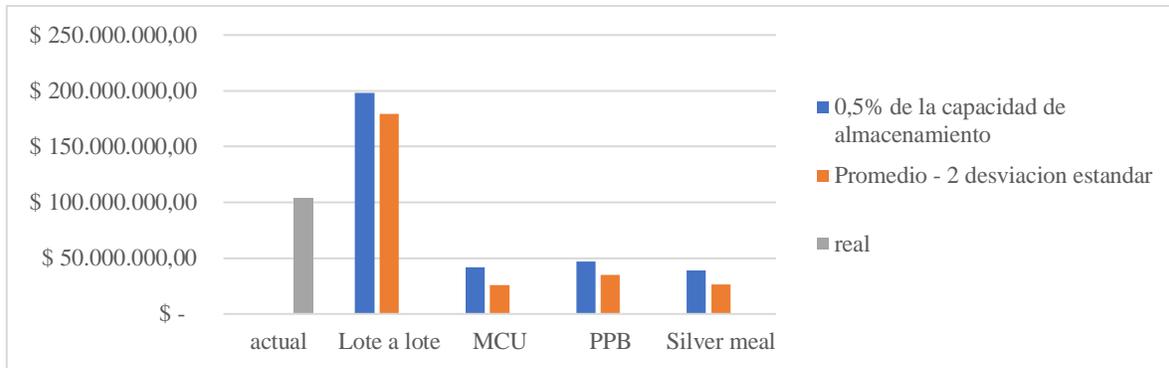
Se evidencia a rasgos generales que las 3 políticas de inventario seleccionadas tienen resultados similares a lo largo de las referencias siendo la política (S, S, T) superior a (Q, R) un 1.7% y respecto a la (S, T) un 0.7.

5.5 Comparación situación actual con políticas asignadas: Objetivo específico 5

Con el fin de comparar la situación actual de la empresa contra la propuesta de mejora se evaluaron los métodos propuestos en el MRP desde enero a diciembre de 2018 para las 5 referencias de productos fabricados en planta más demandadas, y se generaron 10 escenarios variando la cantidad de stock de seguridad. Se evidencia que a lo largo de las referencias el modelo actual y la política lote a lote tienen el peor desempeño mientras que los algoritmos MCU, PPB y Silver Meal tienen un mejor desempeño.

	Lote a lote	MCU	PPB	Silver meal
0,5% de la capacidad de almacenamiento	\$ 198.149.280,00	\$ 41.651.381,78	\$ 47.212.697,28	\$ 38.905.323,78
Promedio - 1/4 desviación estandar	\$ 189.673.845,96	\$ 36.505.947,74	\$ 42.067.263,24	\$ 33.759.889,74
0,25% de la capacidad de almacenamiento	\$ 191.909.640,00	\$ 35.411.741,78	\$ 40.973.057,28	\$ 32.665.683,78
Promedio - 1/2 desviación estandar	\$ 188.571.131,40	\$ 35.403.233,18	\$ 40.964.548,68	\$ 32.657.175,18
Promedio - 3/4 desviación estandar	\$ 187.514.363,28	\$ 34.346.465,06	\$ 39.907.780,56	\$ 31.600.407,06
Promedio - 1 desviación estandar	\$ 183.297.345,36	\$ 33.207.447,14	\$ 38.768.762,64	\$ 30.461.389,14
Promedio - 5/4 desviación estandar	\$ 182.204.273,88	\$ 32.114.375,66	\$ 37.675.691,16	\$ 29.368.317,66
Promedio - 3/2 desviación estandar	\$ 181.106.097,24	\$ 27.840.929,42	\$ 36.577.514,52	\$ 28.270.141,02
Promedio - 7/4 desviación estandar	\$ 180.053.867,04	\$ 26.788.699,22	\$ 35.525.284,32	\$ 27.217.910,82
Promedio - 2 desviación estandar	\$ 179.404.944,48	\$ 26.139.776,66	\$ 34.876.361,76	\$ 26.568.988,26

Tabla 7. Costo total de cada política de MRP por escenario, construcción por autor.



Grafica 9. Costo total de cada política de MRP vs situación actual, segmentado por mejor y peor escenario. construcción por autor.

Finalmente, la heurística Silver Meal tiene el mejor desempeño seguida de MCU y PPB, generando un ahorro entre -\$ 64.450.168,73 y -\$ 76.786.504,25 anuales para la empresa en costos de aprovisionamiento y mantenimiento de inventario, lo que implica una mejora entre el 62% y 74%.

5.6 Medición del impacto

El presente trabajo tiene un impacto en la empresa EPS Filters porque ofrece una herramienta sencilla de usar y es flexible a cambios en los parámetros de demanda, costos de producción, costos de mantener inventario, costos de pedir, costos unitarios y tiempos de entrega de los proveedores (lead time), adicional a esto es una herramienta que puede ejecutar la empresa sin necesidad de invertir en nuevo software ya que es un aplicativo en Excel.

La empresa no tiene modelos matemáticos o alguna otra herramienta que facilite la toma de decisiones en la operación, por esta razón se diseñó un aplicativo que permita realizar una planeación de requerimientos de insumos para las referencias que manufacturan en fábrica y definir unas políticas de pedido para las referencias de filtros que no manufacturan en fábrica, estas herramientas facilitan la toma de decisiones analizando los costos de las diferentes políticas. Se midió el impacto de las referencias importadas comparando los costos de las políticas QR, S s t, y ST, se hallaron los parámetros óptimos con 120 iteraciones dando el mejor costo en la política S, s, T siendo \$111'957.061 COP. En cuanto al impacto en las referencias producidas por la empresa se realizaron 10 escenarios con diferente stock de seguridad donde la política con mejor costo es Silver Meal generando un ahorro de \$ 341'570,151 COP, es decir, una mejora del 78%.

Adicional se creó un modelo de pronosticar las demandas futuras de los productos de la empresa que le permita a las políticas de pedido y el MRP lograr mejores soluciones a nivel de costo. Este modelo escoge la mejor técnica de pronostico (Promedios móviles y Suavización exponencial doble) para cada referencia analizada basado en las medidas de desempeño MAPE, MAD, MSE Y ME.

Conclusiones y recomendaciones

Según la clasificación establecida se puede evidenciar que la empresa tiene claro que las referencias que representan el 70% del valor de la variable "ventas" son referencias que también se encuentran en el 70% de la variable frecuencia. Esto quiere decir que de forma empírica ESP Filters ejecuta políticas de inventario autónomas a las referencias que más impactan en el ingreso neto y a las que tienen más movimiento de entradas y salidas, por ejemplo, establecer un stock de seguridad cuando la referencia esta próxima a acabar. A pesar de abarcar un gran segmento de filtros, la empresa debería centrar sus recursos en las referencias que el mercado dictamina (moda), o que representan más ingresos.

Se diseñó una herramienta y dos aplicativos que permiten facilitar la toma de decisiones de la empresa, la primera herramienta pronostica la demanda para los siguientes 12 meses teniendo los datos históricos como

datos de entrada, el pronóstico estimado permite anticipar el comportamiento de la demanda para poder realizar un plan de requerimientos de material (**Anexo 1**) y definir unas políticas de pedidos para las referencias de filtros que la empresa importa (tercera herramienta).

Debido a la alta aleatoriedad y que los datos de las demandas históricas se comportan de manera **estacional** y en tendencia se escogió Suavización exponencial doble y Promedios móviles como método de pronósticos para obtener las demandas futuras de cada referencia. En el caso de promedios móviles se realizaron 3 escenarios con 3 periodos de tiempo respectivamente (4, 6 y 12 meses). El escenario de tiempo más escogido fue el de 12 meses que representa al 50% del pronóstico de todas las referencias. Las medidas de error (MSE, MAD, MAPE y ME) fueron el criterio de decisión para elegir un solo método de pronósticos por cada una de las referencias escogidas. Se identificó que el 21% de las referencias sugieren sean pronosticadas por Promedios móviles, mientras que el 79% sugiere que Suavización exponencial doble sea el método de pronósticos. Se recomienda a la empresa actualizar esta herramienta con los datos de la demanda real en el transcurso del año con el fin de lograr un pronóstico más acertado. Para futuros trabajos se puede estudiar otras técnicas de pronóstico como los modelos ARMA ARIMA, GARCH y redes neuronales, para compararlas con las realizadas en el presente trabajo y determinar mediante las medidas de desempeño si son más apropiados para la empresa.

El aplicativo que realiza la planeación de requerimientos muestra como resultado el costo de cada política y el periodo en que se debe pedir cada insumo. Para la planeación del año 2019 se evidencia que la política más económica es Silver Meal, seguido de MCU, PPB y Lote a Lote respectivamente

Los datos de entrada son el requerimiento bruto (Pronósticos), stock de seguridad, costo de pedir, costo de cada material y costo de mantener en inventario. Aunque se muestran los resultados para las 23 referencias analizadas es posible ingresar los datos de entrada correspondientes al resto de referencias que produce la empresa y definir una planeación para estas. El aplicativo que define las políticas de pedido para las referencias que se importan utiliza un algoritmo PSO para encontrar los parámetros óptimos para cada política con menos de 200 iteraciones y una muestra de 40 partículas para cada referencia. Las política S,s,T es la política con mejor medida de desempeño (costo) aunque no tiene una diferencia significativa con las políticas Q,R y S,T.

Para comparar las políticas actuales de la empresa con las políticas programadas se realizaron 10 escenarios diferentes con el aplicativo cambiando el stock de seguridad para analizar el comportamiento de los costos de cada política, a partir de los distintos escenarios se concluye que las políticas actuales de la empresa son mejores en un 44% respecto a la de lote a lote en promedio, sin embargo se ve una mejora del 70% de los costos actuales de la empresa con respecto a la política MCU, para la política PPB se encuentra una mejora del 63% respecto a los costos de la empresa, y por ultimo para la política silver meal se evidencia una reducción de costos en un 71% respecto los costos actuales

6 Glosario

- Clasificación ABC: Es una metodología de segmentación de productos de acuerdo Es una metodología de segmentación de productos de acuerdo con criterios establecidos por la empresa ya pueden ser: valor unitario, volumen demandado. El A hace parte del 80% de la valorización del inventario, el B el 15% y el C el 5%. (Salazar, 2016).
- Costos de faltantes. Cuando las existencias de una pieza se agotan, el pedido debe esperar hasta que las existencias se vuelvan a surtir o bien es necesario cancelarlo (Chase, 2014).
- Costos de mantenimiento (o transporte). Esta amplia categoría incluye los costos de las instalaciones de almacenamiento, manejo, seguros, desperdicios y daños, obsolescencia, depreciación, impuestos y el costo de oportunidad del capital (Chase, 2014).
- Costos de pedidos. Estos costos se refieren a los costos administrativos y de oficina por preparar la orden de compra o producción (Chase, 2014).
- Demanda dependiente: Necesidades de un producto o servicio incitadas por la demanda de otros servicios o productos. Esta demanda interna no tiene que ser pronosticada, pero puede calcularse sobre la base de la demanda de otros productos o servicios (Chase, 2014).

- Demanda independiente: Demanda que no puede derivarse directamente de la demanda de otros productos (Chase, 2014).
- Inventario: Son las existencias de una pieza o recurso utilizado en una organización (Chase, 2014).
- Inventario de Seguridad: Se define como las existencias que se manejan además de la demanda esperada (Chase, 2014).
- Modelo de cantidad de pedido fija (EOQ): Modelo de control de inventario en el que la cantidad requerida es fija y el pedido real se basa en la reducción del inventario a un nivel específico (Chase, 2014).
- Modelo de periodo fijo: Modelo de control de inventario que especifica el inventario pedido al final de un periodo predeterminado. El intervalo entre pedidos es fijo y la cantidad pedida varía (Chase, 2014).
- Planeación de requerimiento de materiales (MRP): Lógica de determinar el número de piezas, componentes y materiales necesarios para fabricar un producto. La MRP también proporciona el programa que especifica cuándo se debe pedir o producir cada material, pieza y componente (Chase, 2014).
- Programa maestro de producción (MPS) Plan con fases de tiempo que especifica cuánto y cuándo piensa crear la empresa cada pieza final (Chase, 2014).
- Políticas de inventario: Son estrategias que usan las empresas para una correcta administración de los recursos de los materiales con el fin de la disminución de costos de almacenamiento. software contable y administrativo, SIIGO. (2016).
- Pronóstico de regresión lineal: Técnica de pronóstico en la que se presume que los datos previos y las proyecciones a futuro caen sobre una recta (Chase, 2014).
- Posición de inventario: Se define como la cantidad disponible más la pedida menos los pedidos acumulados (Chase, 2014).
- Sistema de inventarios: Es el conjunto de políticas y controles que vigilan los niveles del inventario y determinan aquellos a mantener, el momento en que es necesario reabastecer y qué tan grandes deben ser los pedidos (Chase, 2014).
- Suavización exponencial: Técnica de pronóstico por series de tiempo, en la que cada incremento de los datos de la demanda anterior aminora en $(1 - \alpha)$ (Chase, 2014).
- Unidad inventariada (SKU): Término común que se utiliza para identificar una pieza en el inventario (Chase, 2014).

7 Tabla de Anexos y Apéndices

No Anexo	Nombre	Tipo de archivo
1	Plantilla aplicativo MRP	Excel
2	MRP escenarios vs costo actual empresa	Excel
3	MRP planeación 2019	Excel
4	Aplicativo políticas de pedido	Excel
5	políticas inventario referencias importadas	Excel
6	Tabla resultado pronósticos	Excel
7	pronósticos referencias	Excel
8	Clasificación ABC	Excel
9	Resultados finales	Excel

Referencias

Al-Hawari, T., Ahmed, A., Khrais, S., & Mumani, A. (2013). Impact of assignment, inventory policies and demand patterns on supply chain performance. *International Journal Of Simulation Modelling*, (3), 164. doi:10.2507/IJSIMM12(3)3.235

Amin, M., & Altiok, T. (1997). Control policies for multi-product multi-stage manufacturing systems: An experimental approach. *International Journal Of Production Research*, 35(1), 201-223. doi:10.1080/002075497196055

ANDONEGI J., CASADESÚS M. y ZAMANILLO I. (2005): "Evolución Histórica de los Sistemas ERP: de la Gestión de Materiales a la Empresa Digital". *Revista de Dirección y Administración de Empresas*, N° 12, pp. 6-72.

Arango Marin, J. A., Giraldo Garcia, J. A., & Castrillón Gómez, O. D. (2013). Gestión de compras e inventarios a partir de pronósticos Holt-Winters y diferenciación de nivel de servicio por clasificación ABC. *Scientia Et Technica*, 18(4), 743-747.

Bakal, İ. S., Bayındır, Z. P., & Emer, D. E. (2017). Production, Manufacturing and Logistics: Value of disruption information in an EOQ environment. *European Journal Of Operational Research*, 263446-460. doi: 10.1016/j.ejor.2017.04.045

Bogataj, L., & Horvat, L. (1996). Stochastic considerations of Grubbström-Molinder model of MRP, input-output and multi-echelon inventory systems. *International Journal Of Production Economics*, 45(1-3), 329-336. doi:10.1016/0925-5273(96)00050-3

Bustos Flores, Carlos Enrique; Chacón Parra, Galia Beatriz El MRP En la gestión de inventarios *Visión Gerencial*, núm., 1., enero-junio, 2007, . . . Venezuela. *Visión gerencial* ISSN: 1317-8822 revistavisiongerencial@gmail.com universidad de los andes Venezuela

Chase, R. B., Jacobs, F. R., Aquilano, N. J., Torres Matus, R., Montúfar Benítez, M. A., Horton Muñoz, H., ... Mares Chacón, J. (2014). *Administración de operaciones. producción y cadena de suministros*. México; Bogotá McGraw-Hill/Interamericana Editores c2014. Retrieved from <http://ezproxy.javeriana.edu.co:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat01040a&AN=pujbc.883984&lang=es&site=eds-live>

D. G., N., & D. N. P., M. (1981). Optimal Preventive Maintenance Policies for Repairable Systems. *Operations Research*, (6), 1181.

Davino, M., De Simone, V., & Schiraldi, M. (2014). Revised MRP for reducing inventory level and smoothing order releases: A case in manufacturing industry. *Production Planning And Control*, 25(10), 814-820. doi:10.1080/09537287.2013.764579

DÍAZ A. (1999): *Gerencia de Inventarios*. Ediciones IESA, Venezuela. doi: 10.1109/ICAL.2007.4338606.

Dra. Ssima Carrillo, Dra. Loreto María Bravo Zanoguera, & M.A. Zulema Córdova Ruiz. (2016). El control de los inventarios y sus implicaciones financieras en el capital de trabajo de las empresas

El-Ferik, S. (2008). Production, Manufacturing and Logistics: Economic production lot-sizing for an unreliable machine under imperfect age-based maintenance policy. *European Journal Of Operational Research*, 186150-163. doi: 10.1016/j.ejor.2007.01.035

Garrido Bayas, I. Y., & Cejas Martínez, M. (2017). INVENTORY MANAGEMENT AS A STRATEGIC FACTOR IN BUSINESS ADMINISTRATION. *Revista Negotium*, 12(37), 109-129.

Grubbström, R., & Molinder, A. (1994). Further theoretical considerations on the relationship between MRP, input-output analysis and multi-echelon inventory systems. *International Journal Of Production Economics*, 35(1-3), 299-311. doi:10.1016/0925-5273(94)90096-5

L. Ferbar T., Joint optimisation of demand forecasting and stock control parameters, *International Journal of Production Economics* 127, 2010, Pp. 173-179.

Lagodimos, A., Skouri, K., Christou, I., & Chountalas, P. (2018). The discrete-time EOQ model: Solution and implications. *European Journal Of Operational Research*, 266(1), 112-121. doi: 10.1016/j.ejor.2017.09.018

Louly, M., & Dolgui, A. (2011). Optimal time phasing and periodicity for MRP with POQ policy. *International Journal Of Production Economics*, 131(Innsbruck 2008), 76-86. doi: 10.1016/j.ijpe.2010.04.042

Madroño, C.M. (2010). *Administración Financiera del Circulante*. México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos.

Panzuto, N., & Rodrigues, P. (2011). Analysis of inventory management in small business auto parts. 2011 4Th International Conference On Logistics, LOGISTIQUA'2011, (2011 4th International Conference on Logistics, LOGISTIQUA'2011), 186-191. doi:10.1109/LOGISTIQUA.2011.5939424

Rodriguez, M., Corsano, G., Vecchietti, A., & Montagna, J. (2018). Simultaneous optimization of production planning and inventory management of polyurethane foam plant. *Optimization And Engineering*, 19(1), 97-123. doi:10.1007/s11081-017-9364-3

selection policies for the dynamic and stochastic inventory-routing problem. *Computers And Operations Research*, 7414-20. doi: 10.1016/j.cor.2016.04.004

S. Axsäter. *Inventory Control*. Kluwer Academic Publishers. Boston. 2000. pp. 2-5.

Sánchez, O.P., Moras S. C., Cortés R.G., Hernández M. D. & Ferrer C. E. (2013). Análisis comparativo de modelos matemáticos para calcular los niveles de inventario y minimizar los costos del almacén de refacciones de una empresa vidriera. (Spanish). *Revista de la ingeniería Industrial*, 7(1), 37-50.

W. M. Harvey. "And then there were none". *Operations Research*. Vol. 50. 2002. pp. 217-226.

Yildiz, H.), Narasimhan, R.), Narayanan, S.), & Duhadway, S.). (2016). Production planning using evolving demand forecasts in the automotive industry. *IEEE Transactions On Engineering Management*, 63(3), 296-304. doi:10.1109/TEM.2016.2560162

Z. Ping, Z. Zu-de, C. You-ping and N. Long-yu, "Robust Optimization and Simulation of Production/inventory System with Stochastic Demand," 2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics, Jinan, 2007, pp. 455-458.

Eberhart, R. and Shi, Y. (1995). *Particle Swarm Optimization: Developments, Applications and Resources*. Purdue School of Engineering and Technology.

McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L. (2004). *Six sigma black belt handbook*. McGraw-Hill.