



Universidad Autónoma del Estado de México



Maestría en Ingeniería de la Cadena de Suministro

“Propuesta de una política de inventario para mejorar las existencias de materias primas y producto terminado de una empresa del sector textil”

Presenta:

Ing. Samuel Domínguez Rosales

Director de Trabajo Terminal de Grado:

Dra. Lourdes Loza Hernández

Co – Director:

M. en I. Sergio Vázquez Aranda

Tutor:

Dr. Agustín Bustos Rosales

Toluca, México, mayo 2024

Contenido

ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE ANEXOS.....	6
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Descripción del objeto de estudio	4
1.2 Planteamiento del problema	7
1.3 Alcances y Limitaciones	9
1.4 Hipótesis.....	10
1.5 Objetivos	10
1.6 Justificación.....	10
1.7 Metodología para el desarrollo del Trabajo Terminal de Grado	11
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	14
2.1 Revisión de literatura	14
2.2 Inventarios.....	20
2.3 Control de los Inventarios	22
2.4 Pronósticos de la Demanda	27
2.5 Programación maestra de producción (MPS).....	31
2.6 Dinámica de sistemas.....	35
2.7 Indicadores clave de desempeño	38
CAPITULO 3. DESARROLLO DEL TRABAJO	41

3.1	Análisis y clasificación de datos	41
3.2	Análisis de la demanda.....	43
3.3	Aplicación de métodos de pronósticos.....	45
3.4	Creación de MPS para productos pronosticados.....	50
3.5	Determinación de MRP para materias primas.....	52
3.6	Determinación del tamaño de lote a ordenar por periodo	56
CAPITULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		57
4.1	Comparación del inventario actual con el generado por el MPS y MRP.....	57
4.2	Análisis de sensibilidad para el tamaño de lote de materia prima.....	60
4.3	Modelo de simulación para validar el nivel de servicio	64
CONCLUSIONES		72
RECOMENDACIONES		76
TRABAJOS FUTUROS		77
REFERENCIAS.....		78
ANEXOS.....		82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Etapas del ciclo de vida de un producto.....	15
Tabla 2: Resumen del marco teórico.....	20
Tabla 3: Aplicabilidad de los métodos de pronósticos.....	29
Tabla 4: Resumen de la demanda para los 39 productos a analizar	42
Tabla 5: Errores de pronósticos.....	45
Tabla 6: Errores de pronóstico con alfa declinante	48
Tabla 7: Pronósticos calculados con el método de α declinante para los 39 productos	49
Tabla 8: Cálculo de MPS para el producto 12, para 12 semanas	51
Tabla 9: Cantidad de material requerido hasta la semana 5 para el producto 12	53
Tabla 10: Lista de materiales requeridos hasta la semana 5 de 15 materias primas.....	54
Tabla 11: Cálculo de MRP para la materia prima 83	55
Tabla 12: Información de los productos que usan la materia prima 83.....	57
Tabla 13: Cantidad de meses en inventario para los productos que usan la materia prima 83	58
Tabla 14: Valor del inventario para el producto 12.....	59
Tabla 15: Valor del inventario para la materia prima 83	59
Tabla 16: KPI de inventario para lote modificado de la materia prima 83	61
Tabla 17: KPI de inventario para lotes de 10,000 dm de la materia prima 83	62
Tabla 18: Resumen KPI cobertura de inventario	63
Tabla 19: Resumen KPI tasa de rotación de inventario	64
Tabla 20: Nivel de servicio para los 39 productos	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Organigrama de la empresa caso de estudio.....	5
Fig. 2: Áreas involucradas.....	6
Fig. 3: Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto aplicar.....	12
Fig. 4: Ciclo de vida de un producto.....	16
Fig. 5 Ejemplo de estructura de materiales.....	32
Fig. 6 Metodología de la dinámica de sistemas.....	36
Fig. 7 Ejemplo de diagrama causal.....	37
Fig. 8 Ejemplo de diagrama de Forrester.....	38
Fig. 9: Gráfica de la demanda para el producto 1.....	43
Fig. 10: Gráfica de la demanda para el producto 12.....	44
Fig. 11: Gráfica de la demanda para el producto 1.....	47
Fig. 12: Gráfica de pronóstico para el producto 1.....	49
Fig. 13: Estructura de materiales para el producto 12.....	52
Fig. 14: Diagrama Causal para la empresa en estudio.....	66
Fig. 15: Diagrama de Forrester para el modelo de la empresa caso de estudio.....	68
Fig. 16: Nivel de servicio promedio para la simulación del producto 12.....	70

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Ventas históricas de los últimos seis años de 39 productos.....	82
Anexo 2: Errores de pronóstico para 39 productos	82
Anexo 3: Pronósticos resultantes con el método α declinante	92
Anexo 4: Liberaciones de producción para los 39 productos	93
Anexo 5: Inventario promedio al 6º mes para productos que utilizan la materia prima 83	94
Anexo 6: Inventario promedio al 6º mes para la materia prima 83.....	98
Anexo 7: Gráficas de series de tiempo para los 39 productos analizados.....	99

RESUMEN

Este trabajo terminal de grado fue desarrollado en una empresa mexicana del sector textil, la cual fabrica productos deportivos y atiende al mercado nacional e internacional, donde se identificó que la demanda de esta empresa es altamente variable y no muestra tendencias o estacionalidades claras, lo que impacta directamente en sus niveles de inventario, por tanto es necesario determinar las políticas adecuadas para la gestión de sus inventarios tanto de materias primas como de productos terminados.

El objetivo principal del trabajo es proponer una política de inventario, que mejore las existencias de producto terminado y materias primas, acorde a los requerimientos del mercado del sector del caso de estudio y las necesidades de producción de la empresa, para evitar que exista sobre inventario, así como mantener un nivel de servicio al cliente por encima del 90%. Los productos fueron clasificados considerando los 39 principales para la empresa y sus correspondientes materias primas. Se determinó el pronóstico de su demanda independiente y con base en ella se realizó el programa maestro de producción y la planeación de requerimientos de materiales.

Los resultados muestran que efectivamente el modelo propuesto disminuye el valor de inventario de materia prima y producto terminado en un 58%, y se mantiene un nivel de servicio promedio de 96.36%, con lo que se cumplen los objetivos del trabajo.

ABSTRACT

This final degree project was developed in a Mexican company within the textile sector that manufactures sports products and serves national and international markets. It was identified that the demand of this company is highly variable with no trends or clear seasonalities, which leads to the need to identify a methodology for properly managing its inventories of raw materials and finished products.

The main objective of this work was to improve the stocks of raw materials and finished products in the warehouses to avoid overstock and, at the same time, to maintain a customer service level above 90%. This procedure was performed for the 39 main products of the company and their corresponding raw materials. The forecasting calculation was first applied for the 39 products, and based on their master production program, the material requirement process was planned.

The results show that effectively applying this methodology leads to a decrease in the inventory value of raw materials and finished products by 58% while maintaining an average service level of 96.36%, which meets the objectives of this work.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

Los pronósticos aplicados para predecir el comportamiento de la demanda son indispensables para definir y tomar decisiones en las empresas, decisiones que se refieren a una amplia variedad de temas como son planeación de ventas, administración de inventarios, planeación de operaciones y producción, las cuales ayudan a las empresas, tanto de servicios como de manufactura, a alcanzar sus objetivos de satisfacción de clientes (Hyndman y Athanasopoulos, 2018).

Los métodos de pronóstico de la demanda pueden aportar mejoras importantes en las industrias de diferentes sectores, como se ve en Merkuryeva et al. (2019), donde se aplicaron tres métodos de pronóstico sobre los datos históricos de las ventas para determinar la demanda para una industria farmacéutica; se analizaron los resultados de los tres métodos y se seleccionó el mejor, permitiendo tomar decisiones coyunturales en su cadena de suministro.

La precisión que un pronóstico de demanda brinda es fundamental, ya que por medio de éste se determinan las cantidades de inventario de materia prima y producto terminado que debe mantener una empresa, para satisfacer los requerimientos de sus clientes. Al tener la cantidad adecuada de inventarios también se reducen los costos de los mismos, como se ve en el análisis hecho por Díaz-Batista y Pérez-Armayor (2012), donde por medio de un análisis colaborativo con enfoque justo a tiempo se logró alinear las decisiones de compra entre un productor y su proveedor.

Debido a la importancia del análisis de la demanda, este trabajo parte de realizar una clasificación de productos, para después aplicar métodos de pronósticos que son la base para construir un programa maestro de producción, y posteriormente calcular los requerimientos

de materiales para un horizonte de planeación definido, la aplicación de esta metodología tiene el objetivo de determinar una política de inventario con la cual se mantenga la existencia adecuada de producto terminado y materias primas y que además permita mantener un nivel de servicio por encima del 90%. En este primer capítulo se sientan las bases para el trabajo terminal de grado, como son el planteamiento del problema, alcances y limitaciones, hipótesis, objetivos y la justificación del trabajo; en el capítulo dos se anexa la parte teórica de los métodos y herramientas que se utilizaron en el trabajo, en el capítulo tres se describe la aplicación de estos métodos y herramientas, en el capítulo cuatro se realiza un análisis de resultados así como una comparación de la situación actual de la empresa con lo propuesto por este trabajo terminal de grado, por último se mencionan las conclusiones de la realización de este trabajo así como las recomendaciones y trabajos futuros.

1.1 Descripción del objeto de estudio

Para el desarrollo del trabajo terminal de grado, el objeto de estudio es una empresa mexicana de manufactura ubicada en la ciudad de Toluca, dividida en dos plantas, la cual fabrica productos tanto para el mercado nacional como para exportación a Estados Unidos.

El organigrama de la parte administrativa de la empresa está constituido como se muestra en la Figura 1:

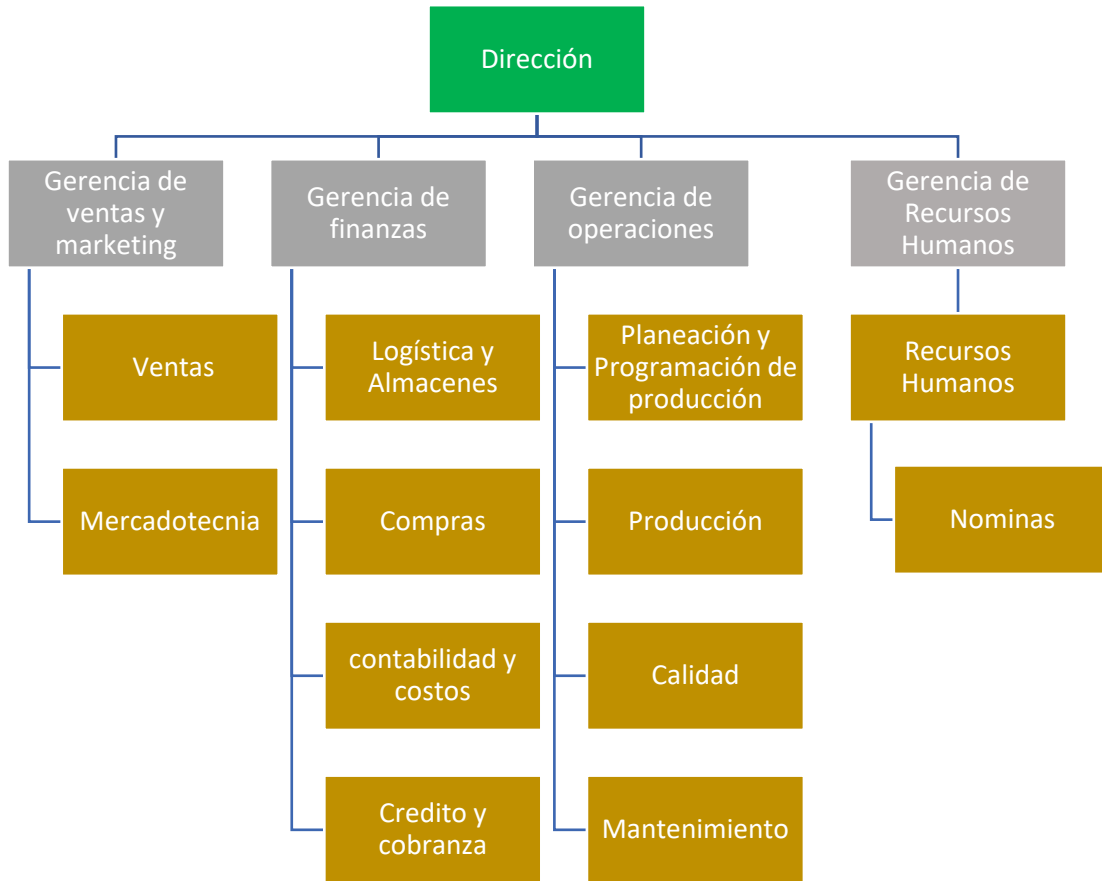


Fig. 1: Organigrama de la empresa caso de estudio. Fuente: Elaboración propia

El desarrollo del trabajo terminal de grado involucra directamente las áreas mostradas en la Figura 2, tomando en cuenta solo la primera planta de producción que es donde se fabrican los productos analizados:



Fig. 2: Áreas involucradas. Fuente: Elaboración propia

El área de ventas está constituida por 5 personas, las cuales se encargan de atender a los clientes nacionales, mayoristas o cadenas comerciales, e-Commerce y ventas de clientes extranjeros, es decir, pedidos para exportación, estos ejecutivos de ventas se encargan de pasar los pedidos nuevos que requieran su fabricación al planeador de producción, del cual se verá su descripción de actividades más adelante.

El área de compras está conformada por el jefe de compras y un comprador, los cuales tiene a su cargo las actividades de: gestionar las solicitudes de compra de almacén de materia prima, resurtir las existencias de materiales, atender las solicitudes de compra del área de mantenimiento para refacciones y tratar con los proveedores y su desarrollo.

El área de logística y almacenes la forman el jefe de área, dos encargados de almacén de materia prima, dos encargados de almacén de producto terminado, y 3 choferes, en conjunto llevan a cabo el traslado de productos para conformar los embarques de entrega de producto

terminado a clientes finales; mantener existencias de materia prima, a través de órdenes de compra y recibiendo los materiales en los almacenes respectivos.

El área de planeación y programación de producción se encarga de analizar los nuevos pedidos de venta, para determinar cuánto producir y definir fechas de fabricación y entrega de productos, analiza la existencia de materia prima en cada una de las 2 plantas de producción y envía a cada planta el programa de producción semanal.

El área de producción está a cargo de dos personas, que son los jefes de planta de cada una de las dos ubicaciones, quienes administran al personal y recursos de producción disponible, para lograr los objetivos en los tiempos y niveles de calidad requeridos.

1.2 Planteamiento del problema

Es muy importante que las empresas de manufactura cuenten con los recursos necesarios para cumplir con sus objetivos de producción, tales como nivel de servicio al cliente, productividad y calidad. En específico para tener a sus clientes satisfechos, se vuelve indispensable ofrecer una alta capacidad de respuesta a las necesidades de éstos, para ello, las empresas de manufactura deben contar con cantidades de inventarios de producto terminado y materia prima adecuadas que les permitan atender las necesidades de su mercado. Parte de los métodos cuantitativos para determinar las cantidades de inventarios dentro de una cadena de suministro son los pronósticos, que permiten predecir el comportamiento de la demanda para un horizonte de planeación y con este análisis definir políticas de inventario que permitan tener un alto nivel de respuesta y como consecuencia mejorar la eficiencia de la cadena de suministro de las empresas.

Para la empresa de manufactura, objeto de estudio de este proyecto, se observa que varias situaciones afectan el nivel de servicio de sus clientes, donde diferentes áreas de la empresa se ven involucradas (ventas, almacén, compras, planeación de la producción y producción).

Después de una revisión de las actividades que realizan las áreas anteriormente mencionadas, se observó que:

- No se maneja un método de pronósticos para determinar la demanda de los clientes.
- Se tienen identificados cuales son los productos que más se venden, pero no aquellos que son de movimiento medio y movimiento bajo.
- No se tienen bien definidos puntos de reorden y máximos o mínimos de productos terminados y materia prima.
- En el almacén de producto terminado, hay sobre inventario de algunos productos y faltantes para surtir pedidos de otros productos.
- No existe un plan de producción adecuado.

Todo lo anterior genera que la producción se realice con base a la intuición o experiencia que se tiene en el proceso, o a través del cálculo de promedios de las ventas registradas anteriormente y no de acuerdo con las necesidades de clientes. Por ello, es fundamental trabajar en una mejora, que apoye directamente en el área de Planeación de la producción para lograr aumentar la satisfacción de los clientes, buscando mejorar las existencias en inventario de las materias primas y productos terminados. Por lo tanto, la aplicación de métodos cuantitativos para analizar la demanda y proponer políticas de inventarios mediante el uso de un plan maestro de producción (MPS por sus siglas en inglés) y una planeación de

requerimiento de materiales (MRP por sus siglas en ingles), ayudará a alcanzar estos objetivos de la empresa.

1.3 Alcances y Limitaciones

Alcances

- Este proyecto tiene como objeto de estudio una empresa de manufactura de productos textiles.
- Las áreas involucradas en el desarrollo de este proyecto son ventas, compras, almacenes y producción de la empresa, de las cuales se obtiene la información para realizar los análisis correspondientes y la aplicación de métodos cuantitativos.
- Los análisis se realizaron sobre datos históricos de ventas de la empresa, con el fin de pronosticar comportamientos futuros.
- Los datos analizados corresponden a un periodo de 6 años, del año 2015 a 2020.
- Este proyecto tiene un impacto directo en el área de Planeación de la producción de la empresa.
- De la clasificación de productos ABC desarrollada solo fueron analizados aquellos que se fabrican de manera regular, es decir no se incluyeron productos especiales, productos de reciente lanzamiento o productos cuyo flujo de ventas este disminuyendo, tomando en consideración el ciclo de vida del producto terminado.

Limitaciones

- El desarrollo del trabajo terminal se realizó con los datos proporcionados por la empresa, y en algunos casos debido a la falta de ellos para la aplicación de los métodos propuestos, fueron supuestos con base en información aportada por el personal de la empresa.

- El desarrollo del trabajo se limitó a proporcionar una política de inventario que mejore los niveles de producto terminado y materias primas en el almacén de la empresa, con base en los cálculos realizados del pronóstico de la demanda, el MPS y MRP.

1.4 Hipótesis

La aplicación de una política de inventarios, a través del uso de métodos cuantitativos, mejora los niveles de existencia de producto terminado y materias primas en el almacén.

1.5 Objetivos

General

Proponer una política de inventario, que mejore las existencias de producto terminado y materias primas, acorde a los requerimientos del mercado del sector del caso de estudio y las necesidades de producción de la empresa.

Particulares

- Describir el objeto de estudio
- Realizar análisis ABC para identificar los productos principales para la empresa.
- Realizar el pronóstico de demanda de los productos seleccionados.
- Definir las medidas de desempeño para evaluar el inventario.
- Diseñar y desarrollar la política de inventario acorde a los productos seleccionados.
- Realizar un análisis comparativo de la situación actual con la política de inventario propuesta.

1.6 Justificación

En la empresa que es el objeto de estudio de este proyecto no se maneja un pronóstico de la demanda, esto propicia que no esté definido cuales son los productos de alto, medio y bajo

movimiento para tener una cantidad de inventario adecuada. Por lo tanto, la empresa requiere contar con un pronóstico de demanda, que ayude a mejorar los inventarios de producto terminado y materia prima, con la finalidad de satisfacer las necesidades de ventas y de producción.

Con base en la información proporcionada por personal de la empresa y el análisis de los requerimientos necesarios para la aplicación de las distintas herramientas cuantitativas, fue posible conseguir las mejoras en los inventarios que la empresa busca, lo que muestra la factibilidad de la implementación de la propuesta desarrollada. Además, la realización de este proyecto propone al personal de la empresa un conjunto de pasos ordenados en los que se aplican métodos cuantitativos para determinar la demanda que la empresa debe cubrir para satisfacer los requerimientos de su mercado meta, la cual es identificada desde el área de ventas a través del producto terminado y posteriormente con el correspondiente flujo de materias primas con las demás áreas involucradas (compras, almacenes y producción).

En el aspecto disciplinario, el proyecto contribuyó a la empresa con una propuesta que a través de la aplicación de metodologías propias de la ingeniería de la cadena suministro mejoran el control de sus procesos. También el proyecto contribuye en la parte profesional y académica de todos aquellos interesados en la aplicación de métodos cuantitativos a problemas reales relacionados a temas de inventarios y producción.

1.7 Metodología para el desarrollo del Trabajo Terminal de Grado

Para este trabajo terminal de grado se utilizaron datos históricos de ventas de la empresa de manufactura, objeto de estudio, con la finalidad de proponer a ésta una política de inventario, para mejorar las existencias de producto terminado y materias primas.

Para lograr el objetivo propuesto se aplicó la metodología de la figura 3:

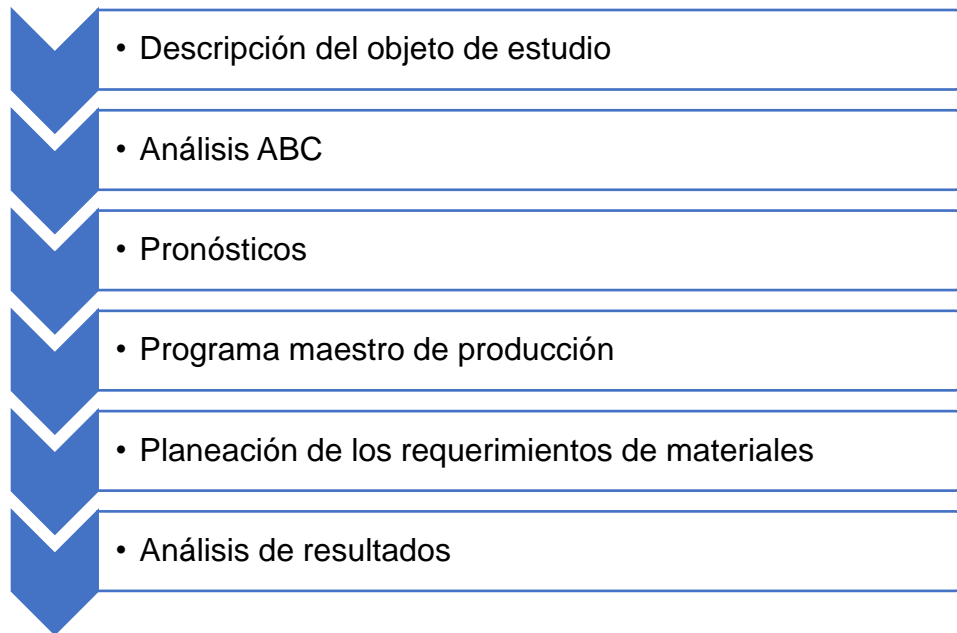


Fig. 3: Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto aplicar. Fuente: Elaboración propia

- Descripción del objeto de estudio: Se describieron a detalle las áreas de la empresa involucradas en la problemática, así como las mejoras necesarias para llevar a cabo el proyecto.
- Análisis ABC: Se utilizó un análisis ABC sobre los datos de ventas históricas, el cual consistió en dividir las piezas en tres grupos A, B y C, para determinar cuáles son los artículos que aportan el mayor volumen de ventas y concentrar sobre éstos las políticas de inventario a proponer.
- Pronósticos: Una vez que se identificaron los productos más importantes, se aplicaron métodos de pronóstico para determinar el comportamiento de la demanda.

- Programa maestro de producción (MPS): El pronóstico de demanda de la empresa se utilizó para determinar una política de inventario de productos terminados con base en el cálculo de MPS.
- Planeación de los requerimientos de materiales (MRP): Con base en las políticas de inventario desarrolladas, se calcularon los requerimientos de materia prima que mejoren su disponibilidad en almacén y llevar a cabo la producción en tiempo y mejorar la disponibilidad de producto terminado.
- Análisis de resultados: Por último, se hizo una comparativa entre las políticas de inventario propuestas en el trabajo terminal de grado y la situación actual de los inventarios de la empresa, en esta comparativa se pudo apreciar que las políticas brindan una mejora sustancial en los niveles de inventarios y el servicio a los clientes finales de la empresa.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan las definiciones, conceptos y métodos de forma teórica de las herramientas que se utilizaron para dar solución al problema identificado, así como la revisión de literatura que contribuyó a la realización del proyecto.

2.1 Revisión de literatura

Para la realización de este proyecto se realizó una revisión de literatura en libros que contienen la parte teórica de los métodos y modelos que se utilizan para el análisis de la demanda, elaboración de pronósticos y control de inventarios y también se revisaron artículos que explican los métodos aplicados a problemas específicos, a continuación, se mencionan estos trabajos.

En las empresas de manufactura la realización de pronósticos para su demanda es un aspecto muy importante para la toma de decisiones en sus distintas áreas, como es el caso del área de aprovisionamiento de materias primas, ya que de un pronóstico de demanda se deriva la planeación de requerimientos de materiales para la fabricación de productos, para esta planeación es necesario manejar grandes cantidades de información referente a los materiales requeridos, pero toda esta información debe de ser clasificada dependiendo de las características de los productos, es por eso que métodos de clasificación como el análisis ABC son muy útiles, en el trabajo de Macías-Acosta et al. (2019), se aplica a la logística de un centro de distribución la regla de 80/20 con el objetivo de identificar los artículos que representan el mayor valor del inventario y controlarlos, de esta forma se obtiene una mayor utilidad para la empresa. Este aspecto, al ser aplicado al análisis de la demanda para generar pronósticos, permite identificar que productos son los que generan mayor ganancia a la

empresa y generar pronósticos que permiten realizar una planeación adecuada y disminuir los faltantes en inventarios.

Se debe tener en cuenta para la clasificación de los productos de una empresa el ciclo de vida de estos. En Rosario (2019) se describen las etapas del ciclo de vida de un producto y las estrategias aplicables a cada una en el aspecto del marketing, las etapas se muestran en la

Tabla 1:

Tabla 1: Etapas del ciclo de vida de un producto

Etapas	Definición
Desarrollo del producto	Es cuando la compañía desarrolla un nuevo producto, durante esta etapa no hay ventas, pero si hay costos de inversión en el desarrollo del producto.
Introducción	Cuando el producto se lanza al mercado, las utilidades por las ventas son nulas debido a los gastos de introducción.
Crecimiento	En esta etapa el producto tiene aceptación en el mercado y se incrementan las utilidades.
Madurez	El crecimiento de las ventas deja de crecer y las utilidades alcanzan su punto más alto.
Decadencia	Es cuando las ventas y utilidades disminuyen.

Fuente: Elaboración propia, con base en (Rosario, 2019)

De acuerdo con esta clasificación, la etapa de madurez del ciclo de vida de un producto es cuando se tienen un volumen de ventas estable y la mayor cantidad de utilidades, como se ve en la Figura 4, teniendo esto en cuenta, se brinda un beneficio para el cálculo de pronósticos de la demanda ya que el análisis se centra en los productos que están en la etapa de madurez.

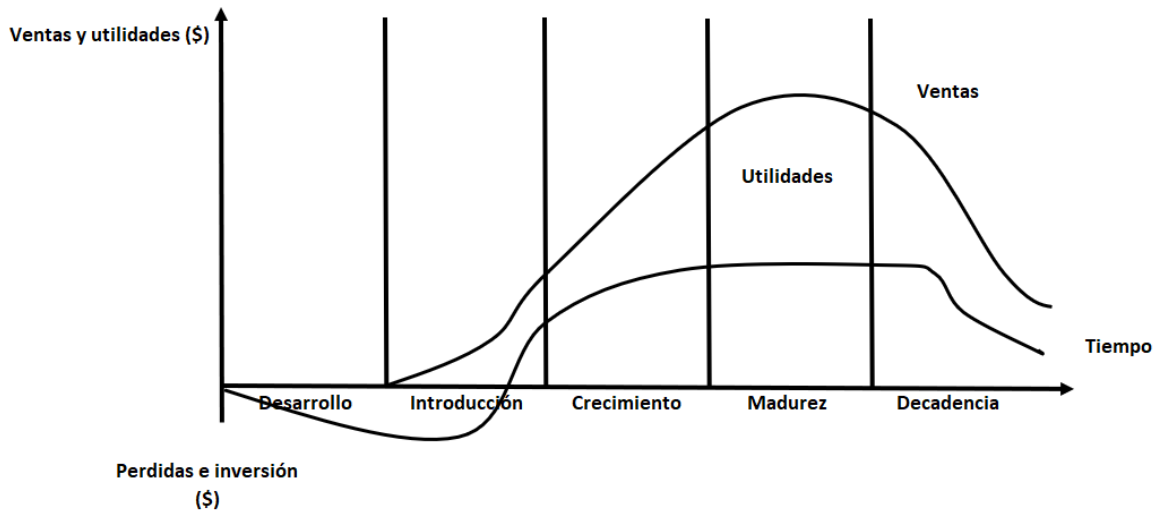


Fig. 4: Ciclo de vida de un producto. Fuente: (Ballou, 2004)

En el artículo de Méndez-Giraldo y Lopez-Santana (2014), se describe el caso de una empresa en la que se aplicaron métodos de pronósticos tomando en cuenta la variabilidad de la demanda de los productos, en este trabajo los métodos que dieron mejores resultados fueron la suavización exponencial doble y los promedios móviles dobles, teniendo como resultado una mejora del 10% en la desviación media absoluta, esta medida del error de pronóstico se utilizó debido a la variabilidad presente en la demanda de los productos, en este artículo se observa lo relevante que es utilizar los métodos de pronóstico adecuados para el comportamiento de la demanda que se analiza.

Las medidas del error de pronóstico nos permiten saber que tan exacta es la proyección de la demanda que se está calculando, generalmente la medida más utilizada es el error porcentual medio absoluto debido a su facilidad para interpretarse, sin embargo, hay situaciones en que esta medida no brinda una buena lectura del error, como en el caso del artículo anteriormente explicado donde debido a la variabilidad de la demanda se prefiere utilizar la desviación media absoluta.

En el trabajo de Franco (2023) se revisa la mejor forma de establecer un sistema de inventarios a partir de un método de pronóstico que funcione para demandas con características irregulares o de alta variabilidad, ya que para este tipo de demanda no es posible usar los sistemas de gestión empleados para la previsión de la demanda estable, en este trabajo se revisó el coeficiente de variación (CV) que es una medida de dispersión que analiza las desviaciones de los datos respecto a la media, sabiendo que de una demanda variable se obtiene un valor de CV elevado, se buscó el método de pronóstico que mejore o reduzca el valor del error de pronóstico de la desviación media absoluta (MAD por sus siglas en inglés) que también es el más adecuado para el análisis de una demanda variable, en los resultados de este trabajo se ve que el método de suavización exponencial es el que da un mejor resultado del MAD para una demanda con características de alta variabilidad.

Existen particularidades en el comportamiento de la demanda de las empresas, las cuales pueden afectar el cálculo de pronósticos con los métodos para serie de tiempo, en McClain (1981) se revisa una alternativa para definir la constante de suavizamiento α en el método de suavización exponencial simple, el método de α declinante es útil cuando se dan cambios repentinos en la demanda se describe a continuación.

En el método de suavización exponencial simple, los datos históricos reciben una ponderación a través de la constante de suavizamiento α con el objetivo de suavizar los comportamientos irregulares, sin embargo el valor asignado a α el cual está entre 0 y 1 da una mayor ponderación a los datos recientes, restándole importancia a los datos más antiguos de la serie de tiempo, esto es una desventaja cuando hay una disminución repentina de la demanda por situaciones irregulares, como es el caso de la pandemia de COVID-19, el método de α declinante corrige esta situación al dar una ponderación mayor a los datos más

antiguos, se utiliza la ecuación de suavizamiento exponencial simple, pero, el parámetro α cambia en cada periodo de la serie de tiempo mediante la ecuación 1:

$$\alpha_T = \frac{\alpha_{T-1}}{\beta + \alpha_{T-1}} \quad y \quad \alpha_0 = 1 \quad (1)$$

Donde:

α_T : valor dado al parámetro de suavizamiento en el periodo T.

β : factor de descuento entre cero y uno.

α_0 : valor inicial del parámetro de suavizamiento.

Una vez que se tiene el valor de α se utiliza la ecuación 2 de la suavización exponencial simple:

$$S_T = \alpha_T D_T + (1 - \alpha_T) S_{T-1} \quad (2)$$

Donde:

S_T : valor del pronóstico calculado en el periodo T.

α_T : valor del parámetro de suavizamiento en el periodo T.

D_T : valor reportado al final del periodo T.

Los modelos cuantitativos se utilizan como herramienta para la planificación de producción y base para la toma de decisiones en las empresas de manufactura, en Zotelo et al. (2017), se construye un modelo con base a una metodología donde se toman en cuenta conceptos de MRP y planificación táctica, con el objetivo de definir las cantidades a producir y los niveles de inventario, para una empresa de la industria química mexicana.

La asignación de los recursos materiales es de vital importancia en la gestión y planeación logística de las empresas, la aplicación del método MRP ayuda a conocer las necesidades de materiales para el horizonte de tiempo planificado, en Miño et al. (2015), se ve como el empleo del sistema MRP, en combinación con asistencia de la informática, es muy útil al aplicar en la gestión de materiales de la industria farmacéutica, la cual tiene altos estándares para el cumplimiento de la satisfacción de sus clientes.

En Pretel et al. (2013), se analiza un producto que tiene una demanda creciente y las consecuencias de los faltantes o excesos para lo cual se utilizaron dos modelos de simulación de dinámica de sistemas, que posteriormente se relacionan, con este modelo se analiza el impacto del nivel de inventario, las utilidades y el nivel de servicio con el fin de demostrar que los indicadores tradicionales utilizados no contemplan los costos de mantener inventario y de faltantes.

En Paredes-Rodríguez y Osorio-Gómez (2021), se observa la importancia que tiene el implementar una gestión de inventario R, S en el flujo de la red de distribución de una empresa ferretera, se analiza el funcionamiento de su cadena de suministro en la que intervienen, el detallista y el fabricante, mediante un modelo de simulación, los resultados muestran un impacto positivo debido a la utilización de esta forma de gestión de inventario, y se ve la importancia de parámetros como la demanda y el periodo de revisión.

Para cerrar este capítulo, se presenta en la Tabla 2 un resumen donde se listan los libros y trabajos que tuvieron mayor relevancia para la realización de este trabajo:

Tabla 2: Resumen del marco teórico

Autores	Aportación
Hyndmand y Athanasopoulos (2018)	Literatura para series de tiempo y métodos de pronósticos
Render y Heizer (2014)	Literatura sobre errores de pronóstico y su interpretación
Fogarty y Blackstone (2016)	Literatura sobre MPS y MRP
Nahmias y Olsen (2015)	Literatura sobre MRP, explosión de materiales, listas de materiales
Aracil y Gordillo (2005)	Metodología de dinámica de sistemas
Méndez-Giraldo y Lopez-Santana (2014)	Artículo sobre el análisis de la demanda con alta variabilidad
McClain (1981)	Utilización del método de pronóstico de suavización exponencial simple con α declinante

Fuente: Elaboración propia

2.2 Inventarios

Todas las materias primas, componentes, trabajo en proceso y producto terminado que están acumulados en distintos puntos en un proceso de producción y logística de las empresas (almacenes, patios, líneas de producción, tiendas), son llamados inventarios, los cuales generan un costo por mantenerlos, por lo tanto resulta muy importante administrar sus niveles para reducir costos (Chase y Jacobs, 2011).

Tipos de Inventarios.

De acuerdo a Ballou (2004) existen cinco tipos de inventarios:

- *Inventarios en tránsito:* son los materiales que se encuentran en ruta para su entrega y los materiales que se están en proceso para ser considerados como producto terminado.
- *Inventarios para especulación:* estos inventarios se dan con materiales específicos, de los cuales sus precios son muy variables en periodos de tiempo, se hacen estos inventarios tanto para especular con el precio como para satisfacer los requerimientos.
- *Inventarios regulares o cíclicos:* son los inventarios que se utilizan para satisfacer la demanda en un periodo fijo, durante el tiempo entre el reaprovisionamiento.

- *Inventario o existencias de seguridad*: se crean como protección contra la variabilidad en la demanda y el tiempo de entrega de reaprovisionamiento, estas existencias se determinan con procedimientos estadísticos que tienen que ver con la variabilidad involucrada en los procesos.
- *Inventario obsoleto*: es la cantidad de producto que se mantiene en almacén por mucho tiempo, se deteriora, caduca, pierde o es robado. Cuando se tienen inventarios de productos de alto valor o perecederos, se recomienda realizar acciones especiales para minimizar el tamaño de esos inventarios.

Ventajas y desventajas de los inventarios.

Algunas de las ventajas y desventajas de los inventarios mencionados anteriormente por el mismo autor son las siguientes (Ballou, 2004):

Ventajas:

- Se reducen costos de operación de otras actividades dentro de la cadena de suministro.
- Mantener inventarios puede favorecer economías de producción al conservar periodos de producción más grandes.
- Los inventarios funcionan como amortiguadores cuando se desacopla la producción con los requerimientos de la demanda.
- Ayudan a mantener una cantidad de materiales adquiridos a precios actuales más bajos, en lugar de comprarlos a precios futuros más altos.
- Es posible mejorar el servicio al cliente debido al nivel de disponibilidad de los productos o servicios.
- Contribuyen al incremento de las ventas en algunos casos.

Desventajas:

- Los inventarios absorben capital que podría ser utilizado para un mejor uso que contribuya a la productividad o competitividad de la empresa.
- Los inventarios almacenan valor, que en algunos casos no agregan valor a los productos.
- Cuando se tienen problemas de calidad los inventarios pueden ocultarlos, lo que dificulta corregir los problemas y reducir el inventario.
- La disponibilidad del capital invertido depende de la demanda del mercado.

2.3 Control de los Inventarios

La administración de los inventarios involucra conteos, elaboración de pedidos recepción y despacho de materiales, etc., para ello es necesario hacer uso de los recursos de las empresas (mano de obra y tiempo), enfocados a las piezas y materiales más importantes (Chase y Jacobs, 2011). El uso de métodos cuantitativos que permitan llevar a cabo la administración de los inventarios es clave para alcanzar los objetivos de las empresas. En los siguientes apartados se describen algunos de estos métodos.

Análisis ABC

Generalmente al realizar un análisis anual del uso de las piezas respecto a su volumen de costo, se ve que un reducido número de ellas representa un volumen de costo alto y su complemento es el gran número de piezas restantes que representa un volumen de costo bajo (Ravindran y Warsing, 2013).

En el análisis ABC se identifican tres grupos de productos de acuerdo con su valor: el grupo A conforma el 20% de las piezas totales que a su vez agrupan el 80% del valor total del

inventario, el grupo B conforma el 30% del total de las piezas y a su vez agrupa el 15% del valor del inventario y, finalmente las piezas C conforman el 50% del total de las piezas, que representa el 5% del valor del inventario. El tamaño de estos grupos es una aproximación, pero si divide claramente lo importante de lo que no lo es (Macías-Acosta et al, 2019).

Tipos de demanda

Existen los siguientes tipos de demanda, dependiendo de sus características de consumo de acuerdo con Ravindran y Warsing (2013):

- *Demanda independiente*: es la demanda que se determina por situaciones externas a una empresa, es decir de deriva de los gustos de los clientes finales y patrones de compra, son generalmente productos terminados.
- *Demanda dependiente*: es la demanda que se genera por el consumo de otros productos. Generalmente son las materias primas que se requieren para fabricar un producto terminado, esta demanda se determina por la planeación de producción de la empresa.
- *Demanda estacionaria*: Es la demanda determinada por su comportamiento, donde sus valores esperados son estables respecto al horizonte de planeación y utiliza métodos de inventario de “Tirón (Pull)”.
- *Demanda no estacionaria*: Es la demanda determinada por su comportamiento, donde sus valores esperados no son estables respecto al horizonte de planeación, utiliza métodos de inventario de “Empuje (Push)”.

Inventarios por Sistemas de Empuje y Tirón

La gestión de inventarios por sistema de Empuje se utiliza cuando la producción que se fabrica sobrepasa a la demanda es decir se fabrica para mantener un nivel de inventario con el que se espera satisfacer una demanda pronosticada. Para este método se deben de considerar las preguntas: ¿Cuánto inventario se debe de mantener? ¿Qué cantidad de un pedido de compra o producción se debe de hacer? ¿Cómo se distribuirá el exceso de inventarios? (Ballou, 2004).

El sistema de inventarios de Tirón asigna bajos niveles de inventario a los almacenes, ya que reacciona al comportamiento de la demanda (Ballou, 2004), es decir la ejecución de la planeación de la cadena de suministro se realiza a partir de una orden de compra de un cliente final, los métodos utilizados para la gestión de este sistema están basados en mantener bajos niveles de inventarios (Chopra y Meindl, 2013).

Políticas de Inventario

El control de los inventarios tiene el propósito de saber cuándo y que cantidad de productos pedir, esto se realiza con base en la situación del inventario, la demanda del producto y los tiempo de entrega (Axsater, 2006).

Método de Pedido Único

De acuerdo a Ballou (2004), el método de pedido único se usa para productos con demanda de una sola vez. Por ejemplo, las frutas frescas que tienen un corto tiempo de vida o los periódicos, cuyo ciclo de vida es de solo un día, entonces para determinar el tamaño de ese único pedido se realiza lo siguiente:

El tamaño de lote o pedido (Q^*) se obtiene al hacer que la utilidad de una unidad vendida sea igual a la pérdida de no vender la unidad.

Para obtener la utilidad por unidad vendida se hace:

$$Utilidad = Precio de unidad - Costo de unidad$$

La pérdida ocasionada al dejar de vender la unidad es:

$$Pérdida = Costo de unidad - Valor de deshecho de unidad$$

Método de Reabastecimiento instantáneo

De acuerdo a Chase y Jacobs (2011) este método se usa cuando la demanda es continua, se debe identificar qué cantidad se usará para reaprovisionar el inventario y la frecuencia con que se realizará el reaprovisionamiento. Su fórmula básica según Ballou (2004), se extrae de la ecuación 3 del costo total, la cual contempla los costos de compra y de mantener el inventario.

Costo total = Costo de Comprar + Costo de Mantener

$$TC = \frac{D}{Q} + \frac{ICQ}{2} \quad (3)$$

Donde:

TC= Costo total del inventario

Q = Cantidad de pedido necesaria para reabastecer el inventario, (unidades)

D = Demanda anual del producto, (unidades/año)

C = Valor del producto en el inventario

I = Costo de mantener el inventario, (porcentaje/año)

De esta expresión se pueden obtener las fórmulas para los siguientes datos:

Cantidad óptima de pedido:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} \quad (4)$$

Donde S es el costo de comprar

Tiempo óptimo entre cada pedido:

$$T^* = \frac{Q^*}{D} \quad (5)$$

Numero óptimo de veces por año, para colocar un pedido:

$$N = \frac{D}{Q^*} \quad (6)$$

También se puede considerar un tiempo de entrega al manejar este método, por lo cual es necesario saber el punto de reorden de un pedido respecto al tiempo de entrega, para así poder recibir el pedido en el tiempo adecuado. El punto de reorden se obtiene con la ecuación 7:

$$PRO = d * TE \quad (7)$$

Donde:

PRO =Punto de reorden, (unidades)

d = Demanda, en unidades tiempo

TE = tiempo de entrega.

2.4 Pronósticos de la Demanda

Los pronósticos son la base de la planeación de la cadena de suministro. Considerando los enfoques de empuje/tirón, todos los procesos de empuje se realizan con anticipación a la demanda del cliente entonces los responsables deben de planear el nivel de actividades de producción o cualquier otra actividad planeada, mientras que los procesos de tirón se realizan en respuesta a la demanda del cliente, en este caso los responsables planean el nivel de capacidad de producción e inventario disponibles, pero no la cantidad real que se ejecutara. Para estos dos casos primero se debe pronosticar la demanda (Chopra y Meindl, 2013).

Los pronósticos tienen como características que son imprecisos, por ello tienen una medida del error; cuando un pronóstico es de largo plazo tiene una desviación estándar del error mayor que si es de corto plazo y si se realiza un pronóstico de forma agregada, este es más preciso que si es desagregado Chopra y Meindl (2013).

Clasificación de los pronósticos

La clasificación de los pronósticos de la demanda de acuerdo con Hyndmand y Athanasopoulos (2018) es:

1. Cualitativos: estos métodos se apoyan en el juicio humano, se pueden utilizar cuando hay pocos datos históricos de la demanda.
2. Series de tiempo: estos métodos usan los datos históricos de la demanda para hacer un pronóstico. Aquí se supone que la demanda pasada puede indicar de manera confiable como se comportara la demanda futura, son los métodos más sencillos de realizar.

3. Causales: en estos métodos se supone que el pronóstico está relacionado con factores ambientales como son las tasas de interés y estado de la economía, la demanda del mercado.
4. Simulación: en estos métodos se imita el comportamiento de los clientes es decir las preferencias que originan la demanda, y mediante esto se crea el pronóstico de la demanda.

Toda demanda observada tiene dos componentes: el componente sistemático y el componente aleatorio:

$$\textit{Demanda observada} = \textit{componente sistemático} + \textit{componente aleatorio}$$

El componente sistemático incluye el nivel, tendencia y estacionalidad que se pueden observar o no en la demanda.

El componente aleatorio es la parte que se desvía del componente sistemático de la demanda, este componente no se pronostica, solo se puede determinar mediante el error de pronóstico, el cual se obtiene restando la demanda real al pronóstico de demanda.

Los pasos que Hyndmand y Athanasopoulos (2018) proponen para pronosticar de forma correcta la demanda son: I) Definición del problema, II) Definición del problema, III) Reunir información, IV) Análisis preliminar (exploratorio), V) Elegir y adecuar el modelo, VI) Usar y evaluar el modelo de pronóstico.

Métodos de Series de Tiempo

El análisis de la demanda en empresas de manufactura se realiza con base en su información histórica descrita como series de tiempo, por ejemplo, datos de la cantidad de ventas en periodos de tiempo que pueden ser semanales, mensuales o anuales, se revisa su comportamiento para identificar patrones de tendencia o estacionalidad y de esta forma saber que método de pronóstico se debe utilizar. La Tabla 3 muestra qué métodos aplicar de acuerdo con el comportamiento de la demanda (Makridakis et al, 1997).

Tabla 3: Aplicabilidad de los métodos de pronósticos

Método de Pronóstico	Aplicación
Promedio móvil	Series de tiempo sin tendencia ni estacionalidad
Suavización exponencial simple	Series de tiempo con tendencia
Suavización exponencial doble	Series de tiempo con tendencia
Método Winters	Series con tendencia y estacionalidad

Fuente: Elaboración propia

Errores de pronóstico

El error de pronóstico es la diferencia entre el pronóstico y la demanda real. La demanda de productos se genera por la interacción de varios factores por lo tanto todos los pronósticos contienen algún error (Chase y Jacobs, 2011).

Las medidas del error de pronóstico explicadas en Chopra y Meindl (2013), son:

- Error cuadrático medio (MSE por sus siglas en inglés)
- Desviación media absoluta (MAD por sus siglas en inglés)
- Error porcentual medio absoluto (MAPE por sus siglas en inglés)

De acuerdo con Render y Heizer (2014) estos errores de pronóstico consisten en:

- El MSE esta medida del error de pronóstico se obtiene al realizar el promedio de los cuadrados de las diferencias encontradas entre los valores pronosticados y los observados se calcula con la ecuación 8

Donde:

Errores de pronóstico: es la demanda pronosticada menos la demanda real.

n: indica el número de periodos analizados.

$$MSE = \frac{\sum(\text{errores de pronóstico})^2}{n} \quad (8)$$

- El error MAD se calcula sumando los valores absolutos de los errores individuales del pronóstico y dividiendo el resultado entre el número de periodos con datos (n), se utiliza la ecuación 9.

Donde:

Real: demanda real.

Pronóstico: demanda pronosticada.

n: número de periodos analizados.

$$MAD = \frac{\sum|Real - Pronóstico|}{n} \quad (9)$$

- El error MAPE se obtiene al realizar el promedio de las diferencias absolutas entre los valores pronosticados y los reales, esta medida de error se expresa como un porcentaje de los valores que se utilizan originalmente, se utiliza la ecuación 10.

Donde:

i: periodo registrado.

Real: demanda real.

Pronóstico: demanda pronosticada.

n: número de periodos analizados.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n 100 |Real_i - Pronóstico_i| / Real_i}{n} \quad (10)$$

2.5 Programación maestra de producción (MPS)

El programa maestro de producción presenta la demanda incluyendo los pronósticos, pedidos pendientes, inventario en mano y cantidad disponible, el MPS especifica los productos terminados que una empresa sabe o pronostica que producirá en cada periodo. El MPS es un eslabón clave en la cadena de planeación de manufactura y producción (Fogarty y Blackstone, 2016).

La programación maestra calcula los productos finales necesarios para atender los requerimientos de todas las fuentes de demanda, posibilita al área de producción hacer la evaluación de los requerimientos de capacidad detalladamente, además brinda información necesaria para que las áreas de producción y mercadotecnia lleguen a un acuerdo sobre acciones cuando las solicitudes de los clientes no se puedan satisfacer con la capacidad normal, por último ayuda a la administración a discernir si podrá lograr el plan y los objetivos comerciales que se han planteado.

El programa de producción más simple se denomina lote por lote, esto es cuando se produce solo el número de unidades requeridas en cada periodo, pero además de este método, si se conocen los costos de mantener el inventario y costos de producción es posible construir planes más eficientes, como son el método de cantidad económica de pedido (EOQ), el

método heurístico de Silver - Meal o el método heurístico del menor costo (Nahmias y Olsen, 2015).

Estructura de materiales

La estructura de los materiales o lista de materiales se utiliza para proyectar las necesidades de materiales para la producción de un subensamble o ensamble final, la Figura 5 ilustra la estructura de materiales para un producto final.

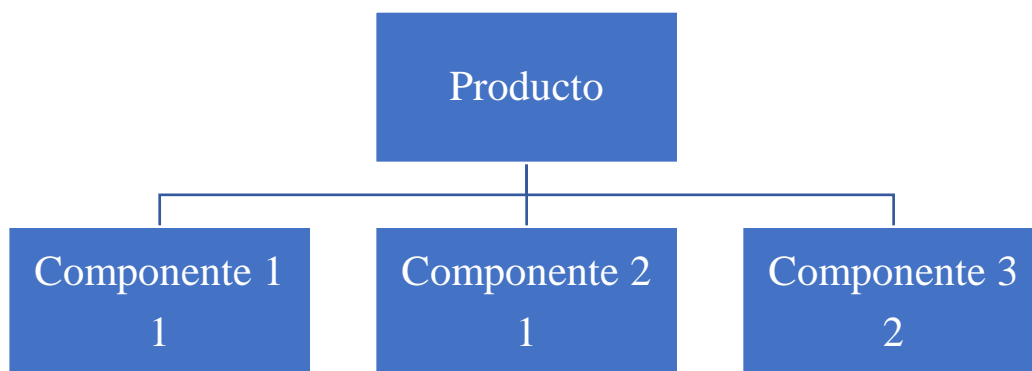


Fig. 5 Ejemplo de estructura de materiales. Fuente: Elaboración propia

La figura 5 indica que para fabricar una unidad del Producto se requiere una unidad del componente 1, una unidad del componente 2 y dos unidades del componente 3, la estructura de la lista de materiales se divide en niveles de acuerdo con Nahmias y Olsen (2015):

- Nivel 0: es el producto final y no se considera componente de ningún otro producto.
- Nivel 1: es un componente directo del nivel 0 es decir del producto final, al mismo tiempo el nivel 1 puede ser también un producto final, como ejemplo un motor de

automóvil se puede vender como un producto final (Nivel 0) pero al mismo tiempo puede ser el componente de la lista de materiales de un automóvil (Nivel 1).

- Nivel 2: es un componente directo del nivel 1 y de nueva cuenta se puede comportar como producto final o componente de algún producto final.
- Nivel n: es el componente directo del nivel n-1.

Planeación de los requerimientos de materiales (MRP)

El MRP es una metodología que es posible realizar a partir de un programa maestro de producción, para la cantidad de productos que es necesario fabricar se calcula la cantidad de materia prima requerida, se utilizan las listas de material y el tiempo de producción de cada uno de los productos así como la información de inventarios disponibles (Fogarty y Blackstone, 2016)

Para llevar a cabo el MRP la siguiente información es necesaria (Silver et al., 2017)

- El MPS proyectado para el horizonte de planeación, este contiene el programa de producción para cada producto final en el periodo de tiempo.
- El estatus de inventario de cada producto (incluyendo posibles faltantes) es esencial que esta información sea exacta porque se establece el tiempo de reabastecimiento y una información errónea puede causar severos problemas.
- Las cantidades y tiempos de cada orden de reabastecimiento en curso.
- Pronósticos de la demanda para cada componente.
- Todas las listas de material y niveles de códigos asociados.
- Tiempos de entrega de producción o reabastecimiento.

Al realizar el proceso de MRP se utiliza una tabla en donde periodo a periodo del horizonte de planeación se registran las cantidades de los datos siguientes:

- Requerimientos brutos
- Recepciones programadas
- Disponible proyectado
- Requerimientos netos
- Recepciones planeadas
- Emisiones planeadas

Los requerimientos brutos provienen de los requerimientos netos en el nivel inmediato superior de la BOM (lista de materiales, por sus siglas en ingles), se utiliza la información del inventario inicial y con esto se obtiene la cantidad de inventario disponible. Para que existan requerimientos netos es necesario que la cantidad de inventario que se encuentra disponible sea menor, que la cantidad requerida o menor que el inventario de seguridad.

Las recepciones programadas se dan a partir de ordenes emitidas con anterioridad a producción o proveedores, es decir en el momento en que una orden es liberada esta generará una recepción programada, de acuerdo con el tiempo de entrega del producto o material.

De acuerdo con Nahmias y Olsen (2015), la planeación mediante MRP tiene las siguientes ventajas y desventajas

Ventajas:

- Mejora la velocidad de entrega del producto terminado
- Coordina la programación de producción y los inventarios
- Mejora el servicio al cliente
- Aumenta las ganancias

Desventajas:

- Se ignora la incertidumbre del pronóstico
- También se ignoran las limitaciones de capacidad
- Los tiempos de entrega se asumen como fijos
- La integridad de los datos puede causar un grave problema

2.6 Dinámica de sistemas

La dinámica de sistemas se basa en la construcción de modelos a partir de la relación entre las variables que participan en un proceso o problema y permite abordar situaciones complejas, aplicando la observación del todo y la relación con cada una de estas variables. Esta herramienta es útil para afrontar problemáticas específicas, fue creada en los años 50 por Jay W. Forrester, las áreas en las que se puede usar modelos de dinámica de sistemas en la actualidad son bastantes, por ejemplo en empresas privadas, para problemas de medio ambiente, problemas sociales, entre otros (De Leo et al., 2020).

Metodología

En (Aracil y Gordillo, 2005) se explica que es posible construir un modelo dinámico como se muestra en la figura 6.

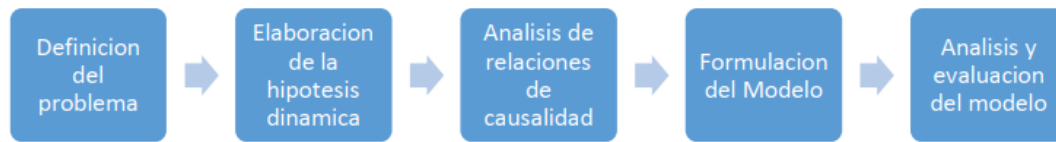


Fig. 6 Metodología de la dinámica de sistemas. Fuente: Elaboración propia.

Diagrama causal

Un diagrama causal es una herramienta indispensable para la dinámica de sistemas, estos diagramas plasman la estructura de realimentación del sistema mediante una representación conceptual del mismo, además de que sirven de guías para la elaboración y comprensión de los modelos (Xu, 2014).

El Diagrama Causal también conocido como diagrama de influencia se realiza en la primera fase de un modelo de simulación de dinámica de sistemas, ya que gracias a estos diagramas es posible identificar las variables del modelo y la relación que tienen entre sí. La Figura 7 es el ejemplo del Diagrama Causal correspondiente a un modelo elemental de gestión de un inventario, en este diagrama se observa la relación que tienen las variables de producción y pedidos con la cantidad de inventario, además también se observa cómo se relaciona la tasa de producción (Xu, 2014).

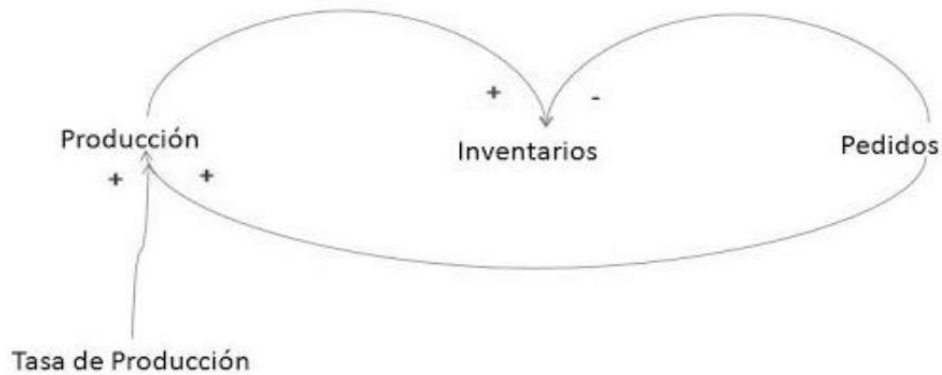


Fig. 7 Ejemplo de diagrama causal. Fuente: (Xu, 2014).

Diagrama de Forrester

Un Diagrama de Forrester se construye con base a las variables y sus relaciones identificadas en el Diagrama Causal, con ayuda del diagrama de Forrester un modelo se puede implementar y simular en una computadora. Los elementos que aparecen en el Diagrama Causal pueden ser representados por medio de variables de: niveles, flujos y variables auxiliares (Xu, 2014).

Variables de nivel: estas variables representan al sistema en su estado actual y aportan datos que se utilizan para tomar decisiones, se representan con un rectángulo identificado con el nombre de la variable, un ejemplo de esta variable es la cantidad de personas de una ciudad en un momento determinado, esta variable no es constante y cambia con el tiempo debido a variables de flujo.

Variable de flujo: estas variables representan la modificación de las variables de nivel por medio de flujo, por ejemplo, la variable de nivel de personas de una ciudad se modifica debido a la variable de flujo de entrada de nacimientos y la variable de flujo de salida de defunciones.

Variables Auxiliares: describen los procesos intermedios para la toma de decisiones.

La Figura 8 muestra el ejemplo del diagrama de Forrester para el modelo elemental de gestión de inventarios.

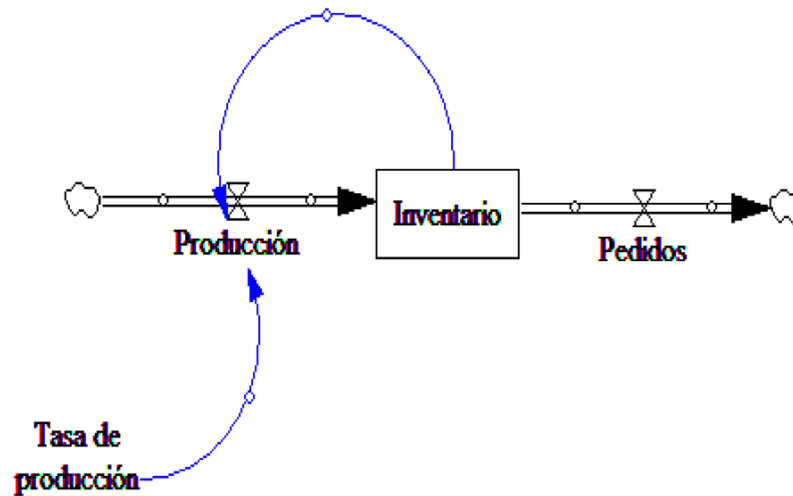


Fig. 8 Ejemplo de diagrama de Forrester. Fuente: Xu (2014)

2.7 Indicadores clave de desempeño

El inventario en una empresa, comprende la materia prima, el trabajo en proceso y los productos terminados y se reporta bajo activos, cualquier cambio en la política de inventario de una empresa modifica la capacidad de respuesta de una cadena de suministro, y por lo tanto su eficiencia (Chopra y Meindl, 2013). Por ejemplo, para un distribuidor de refacciones, el tener una cantidad de inventario alta de una refacción, aumenta su capacidad de respuesta para sus clientes y como es una demanda constante, se tiene la seguridad de que el inventario estará en movimiento; por el contrario, si se aplica una cantidad de inventario alta a un distribuidor de ropa, es peligroso porque la demanda de ropa se maneja por temporadas, y al no terminar el inventario de un producto éste va perdiendo su valor.

Los administradores de la cadena de suministro toman decisiones sobre, la programación y la cantidad de materiales y productos terminados que deben de mantener para satisfacer las necesidades del mercado, para saber si estas decisiones ayudan a mantener un buen desempeño de la cadena de suministro existen medidas o indicadores que deben de monitorearse continuamente (Render y Heizer, 2014). Los valores de estos indicadores son útiles cuando se comparan con datos del pasado o con datos que brindan dos métodos diferentes que buscan alcanzar un mismo objetivo, de esta forma se sabe cuál es mejor.

Los inventarios dentro de la cadena de suministro existen para hacer frente a la incertidumbre de la oferta y la demanda, con esto se puede incrementar la cantidad de pedidos que se satisfacen teniendo el producto listo en almacenes para entregarlo cuando sea necesario (Chopra y Meindl, 2013). Debido a la disponibilidad de productos es posible cumplir con los pedidos de los clientes y así se mejora el indicador de nivel de servicio a los clientes, pero, por otro lado se eleva el costo de mantener estos inventarios, aquí es necesario encontrar el equilibrio que sea benéfico para la empresa (Carreño-Solís, 2017).

Algunas métricas de inventario que deben monitorearse son:

- Nivel de servicio: este indicador muestra la probabilidad de que haya suficiente inventario disponible (Chopra y Meindl, 2013), con el cual se cumpla con la demanda de un producto, entre más elevado sea el porcentaje de este indicador la empresa estará cerca de satisfacer el total de su demanda, se calcula con la ecuación 11.

$$\text{Nivel de Servicio} = \frac{\text{Demanda} - \text{Faltantes}}{\text{Demanda}} * 100 \quad (11)$$

- Inventario promedio: mide la cantidad promedio de inventario mantenido (Chopra y Meindl, 2013), debe medirse en unidades, periodo de demanda y valor financiero, se calcula con la ecuación 12.

$$\text{Inventario promedio} = \frac{\text{Inventario inicial} + \text{Inventario final}}{2} \quad (12)$$

- Rotación de inventario: este indicador representa el número de veces que el inventario se renueva en periodo de tiempo, generalmente un año (Render y Heizer, 2014). Se divide el valor del total de productos vendidos entre el valor del inventario promedio, se calcula con la ecuación 13.

$$\text{Rotación} = \frac{\text{valor del producto vendido}}{\text{valor promedio de existencias}} \quad (13)$$

CAPITULO 3. DESARROLLO DEL TRABAJO

Este capítulo presenta la aplicación de la metodología descrita en el Capítulo 1, con los datos de entrada de la empresa, aplicación de los métodos cuantitativos a algunos productos seleccionados solo como ejemplo de los cálculos realizados y obtención de los resultados. Análisis y Clasificación de datos.

3.1 Análisis y clasificación de datos

La información que se tiene de la empresa objeto de estudio son los datos históricos de ventas del año 2015 al año 2020, esta información corresponde a 545 productos diferentes. Para delimitar los productos que se analizan en este trabajo se realizó un análisis ABC sobre la cantidad de productos vendidos, de los cuales se tomaron en cuenta para su análisis únicamente los productos de clasificación A, es decir los productos que más unidades venden y por requerimiento del personal de la empresa, la clasificación fue de la siguiente forma:

- De los 545 productos, 141 productos son de clasificación A, es decir estos productos representan el 80% de las ventas.
- Los siguientes 180 productos, son de clasificación B y representan el 16% de las ventas.
- Por último, los 224 productos restantes son de clasificación C, que representan el 4% de las ventas.

Posteriormente a los productos de clasificación A se les realizó otro filtro, dejando solamente los productos de fabricación regular, es decir los productos que tienen ventas estables en el periodo de tiempo, lo que indica que su ciclo de vida está en la etapa de madurez y no son

productos nuevos o productos que están en el fin de su ciclo de vida, con este filtro la cantidad de productos se redujo de 141 a 89 productos diferentes.

Por último, los 89 productos fueron clasificados en familias de producto, tomando en cuenta que dentro de los 89 productos hay modelos iguales en los que solo cambia el color y talla, entonces las familias quedaron constituidas por el modelo y la talla y únicamente haciendo la diferencia con el color del producto, con lo anterior el número de productos a analizar es de 39 productos. La información de ventas mensuales de estos productos durante el periodo de tiempo se muestra en la Tabla 4, estas son las series de tiempo que se analizaran:

Tabla 4: Resumen de la demanda de seis años para los 39 productos a analizar

FAMILIA DE PRODCUTO	TOTAL VENTAS	FAMILIA DE PRODUCTO	TOTAL VENTAS
FAMILIA 1	5,506.00	FAMILIA 21	8,743.00
FAMILIA 2	1,645.00	FAMILIA 22	3,750.00
FAMILIA 3	4,145.00	FAMILIA 23	5,174.00
FAMILIA 4	1,238.00	FAMILIA 24	3,940.00
FAMILIA 5	9,136.00	FAMILIA 25	4,967.00
FAMILIA 6	7,826.00	FAMILIA 26	1,805.00
FAMILIA 7	12,977.00	FAMILIA 27	3,751.00
FAMILIA 8	3,330.00	FAMILIA 28	1,997.00
FAMILIA 9	1,390.00	FAMILIA 29	7,545.00
FAMILIA 10	11,565.00	FAMILIA 30	4,903.00
FAMILIA 11	5,031.00	FAMILIA 31	1,734.00
FAMILIA 12	29,893.00	FAMILIA 32	10,236.00
FAMILIA 13	5,843.00	FAMILIA 33	12,426.00
FAMILIA 14	3,562.00	FAMILIA 34	2,110.00
FAMILIA 15	2,255.00	FAMILIA 35	3,069.00
FAMILIA 16	1,623.00	FAMILIA 36	824.00
FAMILIA 17	2,782.00	FAMILIA 37	1,311.00
FAMILIA 18	4,176.00	FAMILIA 38	3,815.00
FAMILIA 19	21,452.00	FAMILIA 39	2,948.00
FAMILIA 20	5,001.00		

Fuente: Elaboración propia, con información proporcionada por personal de la empresa

3.2 Análisis de la demanda

El análisis de los datos de demanda se realizó en el software Minitab (versión 18), de donde dadas las gráficas de las series de tiempo de los 39 productos, se buscaron patrones de tendencia o estacionalidad; la Figura 9 muestra un ejemplo de la gráfica realizada para cada uno de los productos.

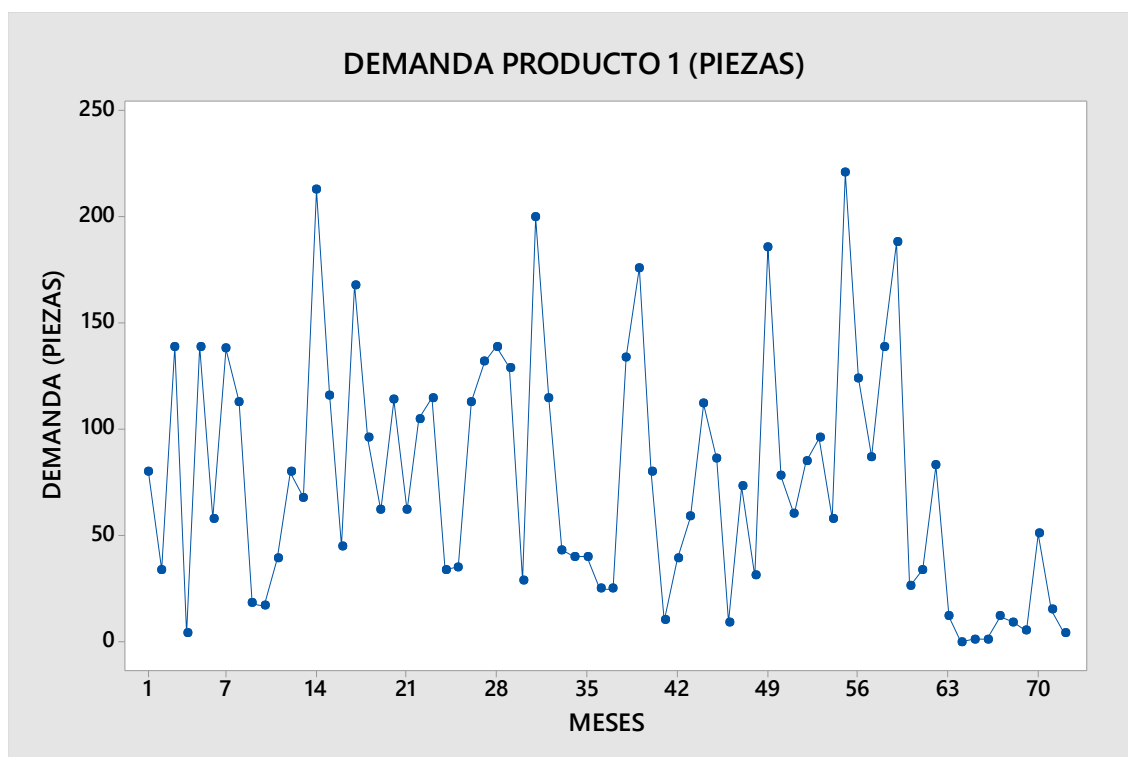


Fig. 9: Gráfica de la demanda para el producto 1. Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la gráfica de la Figura 9, para la serie de tiempo del producto 1 no hay patrones definidos de tendencia o estacionalidad, lo que indica que se comporta de forma variable con picos irregulares (esto es existe alta demanda como baja demanda en cortos periodos de tiempo). Estos comportamientos se encontraron en varios de los productos analizados.

Otro comportamiento encontrado en el análisis de los 39 productos seleccionados es como el que se muestra en la Figura 10.

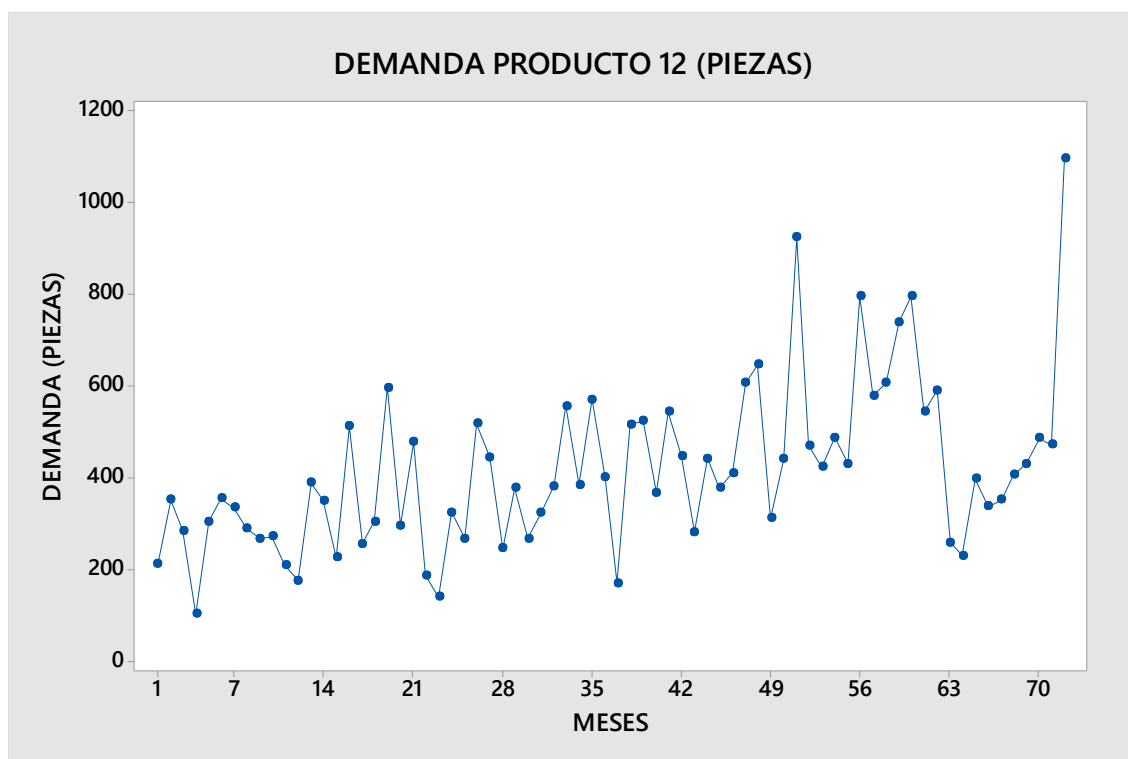


Fig. 10: Gráfica de la demanda para el producto 12. Fuente: Elaboración propia

Para el producto 12 la gráfica de serie de tiempo de la Figura 10 muestra una ligera tendencia creciente, sin embargo, también muestra picos irregulares de variación alta de la demanda y no muestra un comportamiento estacional.

Una vez realizado el análisis de los 39 productos, se encontró que todos muestran una alta variación de la demanda y no presentan componentes estacionales, algunos muestran ligeras tendencias (como el caso del producto 12), aunque no son tendencias muy marcadas. Después de esta revisión y tomando en cuenta la aplicabilidad de los métodos de pronósticos para series de tiempo, se esperaba que los métodos que arrojen los menores errores de pronóstico

sean el método de promedios móviles y el método de suavización exponencial simple debido a su comportamiento.

3.3 Aplicación de métodos de pronósticos

Como se mencionó antes, debido al comportamiento de la demanda de los 39 productos, se esperaría que los métodos de promedios móviles y suavización exponencial simple arrojen los mejores resultados; debido a que estos métodos se aplican a series de tiempo que no muestran patrones de tendencia o estacionalidad, sin embargo, se decidió utilizar también los métodos de análisis de tendencia, descomposición en series de tiempo, suavización exponencial doble y método de Winter para comparar los resultados obtenidos. Se revisó en un principio los valores de error de pronóstico principalmente el error MAPE, con la finalidad de saber que método brinda el error más bajo y es más adecuado para pronosticar.

Se aplicaron los métodos de pronóstico, utilizando el software Minitab 18, en la Tabla 5 se presentan los resultados de errores de pronósticos para algunos productos.

Tabla 5: Errores de pronósticos

PRODUCTO	ERRORES DE PRONÓSTICO		
PRODUCTO 1	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS TENDENCIA	324.15	46.08	3,076.05
DESCOMPOSICION DE SERIES DE TIEMPO	287.64	40.96	2,948.38
PROMEDIO MOVIL	109.10	33.67	1,875.28
SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL	330.50	46.30	3,194.63
SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL DOBLE	166.08	53.00	4,538.68
METODO WINTERS	250.24	45.48	3,431.10
PRODUCTO 2	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS TENDENCIA	139.01	14.06	259.87
DESCOMPOSICION DE SERIES DE TIEMPO	118.01	11.59	255.56
PROMEDIO MOVIL	106.18	11.28	171.86
SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL	138.48	14.03	268.04
SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL DOBLE	152.93	17.75	549.33

PRODUCTO	ERRORES DE PRONÓSTICO		
	MAPE	MAD	MSD
METODO WINTERS	148.02	15.34	358.26
PRODUCTO 12			
ANALISIS TENDENCIA	32.60	115.10	23,168.90
DESCOMPOSICION DE SERIES DE TIEMPO	31.00	106.70	22,342.70
PROMEDIO MOVIL	25.10	89.60	14,364.10
SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL	30.90	112.90	25,981.10
SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL DOBLE	41.00	139.90	33,682.90
METODO WINTERS	35.20	122.60	29,785.50

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que como se esperaba los valores más bajos del error los tiene el método de promedios móviles, sin embargo para los tres productos los valores del error MAPE son demasiado elevados, si nos guiamos por estos valores se concluiría que ninguno de los métodos ofrecen un buen pronóstico de la demanda, sin embargo, en este punto se debe señalar una particularidad de las series de tiempo de los productos analizados; como ya se había mencionado tienen una alta variabilidad habiendo periodos en los que hay demanda nula, es decir, la demanda es igual a 0 y en otros periodos aunque la demanda no es nula si es demasiado baja con respecto a un periodo anterior, estas variaciones de demanda afectan el cálculo del error de pronóstico MAPE. Habiendo mencionado esta particularidad, se considera que para el análisis de estos productos la medida del error de pronóstico debe estar basada en los valores de los errores MAD.

Otra particularidad del comportamiento de la demanda es que, en los primeros meses del año 2020 hubo una reducción repentina de demanda esto debido a la pandemia de COVID 19, lo que provocó un comportamiento anormal en la demanda como se observa en la gráfica de serie de tiempo del producto 1, mostrada en la Figura 11.

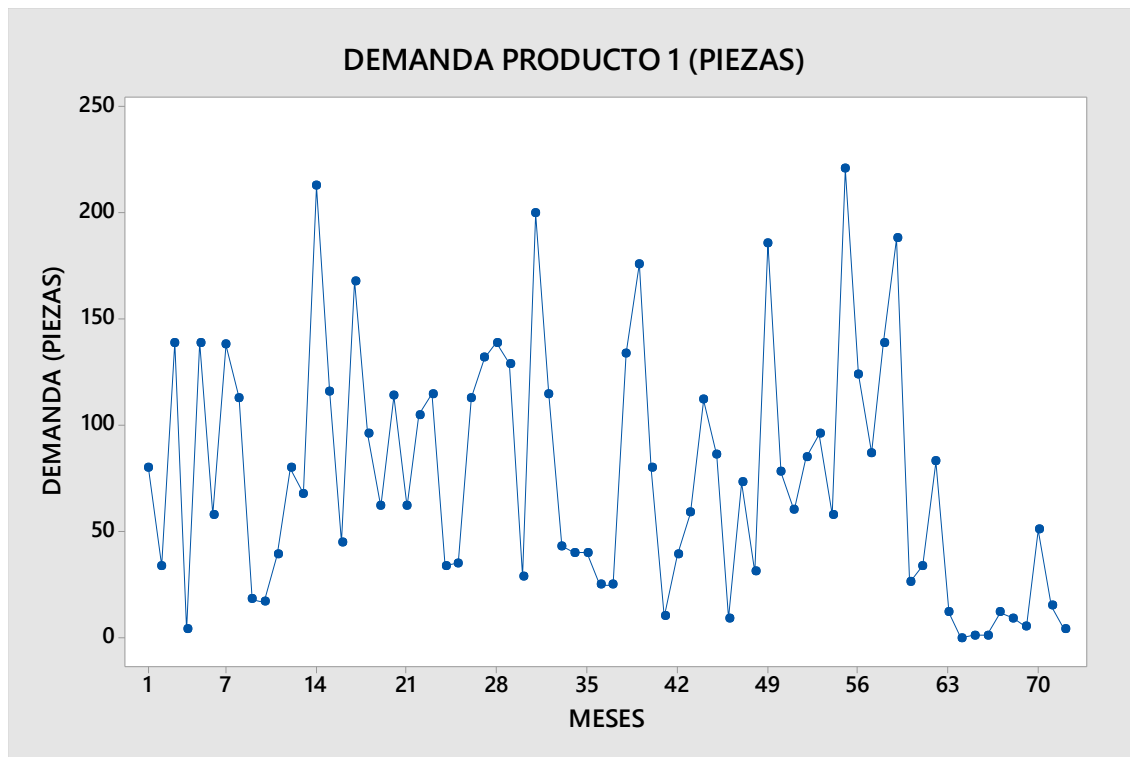


Fig. 11: Gráfica de la demanda para el producto 1. Fuente: Elaboración propia

Debido a este cambio repentino de la demanda, se decidió buscar alternativas de pronósticos para los productos, se encontró un método útil para tener en cuenta este comportamiento irregular, la suavización exponencial simple con α declinante, es un método útil cuando hay cambios repentinos en la demanda, se compensa este comportamiento irregular dando una ponderación mayor a los datos más antiguos de la serie de tiempo mediante la constante de suavizamiento α , la descripción completa de este método se da en McClain (1981).

A continuación, en la Tabla 6 se muestran los resultados de error de pronósticos utilizando el método de α declinante y el método de promedios móviles esta vez calculado en hoja de cálculo de Excel, se utilizó el error de pronóstico MAD y MSD como se había mencionado antes.

Tabla 6: Errores de pronóstico con alfa declinante

PRODUCTO	ERROR DE PRONÓSTICO	
PRODUCTO 1	MAD	MSD
PROMEDIO MOVIL	46.30	3684.00
MÉTODO ALFA DECLINANTE	36.00	2005.00
PRODUCTO 2	MAD	MSD
PROMEDIO MOVIL	16.00	339.00
MÉTODO ALFA DECLINANTE	12.00	181.00
PRODUCTO 12	MAD	MSD
PROMEDIO MOVIL	124.1	28043.40
MÉTODO ALFA DECLINANTE	90.50	16584.10

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 6, el método de alfa declinante muestra los mejores resultados, tanto para el error MAD como el error MSD, por lo que se puede tomar como el mejor método para calcular los pronósticos de los siguientes meses de la demanda.

Para el producto 1, el pronóstico para los siguientes tres meses es de 22 unidades, en la Figura 12 se muestra la gráfica, donde se ve como el pronóstico se ajusta de forma suavizada a la demanda del producto.

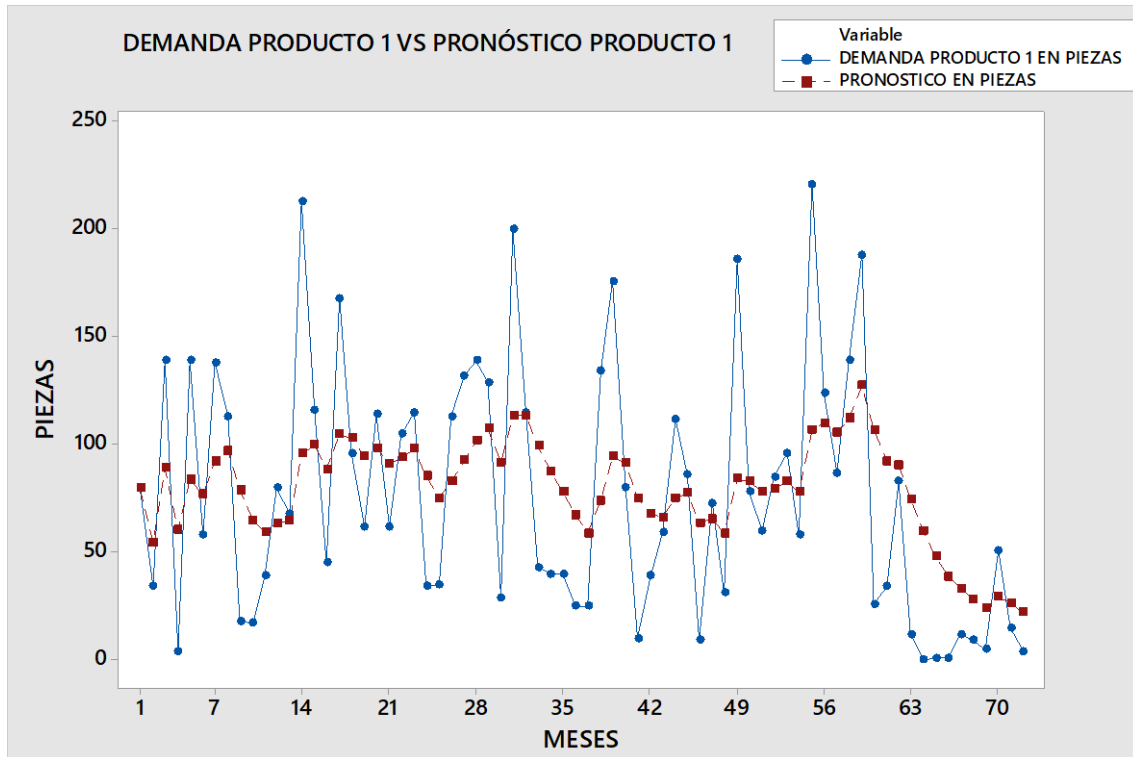


Fig. 12: Gráfica de pronóstico para el producto 1. Fuente: Elaboración propia

Se utilizó el mismo método de pronóstico para los 39 productos, en la Tabla 7 se presentan los pronósticos mensuales para los siguientes tres meses y errores de pronósticos resultantes.

Tabla 7: Pronósticos calculados con el método de α declinante para los 39 productos

MÉTODO α DECLINANTE	MSD	MAD	PRONÓSTICO PARA 3 MESES (PZS)
PRODUCTO 1	2,005.36	36.18	22.00
PRODUCTO 2	181.02	11.69	20.00
PRODUCTO 3	660.96	20.17	39.00
PRODUCTO 4	139.32	9.02	25.00
PRODUCTO 5	13,094.38	71.38	70.00
PRODUCTO 6	11,818.10	70.17	57.00
PRODUCTO 7	4,472.08	50.72	242.00
PRODUCTO 8	356.51	14.80	58.00
PRODUCTO 9	366.22	15.21	38.00
PRODUCTO 10	3,556.10	45.10	211.00
PRODUCTO 11	1,503.91	29.35	115.00
PRODUCTO 12	16,584.10	90.50	573.00
PRODUCTO 13	1,028.85	23.93	107.00
PRODUCTO 14	1,646.75	31.88	101.00
PRODUCTO 15	325.65	13.78	38.00
PRODUCTO 16	387.87	14.97	34.00

MÉTODO α DECLINANTE	MSD	MAD	PRONÓSTICO PARA 3 MESES (PZS)
PRODUCTO 17	314.22	14.13	32.00
PRODUCTO 18	995.38	23.22	82.00
PRODUCTO 19	11,275.30	77.14	445.00
PRODUCTO 20	905.91	23.15	82.00
PRODUCTO 21	3,521.38	43.85	200.00
PRODUCTO 22	935.23	22.54	90.00
PRODUCTO 23	1,177.82	27.03	85.00
PRODUCTO 24	764.19	21.37	78.00
PRODUCTO 25	1,134.70	25.99	62.00
PRODUCTO 26	209.64	11.95	19.00
PRODUCTO 27	567.71	18.62	37.00
PRODUCTO 28	149.49	9.99	23.00
PRODUCTO 29	2,189.82	36.44	128.00
PRODUCTO 30	743.29	21.23	76.00
PRODUCTO 31	270.67	12.69	34.00
PRODUCTO 32	4,559.78	49.60	252.00
PRODUCTO 33	4,253.51	51.53	333.00
PRODUCTO 34	418.62	14.19	65.00
PRODUCTO 35	413.18	15.28	75.00
PRODUCTO 36	77.30	6.07	27.00
PRODUCTO 37	87.19	6.78	31.00
PRODUCTO 38	425.85	15.81	57.00
PRODUCTO 39	1,289.20	17.49	80.00

Fuente: Elaboración propia

3.4 Creación de MPS para productos pronosticados

Con los valores de demanda pronosticados para los siguientes tres meses se realizó el cálculo del MPS necesario para cumplir con esta demanda, la Tabla 8 muestra la forma en que se determina el MPS:

Tabla 8: Cálculo de MPS para el producto 12, para 12 semanas

MPS PARA PRODUCTO 12	SEMANAS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DEMANDA PRONOSTICADA (PZS)				573				573				573
RECEPCIONES PROGRAMADAS (PZS)				170	0	0	0	570	0	0	0	570
INVENTARIO DISPONIBLE (PZS)	410	410	410	7	7	7	7	4	4	4	4	1
REQUERIMIENTOS NETOS (PZS)	0	0	0	163	0	0	0	566	0	0	0	569
LIBERACIONES DE PRODUCCION (PZS)	170	0	0	0	570	0	0	0	570	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

El proceso que se lleva a cabo para el desarrollo del MPS es el siguiente: en la parte superior de la tabla se coloca el número de semana para la cual se realizó el cálculo, en este caso la tabla presenta el MPS de 12 semanas para el producto 12, el segundo renglón muestra la demanda pronosticada, en este caso es de 573 unidades mensuales, el tercer renglón muestra en que semana serán las recepciones de producción, el cuarto renglón indica la cantidad de inventario inicial o disponible, el quinto renglón indica la semana y cantidad de requerimientos netos, es decir, la cantidad de producto necesaria para cumplir con la demanda, por último el sexto renglón muestra la cantidad de liberación de producción requerida para satisfacer la demanda, esta cantidad se calculó iniciando en el periodo uno restando del inventario inicial la demanda pronosticada y sumando las recepciones programadas; lo anterior se repite en cada periodo del horizonte de planeación, en el MPS para el producto 12 se observa que se realiza una liberación de producción en la semana 1 para cumplir con la demanda de la semana 4, de no realizar esta liberación de producción en la semana 4 no se cumpliría con la demanda pronosticada del producto.

Este proceso se realizó para los 39 productos, en donde las liberaciones de producción indican el plan de producción a seguir durante las siguientes semanas.

3.5 Determinación de MRP para materias primas

Una vez que se tuvo el MPS con las liberaciones de producción necesarias para satisfacer la demanda de los clientes (producto terminado), se deben de determinar los requerimientos de material necesarios para satisfacer la producción, para hacer los cálculos del MRP es necesario conocer la estructura de materiales de los productos terminados y las listas de material (BOM) de cada uno, en la Figura 13 se muestra una parte de la estructura de material para el producto 12, el cual está conformado por 32 materiales.

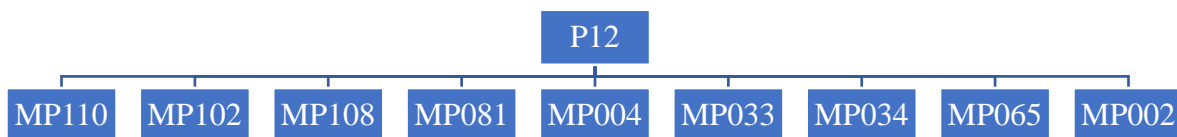


Fig. 13: Estructura de materiales para el producto 12. Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Cantidad de material requerido hasta la semana 5 para el producto 12

ITEM	UNIDAD	CANT. REQ.	SEMANAS				
			1	2	3	4	5
PRODUCTO 12	PIEZA	1.0000	170.0000	0.0000	0.0000	0.0000	570.0000
MP110	METRO	0.3225	54.8202	0.0000	0.0000	0.0000	183.8090
MP108	METRO2	0.0024	0.4120	0.0000	0.0000	0.0000	1.3814
MP102	METRO2	0.0024	0.4120	0.0000	0.0000	0.0000	1.3814
MP081	METRO	0.2500	42.5000	0.0000	0.0000	0.0000	142.5000
MP004	LITRO	0.0100	1.7000	0.0000	0.0000	0.0000	5.7000
MP033	PIEZA	1.0000	170.0000	0.0000	0.0000	0.0000	570.0000
MP034	PIEZA	1.0000	170.0000	0.0000	0.0000	0.0000	570.0000
MP065	LITRO	0.0200	3.4000	0.0000	0.0000	0.0000	11.4000
MP002	KILO	0.0030	0.5100	0.0000	0.0000	0.0000	1.7100
MP106	LITRO	0.0030	0.5100	0.0000	0.0000	0.0000	1.7100
MP018	PIEZA	0.0112	1.9040	0.0000	0.0000	0.0000	6.3840
MP056	METRO	49.0000	8330.0000	0.0000	0.0000	0.0000	27,930.0000
MP037	PIEZA	2.0000	340.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1,140.0000
MP099	METRO	2.3600	401.2000	0.0000	0.0000	0.0000	1,345.2000
MP041	PIEZA	0.0007	0.1221	0.0000	0.0000	0.0000	0.4093
MP040	METRO	0.1000	17.0000	0.0000	0.0000	0.0000	57.0000

Fuente: Elaboración propia

Con base en la lista de materiales de cada uno de los 39 productos, se realizó una tabla similar a la Tabla 9 para cada uno de ellos para las 12 semanas, lo cual permitió identificar materias primas que se comparten en productos finales, por lo que de esa tabla se extrajeron los datos de materias primas requeridas para los 39 productos mediante una tabla dinámica, de esta forma fue más fácil, realizar los cálculos del MRP.

Tabla 10: Lista de materiales requeridos hasta la semana 12 de 10 materias primas

MATERIA PRIMA	UNIDAD	SEMANAS					
		1	2	3	4	5	6
MP078	Dm	2,800.00	-	-	-	5,040.00	-
MP079	Dm	2,800.00	-	-	-	22,190.00	-
MP080	Dm	1,590.00	-	-	-	6,040.00	-
MP082	Dm	2,240.00	-	-	-	5,040.00	-
MP083	Dm	14,280.00	-	-	-	51,330.00	-
MP084	Dm	-	-	-	-	-	-
MP085	Dm	-	-	-	-	-	-
MP086	Dm	700.00	-	-	-	8,000.00	-
MP089	Dm	-	-	-	-	-	-
MP090	Dm	-	-	-	-	-	-

MATERIA PRIMA	UNIDAD	SEMANAS					
		7	8	9	10	11	12
MP078	Dm	-	-	5,040.00	-	-	-
MP079	Dm	-	-	27,350.00	-	-	-
MP080	Dm	-	-	7,720.00	-	-	-
MP082	Dm	-	-	4,480.00	-	-	-
MP083	Dm	-	-	67,660.00	-	-	-
MP084	Dm	-	-	-	-	-	-
MP085	Dm	-	-	-	-	-	-
MP086	Dm	-	-	16,690.00	-	-	-
MP089	Dm	-	-	-	-	-	-
MP090	Dm	-	-	3,210.00	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 10 muestra la cantidad requerida para un horizonte de planeación de 12 semanas de las 10 materias primas más costosas. La tabla dinámica completa lista las 114 materias primas y sus requerimientos para las 12 semanas del horizonte de planeación.

Una vez que se tuvo la información de requerimientos por semana completa, se realizó el MRP para las 114 materias primas, la Tabla 11 muestra la forma en que se realizó el MRP.

Tabla 11: Cálculo de MRP para la materia prima 83

MRP: MATERIA PRIMA 83	DATOS ENTRADA	SEMANAS					
		1	2	3	4	5	6
REQUERIMIENTOS BRUTOS	MP083	14,280	-	-	-	51,330	-
RECEPCIONES PROGRAMADAS	UNIDADES: DECIMETRO					-	-
INVENTARIO DISPONIBLE	LT/SEMANAS: 4	196,603	196,603	196,603	196,603	145,273	145,273
REQUERIMIENTOS NETOS	INV. INICIAL: 210883	-	-	-	-	-	-
ORDENES PROGRAMADAS	MOQ: 10,000	-	-	-	-	-	-
MRP: MATERIA PRIMA 83	DATOS ENTRADA	SEMANAS					
		7	8	9	10	11	12
REQUERIMIENTOS BRUTOS	MP083	-	-	67,660	-	-	-
RECEPCIONES PROGRAMADAS	UNIDADES: DECIMETRO	-	-	-	-	-	-
INVENTARIO DISPONIBLE	LT/SEMANAS: 4	145,273	145,273	77,613	77,613	77,613	77,613
REQUERIMIENTOS NETOS	INV. INICIAL: 210883	-	-	-	-	-	-
ORDENES PROGRAMADAS	MOQ: 10,000	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 11 se muestra el ejemplo del cálculo para el MRP hasta 12 periodos para la materia prima 83, en la segunda columna están listados los datos de entrada que son: unidades, tiempo de entrega (LT), inventario inicial, pedido mínimo (MOQ). La primera fila de requerimientos brutos indica el requerimiento total de la materia prima por cada periodo, la segunda fila indica las recepciones de material que se tienen programadas, la tercera el inventario inicial de material, la cuarta los requerimientos netos, y la quinta las órdenes de compra que se deben de programar. Para la materia prima 83 se observa que el inventario inicial con el que se cuenta cubre por completo los requerimientos del horizonte de planeación de 12 semanas, pero si se amplía el horizonte de planeación hasta la semana 17

habría un requerimiento neto de 785 decímetros, por lo que es necesario programar una orden de compra en la semana 13, para que se reciba en la semana 17 y se tenga disponible para la producción. Este procedimiento se realizó para las 114 materias primas.

3.6 Determinación del tamaño de lote a ordenar por periodo

Las metodologías de MPS y MRP que se utilizaron parten de un pronóstico de la demanda, estas dos metodologías planifican sobre una base de tiempo periódica, en este caso la empresa caso de estudio se realiza la planeación de la producción semanalmente, es decir, todos los lunes se revisa la cantidad de pedidos nuevos que serán ingresados y con base en eso se revisa inventario de productos terminados y materias primas. Con la ayuda del MPS y MRP obtenidos en este trabajo se sabe qué cantidad de material pedir semanalmente, de acuerdo con la existencia que se tenga en inventario, entonces, como se mencionó se hace una revisión periódica semanal, lo que permite realizar un pedido de producción o materia prima para satisfacer la demanda pronosticada.

Para los tamaños de lote de producción a ordenar inicialmente se consideró utilizar la técnica de lote a lote, que consiste en realizar pedidos o corridas de producción iguales a los requerimientos netos, para mantener el inventario al mínimo, sin embargo revisando el proceso de la empresa se encontró que esto generaría bastante desperdicio de materia primas, ya que sus principales materiales los reciben en una presentación diseñada para obtener 10 piezas de producción, debido a esto se decidió utilizar el método que contempla hacer pedidos mínimos de 10 unidades, con esto los requerimientos netos obtenidos se redondean a la siguiente decena, es decir, si se obtiene un requerimiento neto 23 piezas, el tamaño de lote a ordenar será de 30 piezas.

CAPITULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados que ofrece la metodología aplicada, mediante el uso de KPI's (indicador clave de desempeño, por sus siglas en ingles) y un modelo de simulación que se diseñó para identificar el nivel de servicio que ofrece el trabajo propuesto.

4.1 Comparación del inventario actual con el generado por el MPS y MRP

Para comparar el tamaño de inventario de PT (producto terminado) y MP (materia prima) que tiene actualmente la empresa, con el inventario que se tendría si se aplica el MPS y MRP propuesto se revisó el inventario inicial y el inventario promedio para la materia prima 83 y para los productos terminados que la utilizan.

Los productos que requieren la materia prima 83 son 11, en la Tabla 12 se muestran su información de demanda pronosticada, inventario actual y costo del producto, así como la cantidad de materia prima 83 que se utiliza para su producción.

Tabla 12: Información de los productos que usan la materia prima 83

PRODUCTO	PRONÓSTICO MENSUAL (piezas)	INVENTARIO DISPONIBLE (piezas)	COSTO DEL PRODUCTO (\$ MXN)	CANTIDAD MP (decímetro)
2	20	80	1,822.00	57
5	70	274	2,256.00	57
7	242	354	1,960.00	57
12	573	410	1,826.00	56
23	85	32	2,469.00	56
25	62	66	1,804.00	55
27	37	67	2,340.00	50
29	128	360	2,340.00	65
32	252	450	1,187.00	27
34	65	32	1,444.00	35
36	27	239	2,544.00	65

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta el pronóstico de demanda y el inventario disponible se calcularon la cantidad de meses que se tiene en inventario, la Tabla 13 muestra esta información.

Tabla 13: Cantidad de meses en inventario para los productos que usan la materia prima 83

PRODUCTO	MESES EN INVENTARIO
PRODUCTO 2	4.0
PRODUCTO 5	3.9
PRODUCTO 7	1.5
PRODUCTO 12	0.7
PRODUCTO 23	0.4
PRODUCTO 25	1.1
PRODUCTO 27	1.8
PRODUCTO 29	2.8
PRODUCTO 32	1.8
PRODUCTO 34	0.5
PRODUCTO 36	8.9

Fuente: Elaboración propia

Como se ve, hay productos que tienen un sobre inventario considerable como los productos 2, 5 y 36. Tomando en cuenta la cantidad de inventario que se tiene de cada producto y su costo, se calculó que el valor de estos productos finales en inventario es de \$4,592,030.00. Para la materia prima 83 se tiene una existencia actual de 210,883 dm tomando en cuenta que cada decímetro tiene un valor de \$4.5, el valor total es de \$948,973.5, lo que da un total de \$5,541,003.5 en inventario.

Aplicando el MPS y MRP, para un horizonte de planeación de 6 meses para el producto 12 se tienen los valores presentados en la Tabla 14 de inventario promedio.

Tabla 14: Valor del inventario para el producto 12

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA PRODUCTO 12		
VALOR DEL PRODUCTO (\$ 1,826.00) MXN		
MES	INVENTARIO (piezas)	INVENTARIO (\$ MXN)
INICIAL	410.00	748,660.00
MES 1	209.00	380,721.00
MES 2	6.00	10,043.00
MES 3	3.00	4,565.00
MES 4	5.00	8,217.00
MES 5	7.00	11,869.00
MES 6	4.00	6,391.00

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la Tabla 14 que el valor inicial del inventario disminuye de \$748,660 hasta \$6,931 en el mes 6, lo que representa una disminución considerable en el inventario; en la cantidad de piezas se ve que la cantidad inicial de 410 piezas disminuye hasta solo 4 en el 6° mes.

De la misma forma el inventario de materia prima 83 presenta los valores de inventario promedio a los 6 meses, mostrados en la tabla 15.

Tabla 15: Valor del inventario para la materia prima 83

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA MATERIA PRIMA 83		
VALOR DE LA MATERIA PRIMA (\$ 4.50) MXN		
MES	INVENTARIO (piezas)	INVENTARIO (\$ MXN)
INICIAL	210,883.00	948,973.50
MES 1	196,603.00	884,713.50
MES 2	145,273.00	653,728.50
MES 3	77,613.00	349,258.50
MES 4	3,253.00	14,638.50
MES 5	5,683.00	25,573.50
MES 6	7,603.00	34,213.50

Fuente: Elaboración propia

En este caso el valor del inventario disminuyó de \$948,973 hasta \$34,213.5 y en decímetros disminuyó de 210,883 a 7,603 en el 6° mes.

Tomando en cuenta los 11 productos y la materia prima 83 el valor de inventario inicial de \$5,541,003.5 disminuye en el mes 6 hasta \$327,647. En el anexo 5 se muestra las tablas de valor de inventario promedio para los 11 productos terminados.

Con el análisis del inventario promedio, se comprueba que las existencias de materia prima y producto terminado mejoran con la aplicación del MPS y MRP, lo cual comprueba la hipótesis de este trabajo “con la aplicación de una política de inventarios, a través del uso de métodos cuantitativos, mejora los niveles de existencia de producto terminado y materias primas en el almacén”.

4.2 Análisis de sensibilidad para el tamaño de lote de materia prima

El tamaño de lote a ordenar para la materia prima que se utilizó fue por múltiplos de 10,000 dm, es decir si el requerimiento neto que se tiene para un periodo es de 785 dm, el pedido que se solicitara se redondeara a 10,000 dm o si es de 22,300 dm se redondea a 30,000, con este tamaño de lote lo que se hace es pedir lo necesario para satisfacer los requerimientos de material. Tomando en cuenta que se pueden presentar interrupciones del suministro, se desea saber cómo se comporta el KPI de cobertura de inventario, si se cambia el tamaño de lote.

Se presenta el ejemplo de la materia prima 83, la Tabla 16 muestra los valores de inventario promedio para un horizonte de planeación de 12 meses, utilizando un tamaño de lote modificado a 100,000 dm, con esto se calcula el KPI de cobertura de inventario.

Tabla 16: KPI de inventario para lote modificado de la materia prima 83

KPI INVENTARIO PROMEDIO Y COBERTURA DE INVENTARIO PARA MATERIA PRIMA 83		
VALOR DE LA MATERIA PRIMA (\$ 4.50) MXN		
MES	INVENTARIO (piezas)	INVENTARIO (\$ MXN)
INICIAL	210,883	948,973.50
MES 1	178,078	801,351.00
MES 2	111,443	501,493.50
MES 3	40,433	181,948.50
MES 4	14,468	65,106.00
MES 5	36,643	164,893.50
MES 6	47,603	214,213.50
MES 7	58,663	263,983.50
MES 8	79,763	358,933.50
MES 9	50,248	226,116.00
MES 10	20,518	92,331.00
MES 11	40,463	182,083.50
MES 12	59,963	269,833.50
INVENTARIO PROMEDIO	61,524	276,857.25
CONSUMO PROMEDIO	70,128	315,577.50
COBERTURA DE INVENTARIO		0.88 MESES

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 16 se ve que el inventario promedio es de 61,524 dm, también se calculó el valor de consumo promedio de 70,128 dm, dividiendo el valor de inventario promedio entre el valor de consumo promedio se tiene la cobertura de inventario que resulto ser de 0.88 meses que son alrededor de 26 días cubiertos por el inventario.

Además también se calculó el KPI de rotación de inventario, considerando el valor total de la materia prima 83 que se consume en un año, el cual es de \$3,786,930 y dividiéndolo entre el valor del inventario promedio, calculado en la tabla que es de \$276,857.25, se tiene una tasa de rotación de inventario de 13.68, esto quiere decir que durante un año el inventario se

renueva 13.68 veces, si se interpreta como días esto equivale a que el inventario cubre un total de 26.68 días, lo que coincide con el valor del KPI de cobertura de inventario.

Si se comparan estos resultados con los valores que se calcularon para un tamaño de lote de múltiplos de 10,000 dm, los cuales se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17: KPI de inventario para lotes de 10,000 dm de la materia prima 83

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA MATERIA PRIMA 83		
VALOR DE LA MATERIA PRIMA (\$ 4.50) MXN		
MES	INVENTARIO (piezas)	INVENTARIO (\$ MXN)
INICIAL	210,883.00	948,973.50
MES 1	178,078.00	801,351.00
MES 2	111,443.00	501,493.50
MES 3	40,433.00	181,948.50
MES 4	4,468.00	20,106.00
MES 5	6,643.00	29,893.50
MES 6	7,603.00	34,213.50
MES 7	8,663.00	38,983.50
MES 8	9,763.00	43,933.50
MES 9	5,248.00	23,616.00
MES 10	518.00	2,331.00
MES 11	463.00	2,083.50
MES 12	4,963.00	22,333.50
INVENTARIO PROMEDIO	31,523.83	141,857.25
CONSUMO PROMEDIO	70128.33333	315,577.50
COBERTURA DE INVENTARIO		0.45 MESES

Fuente: Elaboración propia

Se ve en la Tabla 17 que el valor de cobertura de inventario es de 0.45 meses lo que equivale a 13 días, el cual es menor que el valor que resulta de ordenar lotes de 100,000 dm. De igual forma el valor de la tasa de rotación de inventario resulta ser de 26.69 veces al año.

En las Tablas 18 y 19 se muestra los resultados para el KPI de cobertura de inventario y de tasa de rotación de inventario respectivamente para las 10 principales materias primas.

Tabla 18: Resumen KPI cobertura de inventario

LOTES MÚLTIPLOS DE 10,000 dm				LOTES MODIFICADOS			
MATERIA PRIMA	INVENTARIO PROMEDIO (dm)	CONSUMO PROMEDIO (dm)	COBERTURA INVENTARIO (meses)	TAMAÑO DE LOTE (dm)	INVENTARIO PROMEDIO (dm)	CONSUMO PROMEDIO (dm)	COBERTURA INVENTARIO (meses)
MP083	31,524	70,128	0.45	100,000	61,524	70,128	0.88
MP086	31,770	52,296	0.61	100,000	63,437	52,296	1.21
MP079	5,708	24,816	0.23	50,000	26,541	24,816	1.07
MP090	10,496	7,823	1.34	10,000	10,496	7,823	1.34
MP080	8,941	7,671	1.17	10,000	8,941	7,671	1.17
MP089	8,958	1,773	5.05	5,000	7,708	1,773	4.35
MP084	4,566	1,587	2.88	5,000	2,691	1,587	1.70
MP085	6,131	1,260	4.87	5,000	4,881	1,260	3.87
MP082	5,005	4,807	1.04	10,000	5,005	4,807	1.04
MP078	6,470	5,273	1.23	10,000	6,470	5,273	1.23

Fuente: Elaboración propia

Se observó que el utilizar los tamaños de lote modificado mejora la cobertura de inventario y la tasa de rotación, al mantener los valores en un rango de 27 a 154 días, esta mejora se traduce en que, al mantener una rotación de inventarios de aproximadamente 30 días, si se presenta una interrupción de suministro de materiales por parte del proveedor la empresa podrá seguir su producción por lo menos durante 30 días.

Tabla 19: Resumen KPI tasa de rotación de inventario

LOTES MÚLTIPLOS DE 10,000					
MATERIA PRIMA	CONSUMO ANUAL (piezas)	CONSUMO ANUAL (\$ MXN)	INVENTARIO PROMEDIO (\$ MXN)	TASA DE ROTACION (veces al año)	DÍAS
MP083	841,540	3,786,930.00	141,857.25	26.70	14
MP086	627,550	2,823,975.00	142,965.38	19.75	18
MP079	297,790	1,340,055.00	25,684.13	52.17	7
MP090	93,870	450,576.00	50,382.00	8.94	41
MP080	92,050	441,840.00	42,914.80	10.30	35
MP089	21,280	102,144.00	42,996.80	2.38	154
MP084	19,040	91,392.00	21,918.40	4.17	88
MP085	15,120	72,576.00	29,427.20	2.47	148
MP082	57,680	276,864.00	24,025.60	11.52	32
MP078	63,280	303,744.00	31,054.40	9.78	37
LOTES MODIFICADOS					
MATERIA PRIMA	CONSUMO ANUAL (piezas)	CONSUMO ANUAL (\$ MXN)	INVENTARIO PROMEDIO (\$ MXN)	TASA DE ROTACION (veces al año)	DÍAS
MP083	841,540	3,786,930.00	276,857.25	13.68	27
MP086	627,550	2,823,975.00	285,465.38	9.89	37
MP079	297,790	1,340,055.00	119,434.13	11.22	33
MP090	93,870	450,576.00	50,382.00	8.94	41
MP080	92,050	441,840.00	42,914.80	10.30	35
MP089	21,280	102,144.00	36,996.80	2.76	132
MP084	19,040	91,392.00	12,918.40	7.07	52
MP085	15,120	72,576.00	23,427.20	3.10	118
MP082	57,680	276,864.00	24,025.60	11.52	32
MP078	63,280	303,744.00	31,054.40	9.78	37

Fuente: Elaboración propia

4.3 Modelo de simulación para validar el nivel de servicio

Para validar el nivel de servicio de la propuesta desarrollada anteriormente, se desarrolló un modelo de simulación, el cual se comenzó identificando las variables que forman el diagrama causal:

- Inventario de materia prima: esta variable representa la cantidad de materia prima disponible para satisfacer los requerimientos de producción.
- Inventario en proceso: esta variable representa la cantidad de producto que se tiene en fabricación.
- Inventario de PT: variable que representa la cantidad de producto terminado que se tiene disponible para satisfacer la demanda.
- Pronóstico: esta variable agrega al modelo la cantidad de productos terminados que se prevé serán demandados y con base en esta variable se realiza la planeación de materiales.
- Requerimiento bruto: esta variable representa la cantidad total de materia prima necesaria para la fabricación sin contar inventarios disponibles o materiales pedidos.
- Requerimiento neto: esta variable representa la cantidad de materiales requeridos tomando en cuenta inventarios existentes y materiales pedidos anteriormente.
- Orden programada: esta variable se refiere a los pedidos de materia primas programados necesarios para satisfacer los requerimientos de producción.
- Recepciones: esta variable representa el ingreso de los materiales de las ordenes programadas al almacén de materias primas.
- Tamaño de lote: el tamaño de lote representa la cantidad de producción que se programa para satisfacer los pronósticos:
- Orden de producción: esta variable representa las liberaciones de producción que de pasaran a proceso.
- Entradas a almacén de PT: esta variable representa la entrega de productos en proceso a productos terminados y su ingreso al almacén de PT

- Demanda: esta variable representa la demanda de los clientes finales, esta se determina mediante una distribución de probabilidad.
- Productos faltantes: esta variable representa la cantidad de productos que no podrán ser entregados por no estar disponibles en el inventario de PT.
- Nivel de servicio: esta variable representa el KPI que se medirá para conocer el porcentaje de productos que se entregan para satisfacer la demanda del cliente final.

A continuación, en la Figura 14 se presenta el diagrama causal para el modelo de simulación.

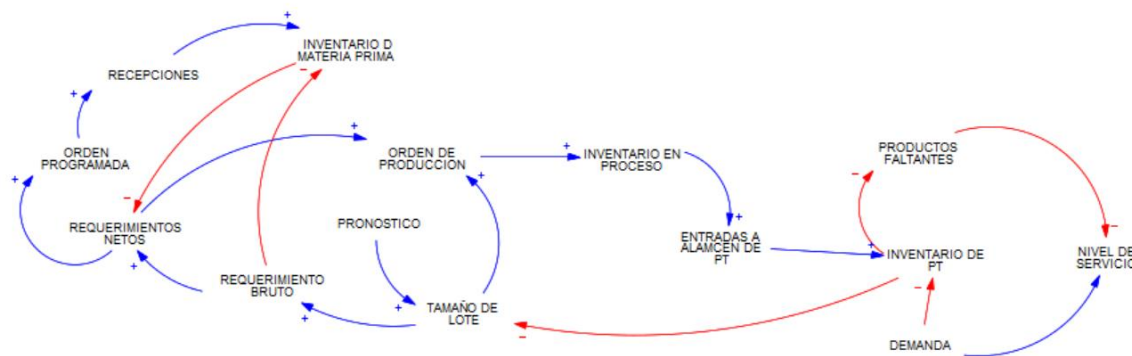


Fig. 14: Diagrama Causal para la empresa en estudio. Fuente: Elaboración propia

Las relaciones de causalidad del diagrama presentado muestran como las variables de inventario de materia prima, inventario en proceso e inventario de producto terminado se ven afectadas por variables de entrada y salida, por ejemplo, el inventario de materia prima se ve afectado negativamente por la variable de requerimientos brutos, esto indica que los requerimientos brutos disminuyen la cantidad de materias primas, por el contrario en inventario de materia prima también afecta negativamente la variable de requerimientos netos esto indica que entre más inventario de materia prima existe hay menos requerimientos netos, este bucle de variables representa el MRP que se calcula para los materiales.

Por otra parte, la variable de tamaño de lote representa el cálculo del MPS para los productos terminados, como se observa en el diagrama la variable de pronóstico tiene un efecto de aumentar el tamaño de lote a fabricar al mismo tiempo la variable de inventario de producto terminado disminuye el tamaño de lote, estas tres variables determinan la cantidad que se solicitará a fabricar en la orden de producción y todo este flujo de material llegará al inventario en proceso y posteriormente ingresará al almacén de producto terminado con el cual se atenderá la demanda de los clientes.

El diagrama de Forrester se muestra en la Figura 15 y se forma de 3 variables de nivel que son los inventarios de materia prima, inventario en proceso e inventario de producto terminado cada uno con sus variables de flujo de entrada y salida, el modelo también incluye 7 variables auxiliares que son:

- Nivel de servicio
- Productos faltantes
- Pronóstico
- Tamaño de lote
- Requerimientos brutos
- Requerimientos netos
- Orden programada

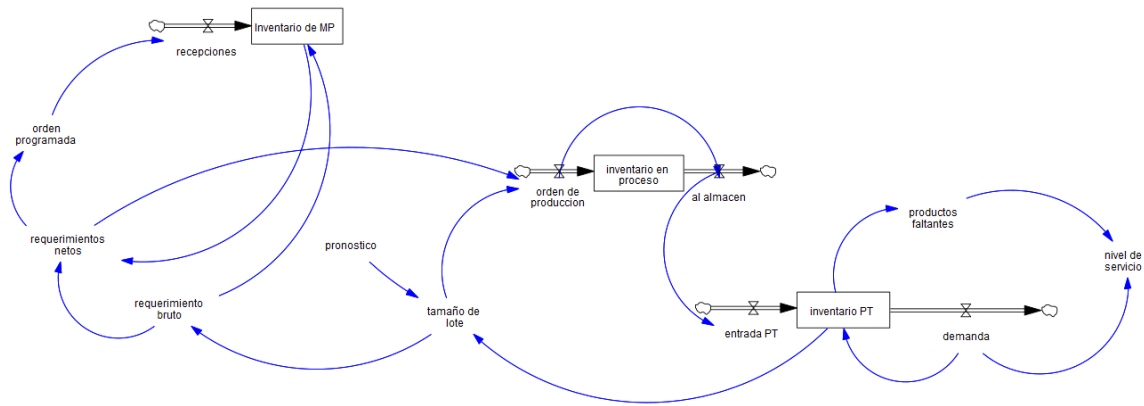


Fig. 15: Diagrama de Forrester para el modelo de la empresa caso de estudio. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente a la elaboración de los diagramas de causalidad y de Forrester en el software Vensim PLE versión 9.3.5, el modelo de simulación se construyó en Excel, acomodando en columnas cada una de las variables y configurando las ecuaciones que ayudaran a llevar a cabo la simulación, para la variable de la demanda se utilizaron números aleatorios que se generaron con cada distribución de probabilidad de los 39 productos, de esta forma se simuló la demanda real con que se comparó el desempeño del pronóstico de demanda, el MPS y el MRP.

Se tiene el ejemplo para el producto 12, para el cual se realizaron las corridas de simulación para un periodo de 52 semanas, considerando los pronósticos y MRP que se calcularon anteriormente, otras entradas de información que se tuvieron fueron los inventarios iniciales de producto terminado y de materias primas.

Se muestra como ejemplo la simulación para el producto 12 que es el más vendido, sus datos de entrada fueron los siguientes:

Pronóstico semanal: 144 piezas

Inventario inicial de PT: 410 piezas

Inventario inicial de MP: 210883 dm²

Para calcular el número de simulaciones se consideró la expresión propuesta por Walpole et al. (2012), la cual se muestra en la ecuación 14.

$$n = \left(\frac{\sigma}{\varepsilon} Z_{\alpha/2} \right)^2 \quad (14)$$

Donde:

n: número de repeticiones

σ : desviación estándar

ε : error permitido

Distribución de probabilidad utilizada: normal con media 415 y desviación estándar de 178.

Los datos para la distribución utilizada se obtienen de los datos históricos de demanda del producto 12, donde con base en el trabajo de Franco (2023) quien demuestra que el método de pronóstico de suavización exponencial simple es el que brinda un error de pronóstico MAD más bajo al trabajar con datos de demanda altamente variable, esto se complementó con el uso del método de pronóstico de α declinante para dar mayor ponderación a los datos más antiguos de la serie de tiempo, con estos dos métodos es posible trabajar con demandas altamente variables.

Por lo tanto, realizando los cálculos de la ecuación 14 se requieren 15 simulaciones del modelo, de las cuales se obtuvo un 97.92% de nivel de servicio promedio, el nivel de servicio más bajo que se registró fue del 93.05% y el más alto fue del 100% como se muestra en la Figura 16.

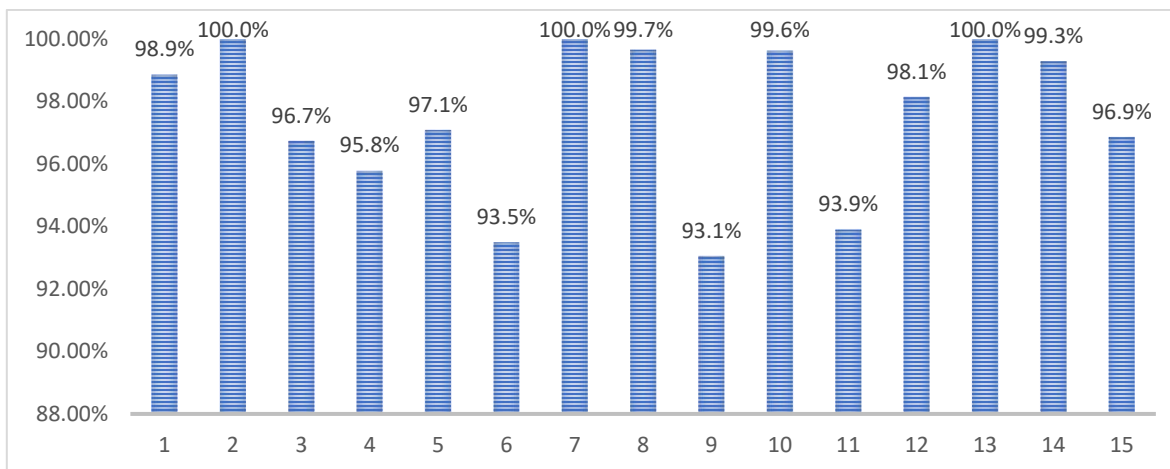


Fig. 16: Nivel de servicio promedio para la simulación del producto 12. Fuente: Elaboración propia

Se implementó este mismo procedimiento para los 39 productos y se obtuvo un nivel de servicio mayor al 90% utilizando el modelo propuesto, en la Tabla 20 se listan los niveles de servicio obtenidos para los productos.

Tabla 20: Nivel de servicio para los 39 productos

PRODUCTO	NIVEL DE SERVICIO	PRODUCTO	NIVEL DE SERVICIO
PRODUCTO 1	90.51%	PRODUCTO 21	98.59%
PRODUCTO 2	95.98%	PRODUCTO 22	98.40%
PRODUCTO 3	90.30%	PRODUCTO 23	95.90%
PRODUCTO 4	98.50%	PRODUCTO 24	98.79%
PRODUCTO 5	95.47%	PRODUCTO 25	92.03%
PRODUCTO 6	92.39%	PRODUCTO 26	93.71%
PRODUCTO 7	97.98%	PRODUCTO 27	86.43%
PRODUCTO 8	98.24%	PRODUCTO 28	95.71%
PRODUCTO 9	96.81%	PRODUCTO 29	96.82%
PRODUCTO 10	98.56%	PRODUCTO 30	98.12%
PRODUCTO 11	98.35%	PRODUCTO 31	98.15%
PRODUCTO 12	97.92%	PRODUCTO 32	98.97%
PRODUCTO 13	98.81%	PRODUCTO 33	99.36%
PRODUCTO 14	97.04%	PRODUCTO 34	98.91%
PRODUCTO 15	96.85%	PRODUCTO 35	99.35%

PRODUCTO	NIVEL DE SERVICIO	PRODUCTO	NIVEL DE SERVICIO
PRODUCTO 16	84.07%	PRODUCTO 36	99.98%
PRODUCTO 17	93.89%	PRODUCTO 37	99.50%
PRODUCTO 18	97.02%	PRODUCTO 38	96.93%
PRODUCTO 19	98.98%	PRODUCTO 39	98.23%
PRODUCTO 20	96.56%	PROMEDIO	96.36%

Fuente: Elaboración propia

Como se ve en la Tabla 20, el nivel de servicio promedio que se obtuvo utilizando el modelo propuesto es de 96.36%.

Con esta simulación se comprueba que la aplicación de esta metodología además de lograr mejorar las existencias de materias primas y productos terminados al disminuir su cantidad de existencias, lo hace manteniendo un muy buen nivel de servicio de 96.36%.

CONCLUSIONES

Para que las empresas tengan datos confiables con los que realizar su planificación tanto para producción como para inventarios es necesario conocer el comportamiento de la demanda, por lo cual es necesario que las empresas tengan los registros históricos de su demanda, sabiendo que conforme más registros históricos tengan podrán realizar un mejor análisis. Por otro lado, también deben de identificar cuáles son sus productos principales para sus clientes, para conocer esto es de bastante utilidad el análisis ABC y también conocer en que ciclo de vida se encuentran sus productos, como se observó en el desarrollo de este trabajo utilizando estos dos métodos se delimito de forma adecuada la información de sus ventas históricos y de esta forma se simplifico el análisis completo de la demanda.

El análisis de los datos históricos de la demanda es de vital importancia para identificar comportamientos de tendencias y estacionalidades y para identificar picos de consumo de los clientes, en este trabajo este análisis se hizo con gráficas de series de tiempo, gracias a las cuales se identificó que los productos presentaron una demanda altamente variable, lo cual sirvió como base para saber que métodos de pronóstico utilizar, como se ve también en el desarrollo del trabajo este análisis puede ahorrar tiempo al evitar utilizar métodos de pronóstico incorrectos.

Al hacer pronósticos de demanda es indispensable conocer el comportamiento de la demanda para interpretar los resultados del pronóstico de forma adecuada, de igual forma es importante conocer las medidas del error de pronósticos MAPE, MAD y MSD para saber interpretarlas y seleccionar el mejor método de pronóstico, en este trabajo se vio que la medida de error adecuada es el error MAD ya que este mide la desviación estándar media absoluta es decir mide un valor estadístico calculado para todos los datos históricos y su pronóstico, en

contraste con la medida de error que se utiliza comúnmente el error MAPE que es porcentaje medio absoluto, el cual al aplicarse con una demanda altamente variable se ve afectado cuando hay periodos con baja demanda o demanda cero.

Una conclusión importante fue que al trabajar con la demanda del año 2020 en el que se presentó la pandemia de COVID 19, la cual interrumpió de forma abrupta la demanda de productos, sumada a la variabilidad presente en la demanda, condujo a que se tuviera que buscar una forma de mejorar los resultados de los errores de pronóstico, de esta forma se aplicó el método de pronóstico de suavización exponencial con α declinante, el cual está diseñado para controlar la ponderación que se le da a los datos históricos de la demanda a través del tiempo. Se concluyó que efectivamente al aplicar este método se controla este cambio repentino y variabilidad de la demanda, con lo cual, este resultó ser el mejor método para analizar la demanda de esta empresa.

Con la determinación del MPS y el MRP se alinean los requerimientos de materiales con la demanda de los clientes, al revisar periódicamente los inventarios de la empresa, en este caso esta revisión se realiza semanalmente, con lo que se van ordenando solo la producción y compra de materiales necesarios para satisfacer la demanda de los periodos siguientes, de esta forma se mantiene una cantidad de inventario adecuada a la demanda pronosticada. En este trabajo se observó que los inventarios iniciales o actuales que tiene la empresa son altos, para varios de sus productos y materias primas y con la aplicación del MPS y MRP estos inventarios disminuyeron en los periodos siguientes, lo que conlleva a lograr ahorros monetarios y también aprovechar de mejor forma el espacio en sus almacenes. Con este análisis se comprobó la hipótesis planteada de este trabajo la cual es que “La aplicación de

una política de inventarios, a través del uso de métodos cuantitativos, mejora los niveles de existencia de producto terminado y materias primas en el almacén”.

También se cumplieron los objetivos del Trabajo Terminal de Grado sobre proponer una política de inventario que mejore las existencias de producto terminado y materias primas acorde a los requerimientos del mercado del sector del caso de estudio, el objetivo de tener un pronóstico para la demanda de sus productos terminados y el objetivo de determinar las medidas de desempeño para medir sus inventarios, donde para éste último fueron el inventario promedio y el nivel de servicio ofrecido a los clientes.

Para medir el comportamiento de la política de inventario basada en el MPS y MRP se hizo uso de la simulación de dinámica de sistemas, gracias a esta herramienta se pudo validar que el nivel de servicio promedio que ofrece la política propuesta es del 96.36%, este valor es primordial porque estos resultados son presentados a los gerentes de la empresa y se muestra que el tamaño del inventario que se propone mantiene un excelente nivel de servicio al cliente.

En el desarrollo de este proyecto solo se analizaron los productos de clasificación A, que son los más vendidos y que se encuentran en su ciclo de vida de madurez, es decir que tienen ventas estables. Como se vio en el desarrollo, con base al pronóstico de demanda calculado, se logró una mejora de las existencias de materias primas y productos terminados en los almacenes, al reducir el valor económico de estos y además se logró mantener un nivel de servicio por encima del 90%, con base a estos resultados se recomienda a la empresa realizar este mismo análisis para los productos de movimiento medio es decir los de clasificación B, este análisis quedó fuera del alcance de este trabajo por la limitante de tiempo con que se contó para la conclusión, además se recomienda también a partir de la implementación de

este proyecto que se revise el cálculo del pronóstico cada 6 meses para que se mantenga a la par del comportamiento de la demanda y los cambios que se pueden dar a lo largo del tiempo, estos análisis quedan propuestos como trabajos futuros para la empresa caso de estudio.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo se le recomienda a la empresa realizar inicialmente el análisis ABC y del ciclo de vida de sus productos para delimitar cuales son los productos más importantes y comenzar a analizarlos, después de esto realizar el análisis de sus datos históricos de ventas para que con base en esto se determine el mejor método de pronóstico para sus productos.

Es importante hacer énfasis en el análisis de la demanda que se debe realizar para encontrar el mejor método de pronóstico, además de realizar de forma adecuada las gráficas de series de tiempo de la demanda de cada producto para que se identifique si existen patrones de tendencia o estacionalidad, para aplicar el método de pronóstico adecuado y posterior a esto, las políticas de inventarios serán más exactas y confiables.

También se le recomienda a la empresa que se implemente y mantenga el uso de KPI's específicos para sus inventarios, como lo son el inventario promedio, cobertura de inventario, rotación de inventario y nivel de servicio, ya que con estas métricas es más fácil identificar cuando está fallando un proceso y partir de ahí buscar mejoras, además, es importante medir los resultados que ofrece cada área dentro de las empresas, en este caso en específico, el control de los inventarios no se puede llevar a cabo de forma correcta si no se miden periódicamente los resultados obtenidos.

TRABAJOS FUTUROS

Como se indicó en el alcance y limitaciones del trabajo, se trabajó con los datos proporcionados por la empresa, los cuales fueron únicamente los históricos de ventas de sus productos y las listas de materiales, pero no se proporcionaron datos de costos de compra o costos de mantenimiento de los materiales, por otra parte tampoco se tuvo la información sobre restricciones en cuando al proceso de producción, por lo cual este trabajo pudiera ser ampliado o complementado con un trabajo futuro en donde se contemplen estos datos, con lo cual se podría trabar un modelo de programación para encontrar el resultado que optimice los costos y restricciones, esto queda como una propuesta para la empresa para un trabajo futuro con base en el resultado obtenido con este Trabajo Terminal de Grado.

REFERENCIAS

- Aracil, J., Gordillo, F. (2005). *Dinámica de Sistemas*. Alianza Universidad Textos.
- Axsater, S. (2006). *Inventory Control (2a ed.)*. Springer.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la Cadena de Suministro (5a ed.)* Pearson.
- Carreño-Solís, A. J. (2017). *Cadena de suministro y logística*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo editorial.
- Chase, R. B., Jacobs, F. R. (2011). *Administración de Operaciones: Producción y Cadena de Suministros (13a ed.)*. Mc Graw Hill.
- Chopra, S., Meindl, P. (2013). *Administración de la Cadena de Suministro (5a ed.)*. Pearson.
- De Leo, E., Aranda, D., & Addati, G. A. (2020). *Introducción a la Dinámica de Sistemas*. Universidad del CEMA, 739
- Díaz-Batista, J. A., Pérez-Armayor, D. (2012). *Optimización de los niveles de inventario en una cadena de suministro*. *Ingeniería Industrial*, 33(2), 126-132.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360433580004>
- Fogarty, D. W., Blackstone, J. H. (2016). *Administración de la Producción e Inventarios. (2ª ed.)*. Grupo Editorial Patria.
- Franco, M. (2023). *Sistema de Gestión de Inventarios con demanda intermitente. Un análisis experimental*. [Trabajo de fin de grado en Ingeniería de Organización Industrial]. Universidad de Sevilla.

Hyndman, R.J., Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting Principles and Practice. (3a ed.)*. Otexts.

Lagarda-Leyva, E. A., Bueno-Solano, A., Cedillo-Campos, M. G., & Velarde-Cantú, J. M. (2018). *Caso de Estudio: Escenarios en la Cadena de Suministro de una empresa de envases de plástico*. Nova Scientia, 10(1), 510-538.

Macías-Acosta, R., León-Reséndiz, A., & Limón-Lozano, C. I. (2019). *Análisis de la cadena de suministro por clasificación ABC: el caso de una empresa mexicana*. Revista academia & Negocios, 4(2), 83-94.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560859050001>

Makridakis, S. G., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1997). *Forecasting Methods and Applications. (3a ed.)*. John Wiley & Sons, Inc.

McClain, J. O. (1981). *Restarting a forecasting system when demand suddenly changes*. Journal of Operations Management, 2, 53-61 [https://doi.org/10.1016/0272-6963\(81\)90035-8](https://doi.org/10.1016/0272-6963(81)90035-8)

Méndez-Giraldo, G. A., Lopez-Santana, E. R. (2014). *Metodología para el pronóstico de la demanda en ambientes multiproducto y de alta variabilidad*. Revista Tecnura, 18(40), 89-102 <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.2.a07>

Merkuryeva, G., Valberga, A., & Smirnov, A. (2019). *Demand forecasting in pharmaceutical supply chains: A case study*. Procedia Computer Science, 149, 3-10.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.100>

- Miño-Cascante, G., Saumell-Fonseca, E., Toledo-Borrego, A., Roldan-Ruenes, A., & Moreno-García, R. (2015). *Planeación de requerimientos de materiales por el sistema MRP. Caso Laboratorio Farmacéutico Oriente*. Tecnología Química, 35, 248-260. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543787008.pdf>
- Nahmias, S., Olsen, T. L. (2015). *Production and Operations Analysis. (7 th ed.)*. Waveland Press, Inc.
- Paredes-Rodríguez, A. M., Osorio-Gómez, J. C. (2021). *Simulación dinámica de una política de inventario R, S en una cadena de suministro de artículos ferreteros*. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 20(39), 185-211. <https://doi.org/10.22395/rium.v20n39a11>
- Pretel, C., Galvis, O., Rendón, L., & Osorio, J. (2013). *Dinámica de sistemas para la selección de un sistema de pronóstico con base en el impacto de excesos y faltantes*. Revista S&T, 11(24), 55 - 71.
- Ravindran, A. R., Warsing, P. D. (2013). *Supply Chain Engineering: Models and Applications*. CRC Press.
- Render, B., Heizer, J. (2014). *Principios de administración de operaciones. (9ª ed.)*. Pearson.
- Rosario, C. N. (2019). *Estrategias del ciclo de vida de un producto*. Con ciencia boletín científico de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 13, 44 - 46.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2017). *Inventory and Production Management in Supply Chains (4a ed.)*. CRC Press.

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. (9ª ed.)*. Pearson.

Xu, M. (2014). *Modelos de gestión de existencias de una empresa a través de dinámica de sistemas*. [Trabajo fin de grado para la obtención del grado en administración y dirección de empresas, por la Universidad de Jaén]. Repositorio de tesis de la universidad de Jaén.
http://matema.ujaen.es/jnavas/web_modelos_empresa/archivos/TFG/MEMORIA%20FINAL%20Y%20PORTADA%20MENGYU%20XU.pdf

Zotelo, Y. R., Mula, J., Díaz-Madroñero, M., & González, E. G. (2017). *Plan maestro de producción basado en programación lineal entera para una empresa de productos químicos*. *Revista de Métodos Cuantitativos Para La Economía y La Empresa*, 24, 147 - 168.

ANEXOS

Anexo 1: información de la cantidad de ventas históricas de 6 años para los 39 productos.

Anexo 1: Ventas históricas de los últimos seis años de 39 productos

PRODUCTO	VENTAS TOTALES (piezas)	PRODUCTO	VENTAS TOTALES (piezas)
PRODUCTO 1	5,506.00	PRODUCTO 21	8,743.00
PRODUCTO 2	1,645.00	PRODUCTO 22	3,750.00
PRODUCTO 3	4,145.00	PRODUCTO 23	5,174.00
PRODUCTO 4	1,238.00	PRODUCTO 24	3,940.00
PRODUCTO 5	9,136.00	PRODUCTO 25	4,967.00
PRODUCTO 6	7,826.00	PRODUCTO 26	1,805.00
PRODUCTO 7	12,977.00	PRODUCTO 27	3,751.00
PRODUCTO 8	3,330.00	PRODUCTO 28	1,997.00
PRODUCTO 9	1,390.00	PRODUCTO 29	7,545.00
PRODUCTO 10	11,565.00	PRODUCTO 30	4,903.00
PRODUCTO 11	5,031.00	PRODUCTO 31	1,734.00
PRODUCTO 12	29,893.00	PRODUCTO 32	10,236.00
PRODUCTO 13	5,843.00	PRODUCTO 33	12,426.00
PRODUCTO 14	3,562.00	PRODUCTO 34	2,110.00
PRODUCTO 15	2,255.00	PRODUCTO 35	3,069.00
PRODUCTO 16	1,623.00	PRODUCTO 36	824.00
PRODUCTO 17	2,782.00	PRODUCTO 37	1,311.00
PRODUCTO 18	4,176.00	PRODUCTO 38	3,815.00
PRODUCTO 19	21,452.00	PRODUCTO 39	2,948.00
PRODUCTO 20	5,001.00		

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Errores de pronóstico de cada método para los 39 productos.

Anexo 2: Errores de pronóstico para 39 productos

PRODUCTO 1	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 21	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	324.2	46.1	3076.1	ANALISIS	64.9	52.7	4884.2
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	287.6	41.0	2948.4	DESCOMPOSICION	56.4	47.9	4424.2
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	109.1	33.7	1875.3	PROMEDIO MOVIL	39.7	37.5	2830.2

SUAVIZACIÓN	330.5	46.3	3194.6	SUAVIZACIÓN	60.3	55.3	5425.7
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	166.1	53.0	4538.7	SUAVIZACIÓN	63.1	60.8	6530.0
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	250.2	45.5	3431.1	METODO	65.6	58.3	6169.5
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 2	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 22	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	139.0	14.1	259.9	ANALISIS	84.3	32.7	2314.0
TENDENCIA				TENDENCIA			
PRODUCTO 2							
DESCOMPOSICION	118.0	11.6	255.6	DESCOMPOSICION	247.4	27.6	1438.3
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	106.2	11.3	171.9	PROMEDIO MOVIL	162.0	20.2	689.7
SUAVIZACIÓN	138.5	14.0	268.0	SUAVIZACIÓN	211.0	28.9	1403.6
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	152.9	17.8	549.3	SUAVIZACIÓN	189.3	29.6	1521.8
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	148.0	15.3	358.3	METODO	209.4	29.5	1666.3
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 3	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 23	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	63.3	24.7	960.0	ANALISIS	101.7	33.1	1992.6
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	60.6	24.2	978.8	DESCOMPOSICION	99.7	29.1	1645.1
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	57.6	23.2	873.2	PROMEDIO MOVIL	87.4	26.2	1137.2
SUAVIZACIÓN	71.6	26.2	1040.6	SUAVIZACIÓN	108.3	33.4	1815.2
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	77.0	30.4	1535.6	SUAVIZACIÓN	132.7	39.4	2667.9
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			

METODO	74.5	29.5	1236.7	METODO	104.4	32.7	1917.7
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 4	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 24	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	137.0	10.6	196.2	ANALISIS	89.5	24.9	1038.8
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	119.7	10.7	203.6	DESCOMPOSICION	79.6	24.3	995.4
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	116.4	9.4	147.1	PROMEDIO MOVIL	67.5	21.7	704.7
SUAVIZACIÓN	126.9	10.6	205.4	SUAVIZACIÓN	81.5	25.8	1150.4
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	154.7	14.4	331.9	SUAVIZACIÓN	101.4	33.7	1716.8
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	138.7	13.0	299.2	METODO	90.1	30.0	1527.9
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 5	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 25	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	124.0	89.6	18716.1	ANALISIS	94.5	31.3	1622.0
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	102.1	81.9	15266.1	DESCOMPOSICION	71.2	30.7	1699.8
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	73.0	63.4	12221.7	PROMEDIO MOVIL	67.6	23.2	964.7
SUAVIZACIÓN	118.7	87.6	19178.4	SUAVIZACIÓN	100.8	32.9	1781.5
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	100.1	93.5	27895.7	SUAVIZACIÓN	108.0	37.7	2408.2
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	130.0	99.8	26264.4	METODO	100.7	37.1	2613.3
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 6	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 26	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	258.0	89.3	17232.6	ANALISIS	165.7	14.4	294.9
TENDENCIA				TENDENCIA			

DESCOMPOSICION	225.7	86.3	16821.2	DESCOMPOSICION	147.1	12.8	287.2
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	148.7	56.9	10412.4	PROMEDIO MOVIL	123.1	11.5	195.4
SUAVIZACIÓN	233.1	85.0	17669.2	SUAVIZACIÓN	176.5	14.6	303.7
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	210.7	89.2	22283.8	SUAVIZACIÓN	195.6	17.9	457.9
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	503.0	164.0	160831.0	METODO	169.6	15.7	362.3
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 7	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 27	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	46.9	58.9	6402.8	ANALISIS	78.3	25.4	1007.3
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	44.8	57.6	6190.6	DESCOMPOSICION	90.7	24.0	799.5
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	34.1	49.0	4180.7	PROMEDIO MOVIL	63.3	18.5	567.1
SUAVIZACIÓN	48.0	63.1	6903.8	SUAVIZACIÓN	92.6	23.7	899.5
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	50.1	73.8	9701.9	SUAVIZACIÓN	93.5	28.4	1338.1
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	55.6	69.5	7758.7	METODO	77.9	24.6	965.6
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 8	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 28	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	55.0	17.5	501.9	ANALISIS	112.6	11.8	225.0
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	54.3	16.8	522.1	DESCOMPOSICION	91.9	11.6	218.6
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	54.6	17.4	504.0	PROMEDIO MOVIL	69.0	8.7	114.1
SUAVIZACIÓN				SUAVIZACIÓN	125.4	12.3	237.9
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			

SUAVIZACIÓN	64.0	22.9	885.2	SUAVIZACIÓN	100.9	13.3	271.0
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	61.7	20.5	676.0	METODO	108.5	13.6	282.3
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 9	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 29	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	122.3	18.3	520.2	ANALISIS	220.9	49.1	3819.3
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	197.4	23.3	1198.1	DESCOMPOSICION	223.6	41.2	2864.2
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	79.2	14.8	292.1	PROMEDIO MOVIL	135.4	35.8	1936.2
SUAVIZACIÓN	116.3	18.4	541.6	SUAVIZACIÓN	294.2	44.8	3295.1
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	125.8	22.9	750.5	SUAVIZACIÓN	197.3	52.9	4270.6
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	130.2	19.0	534.0	METODO	196.3	46.0	3461.6
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 10	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 30	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	62.7	52.7	5143.0	ANALISIS	63.5	26.2	1204.9
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	62.7	51.8	5461.2	DESCOMPOSICION	60.0	22.1	895.3
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	40.2	41.3	2928.9	PROMEDIO MOVIL	40.9	19.6	575.0
SUAVIZACIÓN	62.1	54.5	5501.1	SUAVIZACIÓN	62.4	27.3	1151.6
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	58.8	65.5	7213.3	SUAVIZACIÓN	59.2	29.4	1262.9
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	73.9	60.1	6801.0	METODO	76.5	29.1	1429.9
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 11	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 31	MAPE	MAD	MSD

ANALISIS	325.4	35.5	2136.2	ANALISIS	290.8	14.6	371.9
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	236.5	33.4	2109.5	DESCOMPOSICION	278.7	13.5	344.0
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	142.1	25.5	1177.3	PROMEDIO MOVIL	201.5	11.9	248.7
SUAVIZACIÓN	277.7	35.7	2284.9	SUAVIZACIÓN	299.2	15.1	396.1
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	221.0	39.2	2812.5	SUAVIZACIÓN	252.1	17.9	563.6
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	271.9	40.4	2746.3	METODO	322.9	17.5	499.3
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 12	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 32	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	32.6	115.1	23168.9	ANALISIS	54	59	6716
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	31.0	106.7	22342.7	DESCOMPOSICION	55	56	6074
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	25.1	89.6	14364.1	PROMEDIO MOVIL	49	50	4504
SUAVIZACIÓN	30.9	112.9	25981.1	SUAVIZACIÓN	59	62	7089
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	41.0	139.9	33682.9	SUAVIZACIÓN	79	75	11382
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	35.2	122.6	29785.5	METODO	63	63	7371
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 13	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 33	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	55.8	27.4	1347.3	ANALISIS	50.2	65.1	7129.0
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	48.3	24.4	1175.1	DESCOMPOSICION	43.5	52.6	5050.8
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	45.4	25.0	1110.1	PROMEDIO MOVIL	33.8	45.5	3366.3

SUAVIZACIÓN	54.0	29.1	1491.4	SUAVIZACIÓN	50.5	65.8	6711.9
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	65.6	36.5	2445.2	SUAVIZACIÓN	53.3	70.3	8130.2
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	59.3	30.3	1692.6	METODO	42.8	57.7	5012.5
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 14	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 34	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	257.5	39.3	2414.4	ANALISIS	206.9	16.9	590.6
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	242.6	38.5	2546.5	DESCOMPOSICION	162.8	16.0	581.2
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	55.8	30.6	1453.8	PROMEDIO MOVIL	132.2	13.9	362.7
SUAVIZACIÓN	242.0	38.3	2462.3	SUAVIZACIÓN	185.2	17.3	642.3
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	247.6	46.2	3435.3	SUAVIZACIÓN	212.4	20.6	820.9
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	183.5	42.2	2698.4	METODO	185.8	18.7	656.3
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 15	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 35	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	200.1	17.6	506.7	ANALISIS	79.0	19.4	692.3
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	203.2	17.2	542.7	DESCOMPOSICION	77.5	16.1	560.3
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	148.2	12.6	308.1	PROMEDIO MOVIL	59.6	13.5	360.5
SUAVIZACIÓN	213.7	18.4	540.5	SUAVIZACIÓN	88.6	19.7	661.2
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	184.8	19.5	757.0	SUAVIZACIÓN	98.5	21.9	871.7
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			

METODO	144.0	19.1	582.9	METODO	77.8	17.7	526.3
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 16	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 36	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	171.6	18.8	565.0	ANALISIS	200.9	7.4	103.7
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	169.9	17.7	518.4	DESCOMPOSICION	208.9	7.6	115.3
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	79.1	14.7	395.3	PROMEDIO MOVIL	130.0	6.2	70.7
SUAVIZACIÓN	195.8	20.2	606.1	SUAVIZACIÓN	190.5	7.5	120.6
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	113.1	23.5	1106.3	SUAVIZACIÓN	223.7	9.5	157.1
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	155.6	20.4	666.2	METODO	188.9	8.1	123.0
WINTERS				WINTERS			
FANILIA 17	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 37	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	75.7	22.5	881.3	ANALISIS	53.7	9.2	179.7
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	135.0	17.2	474.4	DESCOMPOSICION	67.6	8.3	130.4
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	82.6	14.1	285.5	PROMEDIO MOVIL	50.5	6.7	83.1
SUAVIZACIÓN	143.1	17.8	501.2	SUAVIZACIÓN	67.1	8.6	138.9
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	109.0	20.8	665.1	SUAVIZACIÓN	83.0	10.5	209.7
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	140.5	19.0	596.0	METODO	74.1	9.3	144.6
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 18	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 38	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	70.0	30.7	1806.2	ANALISIS	55.5	20.7	723.9
TENDENCIA				TENDENCIA			

DESCOMPOSICION	182.9	26.8	1380.8	DESCOMPOSICION	60.4	20.6	635.6
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	88.8	23.5	905.1	PROMEDIO MOVIL	41.4	13.8	357.5
SUAVIZACIÓN	122.1	29.0	1502.7	SUAVIZACIÓN	60.9	19.7	675.4
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	156.5	36.7	2070.3	SUAVIZACIÓN	64.9	22.0	865.0
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	140.1	30.9	1453.9	METODO	58.0	20.6	716.7
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 19	MAPE	MAD	MSD	PRODUCTO 39	MAPE	MAD	MSD
ANALISIS	38.5	90.9	16637.6	ANALISIS	67.3	23.7	2269.8
TENDENCIA				TENDENCIA			
DESCOMPOSICION	39.7	86.9	14355.3	DESCOMPOSICION	108.3	22.6	1800.5
DE SERIES DE				DE SERIES DE			
TIEMPO				TIEMPO			
PROMEDIO MOVIL	28.5	75.8	9586.7	PROMEDIO MOVIL	79.0	19.5	1312.8
SUAVIZACIÓN	41.2	94.3	17576.9	SUAVIZACIÓN	104.2	21.3	1930.3
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
SUAVIZACIÓN	39.4	108.6	21624.9	SUAVIZACIÓN	123.2	28.1	2876.0
EXPONENCIAL				EXPONENCIAL			
DOBLE				DOBLE			
METODO	48.5	108.0	20610.4	METODO	121.9	25.7	2157.0
WINTERS				WINTERS			
PRODUCTO 20	MAPE	MAD	MSD				
ANALISIS	80.9	32.9	1977.2				
TENDENCIA							
DESCOMPOSICION	95.4	26.3	1166.1				
DE SERIES DE							
TIEMPO							
PROMEDIO MOVIL	75.3	21.4	808.6				
SUAVIZACIÓN	114.7	28.9	1307.3				
EXPONENCIAL							

SUAVIZACIÓN	72.2	31.8	1813.5
EXPONENCIAL			
DOBLE			
METODO	113.1	33.9	1960.7
WINTERS			

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Errores de pronóstico y pronóstico resultante con el método de alfa declinante, para los 39 productos.

Anexo 3: Pronósticos resultantes con el método α declinante

MÉTODO α DECLINANTE	MSD	MAD	PRONÓSTICO (piezas)
PRODUCTO 1	2005.36	36.18	22.00
PRODUCTO 2	181.02	11.69	20.00
PRODUCTO 3	660.96	20.17	39.00
PRODUCTO 4	139.32	9.02	25.00
PRODUCTO 5	13094.38	71.38	70.00
PRODUCTO 6	11818.10	70.17	57.00
PRODUCTO 7	4472.08	50.72	242.00
PRODUCTO 8	356.51	14.80	58.00
PRODUCTO 9	366.22	15.21	38.00
PRODUCTO 10	3556.10	45.10	211.00
PRODUCTO 11	1503.91	29.35	115.00
PRODUCTO 12	16584.10	90.50	573.00
PRODUCTO 13	1028.85	23.93	107.00
PRODUCTO 14	1646.75	31.88	101.00
PRODUCTO 15	325.65	13.78	38.00
PRODUCTO 16	387.87	14.97	34.00
PRODUCTO 17	314.22	14.13	32.00
PRODUCTO 18	995.38	23.22	82.00
PRODUCTO 19	11275.30	77.14	445.00
PRODUCTO 20	905.91	23.15	82.00
PRODUCTO 21	3521.38	43.85	200.00
PRODUCTO 22	935.23	22.54	90.00
PRODUCTO 23	1177.82	27.03	85.00
PRODUCTO 24	764.19	21.37	78.00
PRODUCTO 25	1134.70	25.99	62.00
PRODUCTO 26	209.64	11.95	19.00
PRODUCTO 27	567.71	18.62	37.00
PRODUCTO 28	149.49	9.99	23.00
PRODUCTO 29	2189.82	36.44	128.00
PRODUCTO 30	743.29	21.23	76.00
PRODUCTO 31	270.67	12.69	34.00
PRODUCTO 32	4559.78	49.60	252.00
PRODUCTO 33	4253.51	51.53	333.00
PRODUCTO 34	418.62	14.19	65.00
PRODUCTO 35	413.18	15.28	75.00
PRODUCTO 36	77.30	6.07	27.00
PRODUCTO 37	87.19	6.78	31.00
PRODUCTO 38	425.85	15.81	57.00
PRODUCTO 39	1289.20	17.49	80.00

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: Liberaciones de producción para los 39 productos, calculado con el MPS.

Anexo 4: Liberaciones de producción para los 39 productos

PRODUCTO	SEMANAS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	20.00	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	130.00	-	-	-	250.00	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	50.00	-	-	-
9	30.00	-	-	-	40.00	-	-	-	40.00	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	100.00	-	-	-	120.00	-	-	-
12	170.00	-	-	-	570.00	-	-	-	570.00	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	10.00	-	-	-
14	-	-	-	-	70.00	-	-	-	100.00	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	40.00	-	-	-	90.00	-	-	-	80.00	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	50.00	-	-	-	80.00	-	-	-	80.00	-	-	-
21	-	-	-	-	180.00	-	-	-	200.00	-	-	-
22	50.00	-	-	-	90.00	-	-	-	90.00	-	-	-
23	60.00	-	-	-	80.00	-	-	-	90.00	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	60.00	-	-	-	60.00	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	10.00	-	-	-
27	-	-	-	-	10.00	-	-	-	40.00	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	30.00	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	10.00	-	-	-	30.00	-	-	-
32	-	-	-	-	60.00	-	-	-	250.00	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	200.00	-	-	-
34	40.00	-	-	-	60.00	-	-	-	70.00	-	-	-
35	20.00	-	-	-	80.00	-	-	-	70.00	-	-	-
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	20.00	-	-	-	30.00	-	-	-
38	-	-	-	-	30.00	-	-	-	60.00	-	-	-
39	-	-	-	-	60.00	-	-	-	80.00	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5: Valores de inventario inicial e inventario promedio al 6º mes, para productos que utilizan la materia prima 83. Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5: Inventario promedio al 6º mes para productos que utilizan la materia prima 83

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA PRODUCTO 12		
VALOR DEL PRODUCTO	\$	1,826.00
PERIODO	CANTIDAD (PIEZAS)	CANTIDAD (MXN)
INVENTARIO INICIAL PRODUCTO	410.00	\$ 748,660.00
MES 1	209	\$ 380,721.00
MES 2	6	\$ 10,043.00
MES 3	3	\$ 4,565.00
MES 4	5	\$ 8,217.00
MES 5	7	\$ 11,869.00
MES 6	4	\$ 6,391.00

Fuente: Elaboración propia.

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA PRODUCTO 5		
VALOR DEL PRODUCTO	\$	2,256.00
PERIODO	CANTIDAD (PIEZAS)	CANTIDAD (MXN)
INVENTARIO INICIAL PRODUCTO	274.00	\$ 618,144.00
MES 1	239	\$ 539,184.00
MES 2	169	\$ 381,264.00
MES 3	99	\$ 223,344.00
MES 4	34	\$ 76,704.00
MES 5	4	\$ 9,024.00
MES 6	4	\$ 9,024.00

Fuente: Elaboración propia.

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA PRODUCTO 7		
VALOR DEL PRODUCTO	\$	1,960.00
PERIODO	CANTIDAD (PIEZAS)	CANTIDAD (MXN)
INVENTARIO INICIAL PRODUCTO	354.00	\$ 693,840.00
MES 1	233	\$ 456,680.00
MES 2	56	\$ 109,760.00
MES 3	4	\$ 7,840.00
MES 4	7	\$ 13,720.00
MES 5	5	\$ 9,800.00
MES 6	3	\$ 5,880.00

Fuente: Elaboración propia.

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA PRODUCTO 32			
VALOR DEL PRODUCTO	\$	1,187.00	
PERIODO	CANTIDAD (PIEZAS)	CANTIDAD (MXN)	
INVENTARIO INICIAL PRODUCTO	450.00	\$	534,150.00
MES 1	324	\$	384,588.00
MES 2	102	\$	121,074.00
MES 3	5	\$	5,935.00
MES 4	3	\$	3,561.00
MES 5	1	\$	1,187.00
MES 6	4	\$	4,748.00

Fuente: Elaboración propia.

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA PRODUCTO 23			
VALOR DEL PRODUCTO	\$	2,469.00	
PERIODO	CANTIDAD (PIEZAS)	CANTIDAD (MXN)	
INVENTARIO INICIAL PRODUCTO	32.00	\$	79,008.00
MES 1	20	\$	48,145.50
MES 2	5	\$	11,110.50
MES 3	5	\$	11,110.50
MES 4	5	\$	11,110.50
MES 5	5	\$	11,110.50
MES 6	5	\$	11,110.50

Fuente: Elaboración propia.

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA PRODUCTO 29			
VALOR DEL PRODUCTO	\$	2,340.00	
PERIODO	CANTIDAD (PIEZAS)	CANTIDAD (MXN)	
INVENTARIO INICIAL PRODUCTO	360.00	\$	842,400.00
MES 1	296	\$	692,640.00
MES 2	168	\$	393,120.00
MES 3	55	\$	128,700.00
MES 4	7	\$	16,380.00
MES 5	4	\$	9,360.00
MES 6	1	\$	2,340.00

Fuente: Elaboración propia.

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA PRODUCTO 2			
VALOR DEL PRODUCTO	\$	1,822.00	
PERIODO	CANTIDAD (PIEZAS)	CANTIDAD (MXN)	
INVENTARIO INICIAL PRODUCTO	80.00	\$	145,760.00
MES 1	70	\$	127,540.00
MES 2	50	\$	91,100.00
MES 3	30	\$	54,660.00
MES 4	10	\$	18,220.00
MES 5	0	\$	-
MES 6	0	\$	-

Fuente: Elaboración propia.

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA PRODUCTO 25			
VALOR DEL PRODUCTO	\$	1,804.00	
PERIODO	CANTIDAD (PIEZAS)	CANTIDAD (MXN)	
INVENTARIO INICIAL PRODUCTO	66.00	\$	119,064.00
MES 1	35	\$	63,140.00
MES 2	3	\$	5,412.00
MES 3	1	\$	1,804.00
MES 4	4	\$	7,216.00
MES 5	7	\$	12,628.00
MES 6	5	\$	9,020.00

Fuente: Elaboración propia.

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA PRODUCTO 27			
VALOR DEL PRODUCTO	\$	2,340.00	
PERIODO	CANTIDAD (PIEZAS)	CANTIDAD (MXN)	
INVENTARIO INICIAL PRODUCTO	67.00	\$	156,780.00
MES 1	49	\$	113,490.00
MES 2	17	\$	38,610.00
MES 3	5	\$	10,530.00
MES 4	8	\$	17,550.00
MES 5	6	\$	12,870.00
MES 6	4	\$	8,190.00

Fuente: Elaboración propia.

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA PRODUCTO 34			
VALOR DEL PRODUCTO	\$	1,444.00	
PERIODO	CANTIDAD (PIEZAS)	CANTIDAD (MXN)	
INVENTARIO INICIAL PRODUCTO	32.00	\$	46,208.00
MES 1	20	\$	28,158.00
MES 2	5	\$	6,498.00
MES 3	5	\$	6,498.00
MES 4	5	\$	6,498.00
MES 5	5	\$	6,498.00
MES 6	5	\$	6,498.00

Fuente: Elaboración propia.

KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA PRODUCTO 36			
VALOR DEL PRODUCTO	\$	2,544.00	
PERIODO	CANTIDAD (PIEZAS)	CANTIDAD (MXN)	
INVENTARIO INICIAL PRODUCTO	239.00	\$	608,016.00
MES 1	226	\$	573,672.00
MES 2	199	\$	504,984.00
MES 3	172	\$	436,296.00
MES 4	145	\$	367,608.00
MES 5	118	\$	298,920.00
MES 6	91	\$	230,232.00

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6: Valores de inventario inicial e inventario promedio al 6º mes, para la materia prima

83.

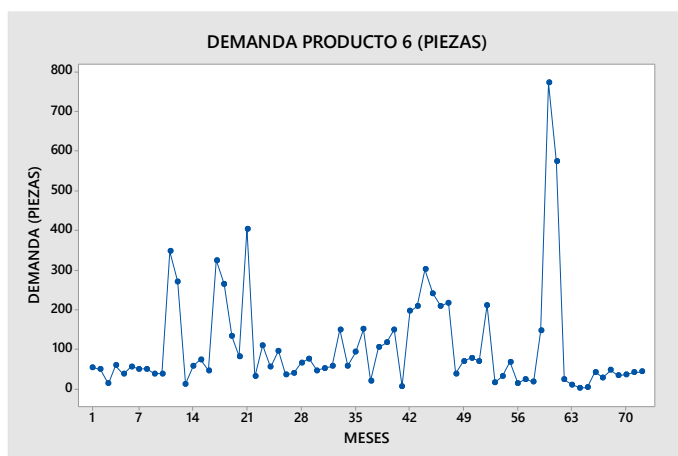
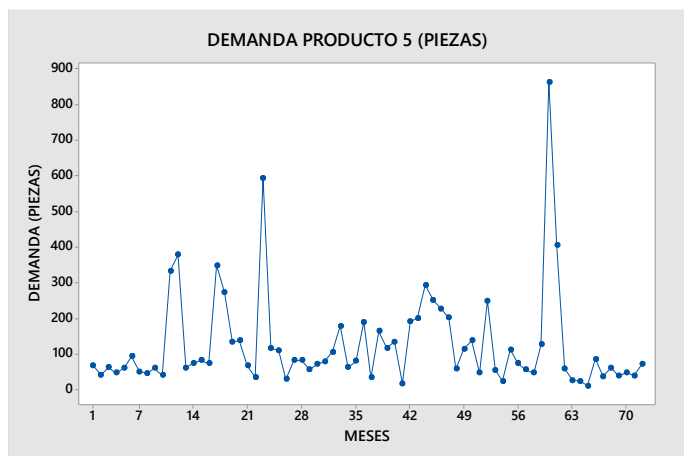
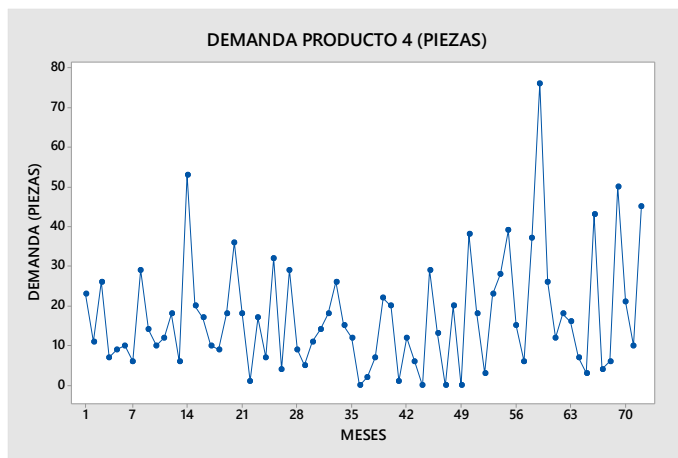
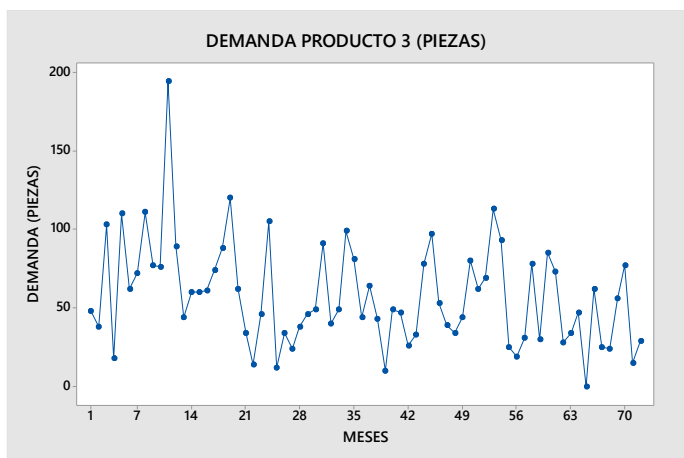
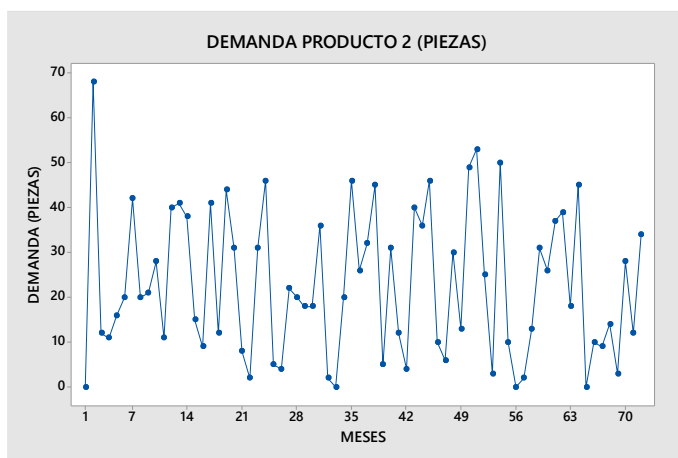
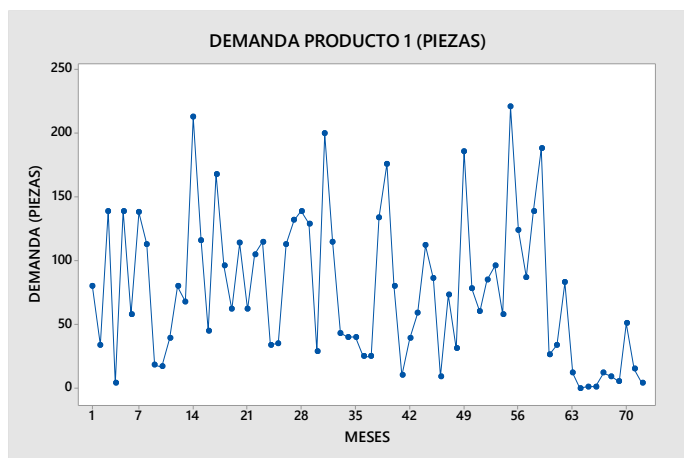
Anexo 6: Inventario promedio al 6º mes para la materia prima 83

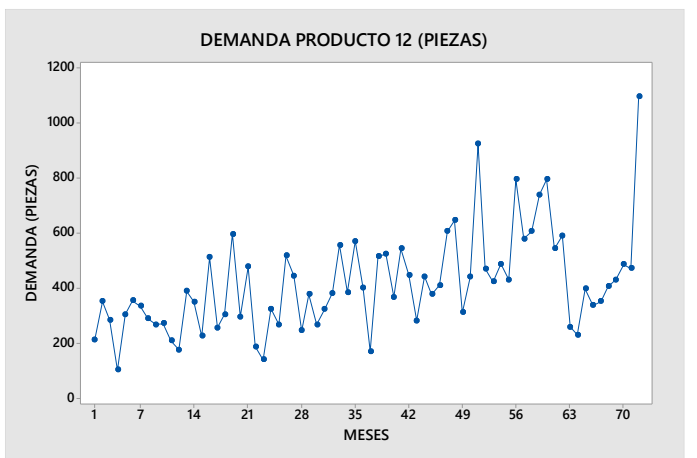
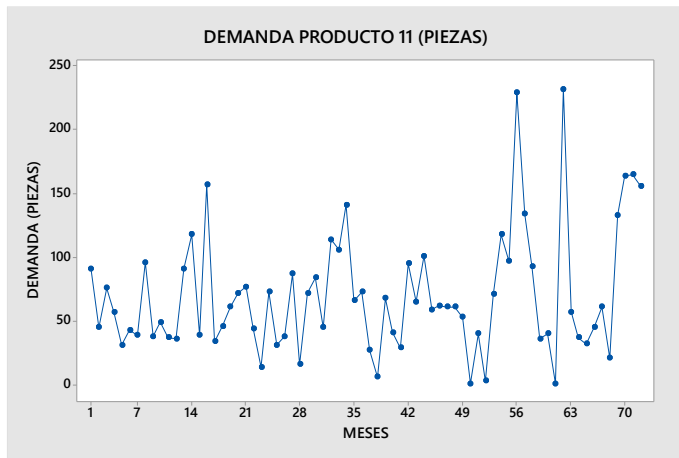
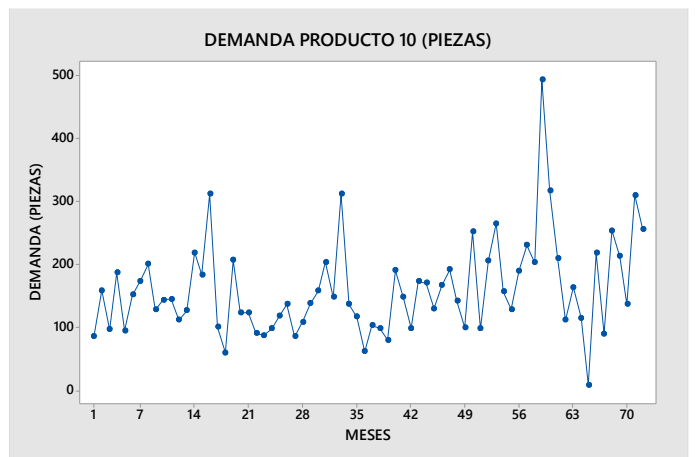
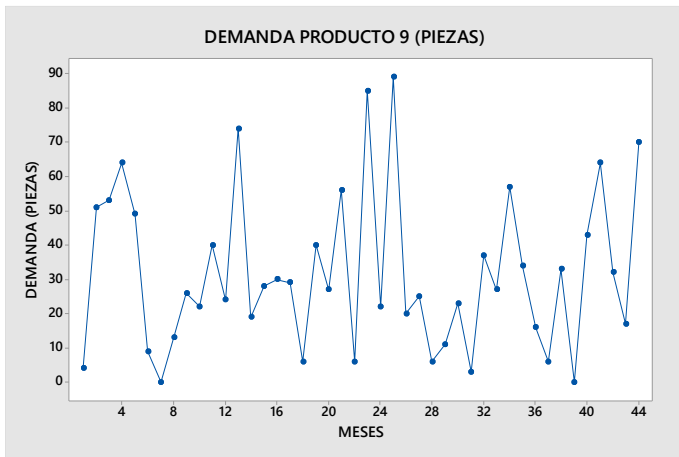
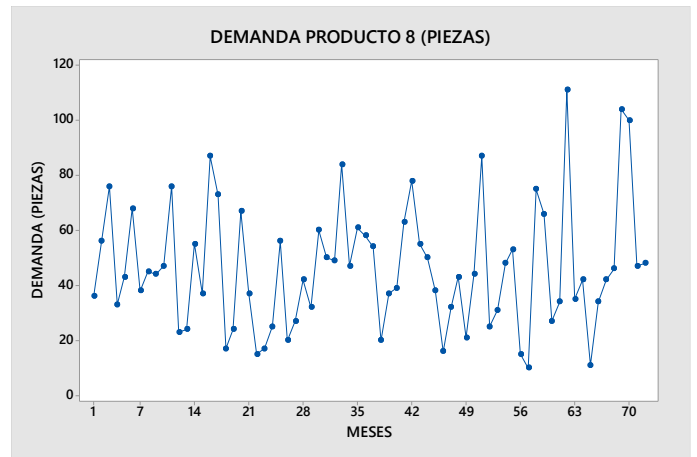
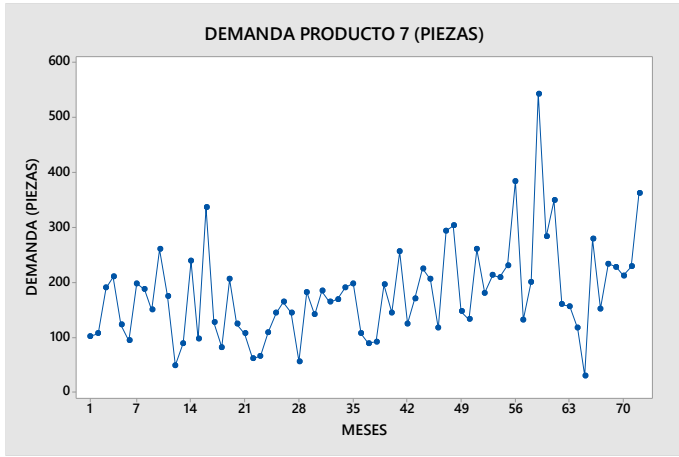
KPI INVENTARIO PROMEDIO PARA MATERIA PRIMA 83		
VALOR DE LA MATERIA PRIMA	\$	4.50
PERIODO	CANTIDAD (PIEZAS)	CANTIDAD (MXN)
INVENTARIO INICIAL DE LA MATERIA PRIMA	210,883.00	\$ 948,973.50
MES 1	196,603.00	\$ 884,713.50
MES 2	145,273.00	\$ 653,728.50
MES 3	77,613.00	\$ 349,258.50
MES 4	3,253.00	\$ 14,638.50
MES 5	5,683.00	\$ 25,573.50
MES 6	7,603.00	\$ 34,213.50

Fuente: Elaboración propia.

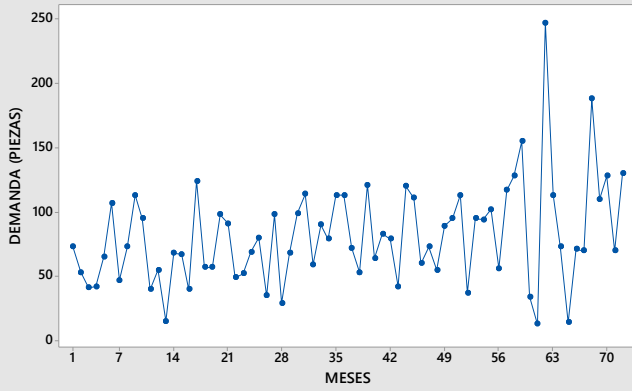
Anexo 7: Gráficas de series de tiempo para los 39 productos analizados.

Anexo 7: Gráficas de series de tiempo para los 39 productos analizados

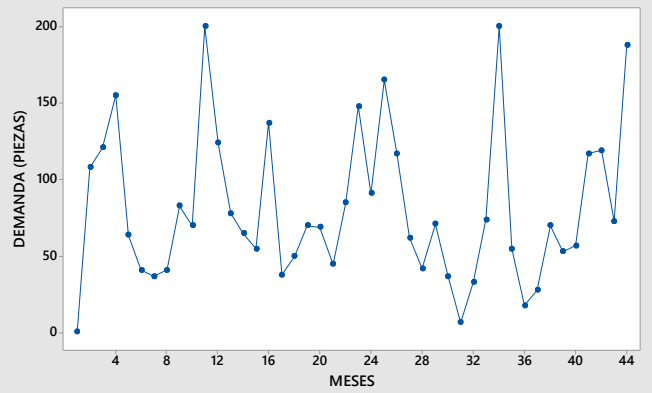




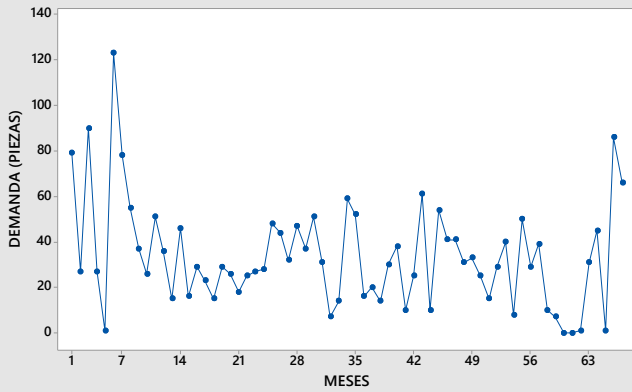
DEMANDA PRODUCTO 13 (PIEZAS)



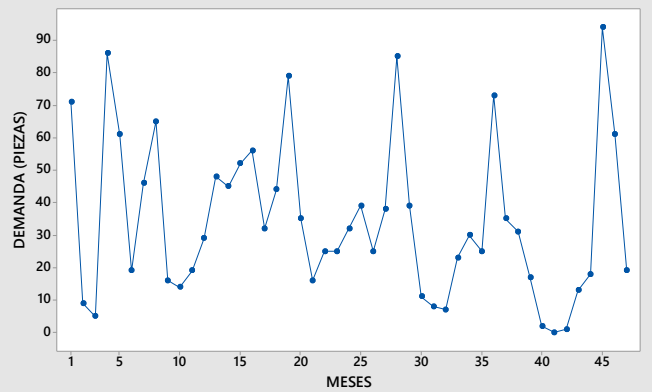
DEMANDA PRODUCTO 14 (PIEZAS)



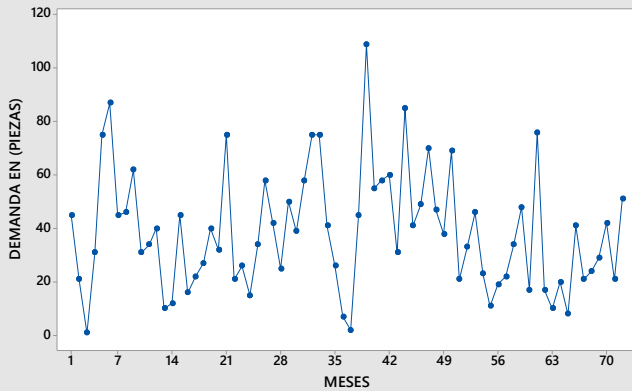
DEMANDA PRODUCTO 15 (PIEZAS)



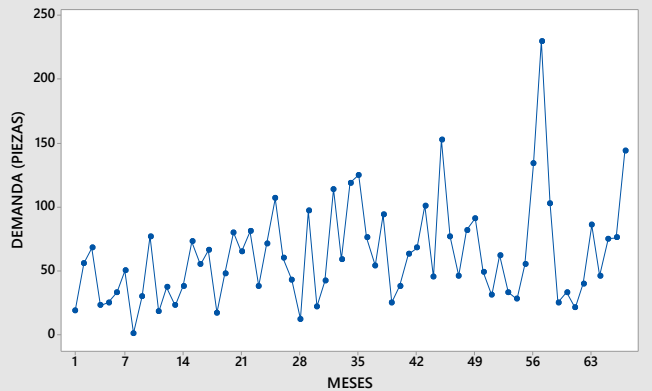
DEMANDA PRODUCTO 16 (PIEZAS)

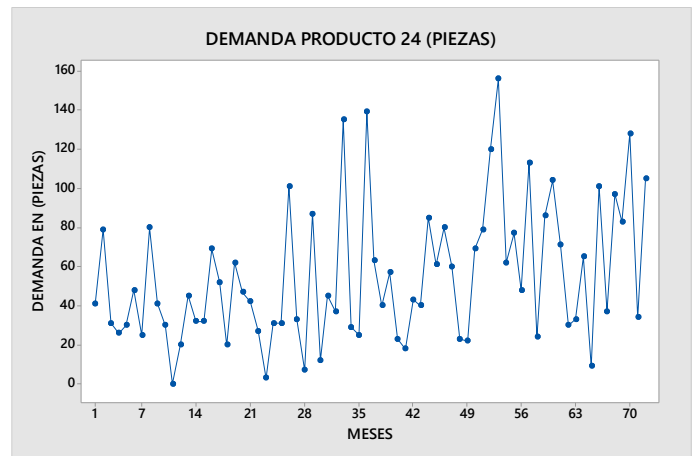
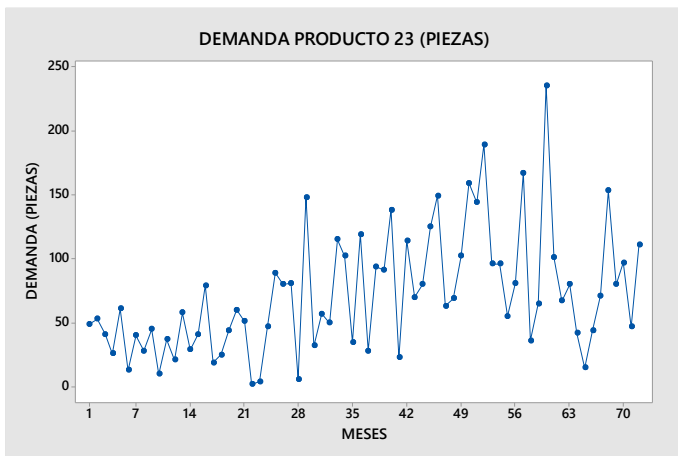
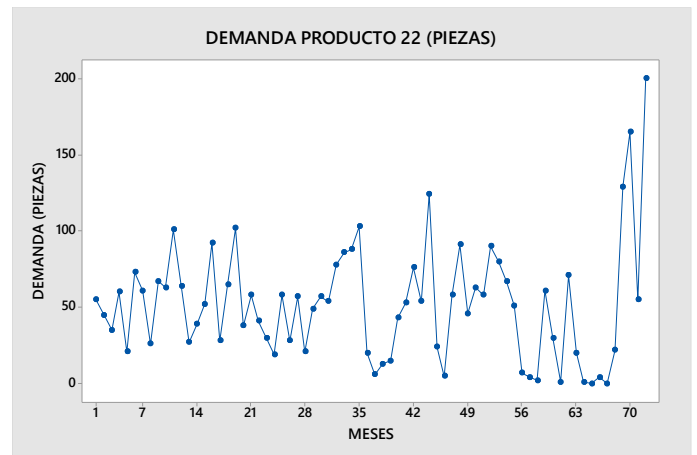
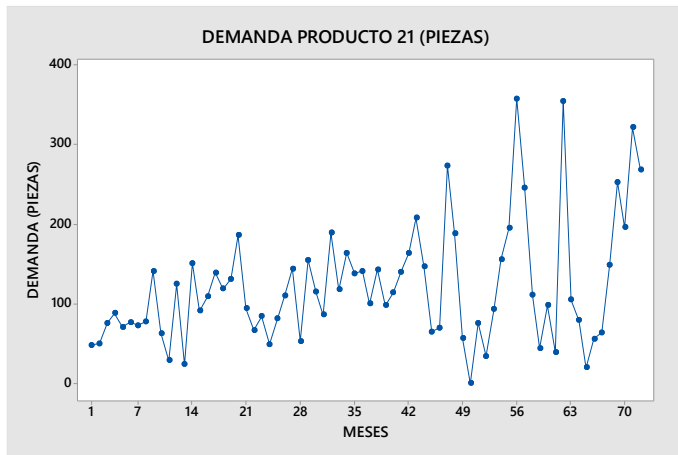
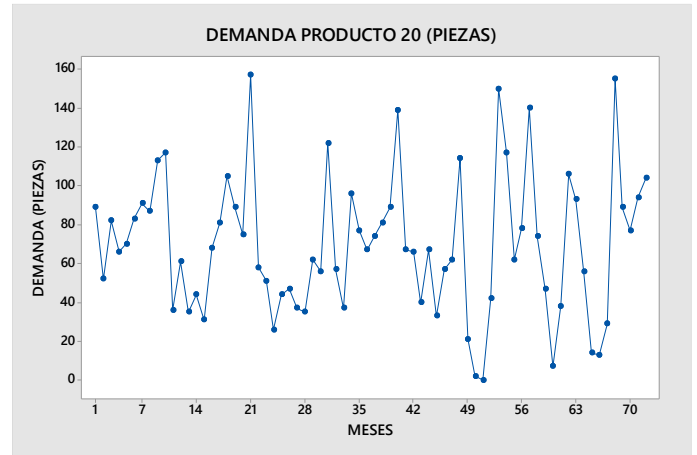
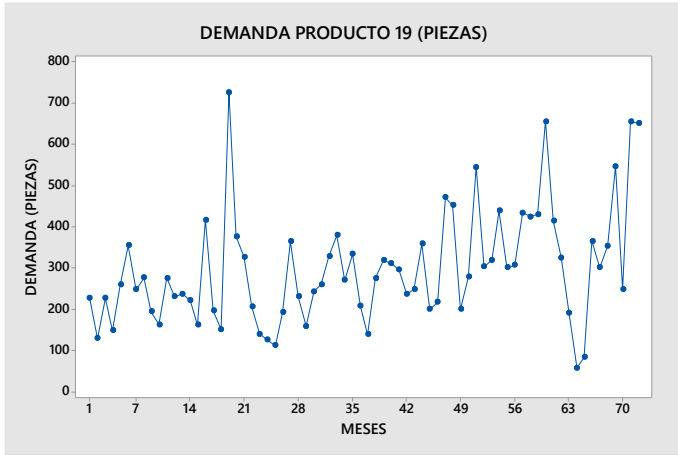


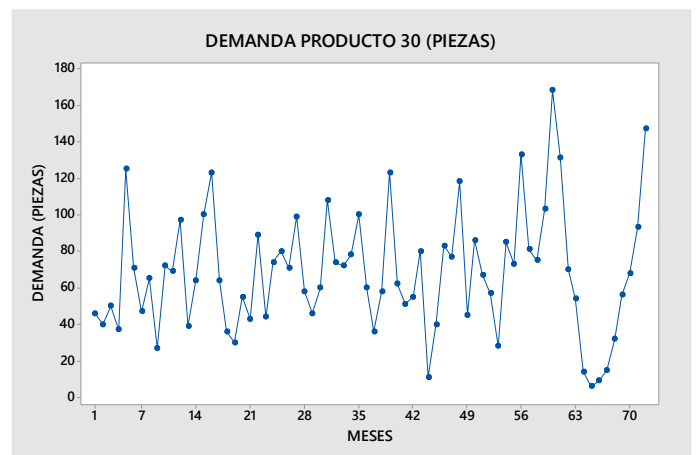
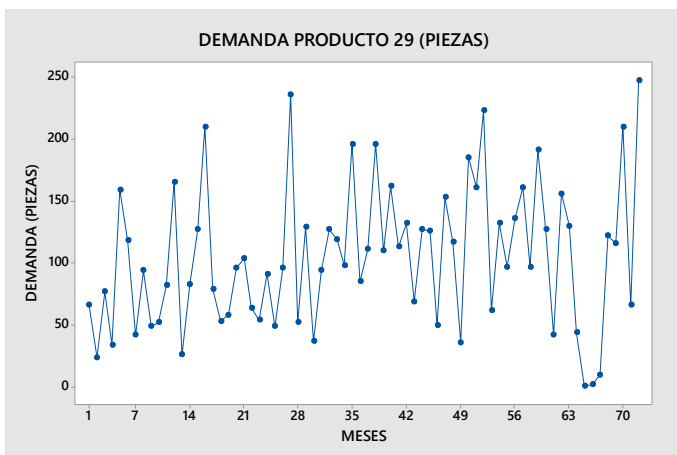
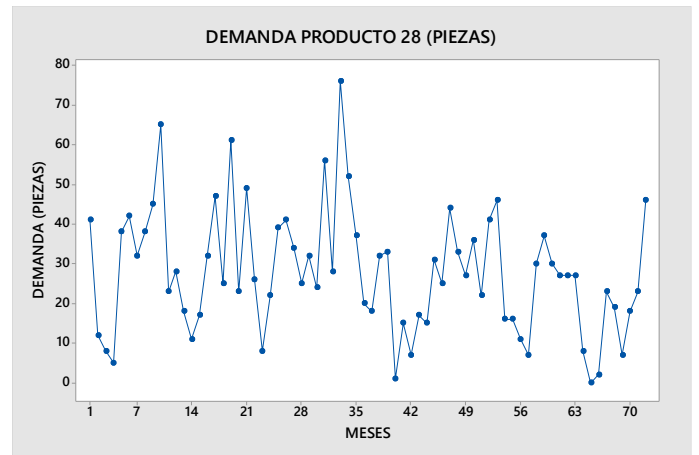
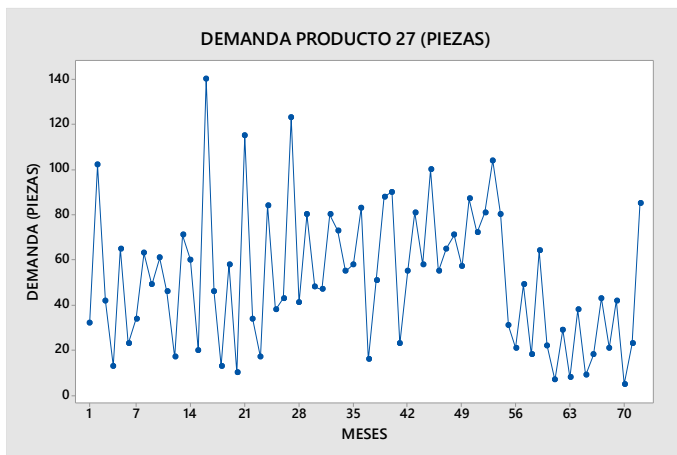
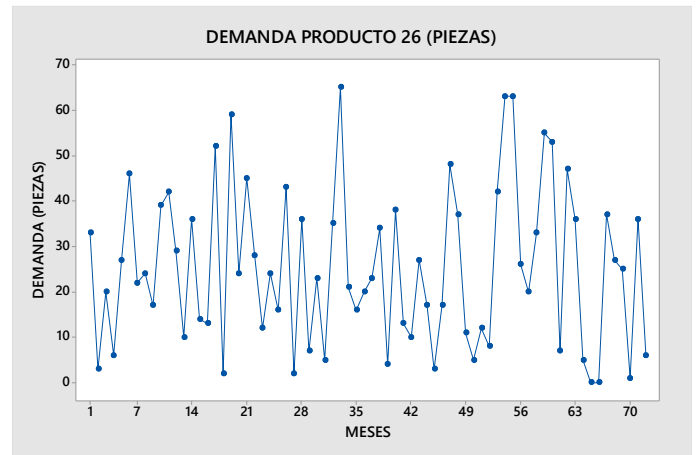
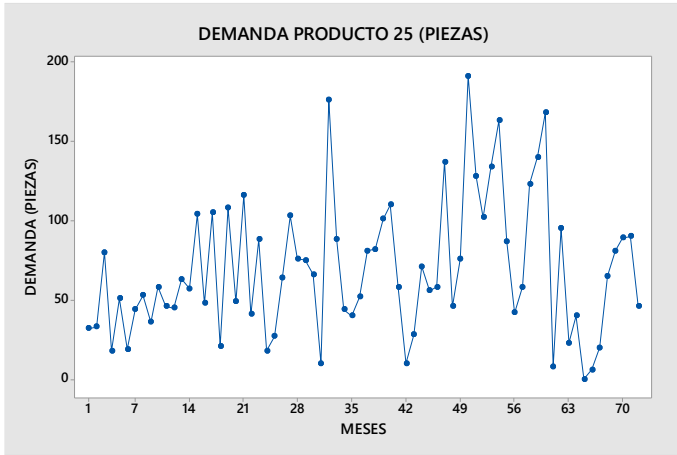
DEMANDA PRODUCTO 17 (PIEZAS)

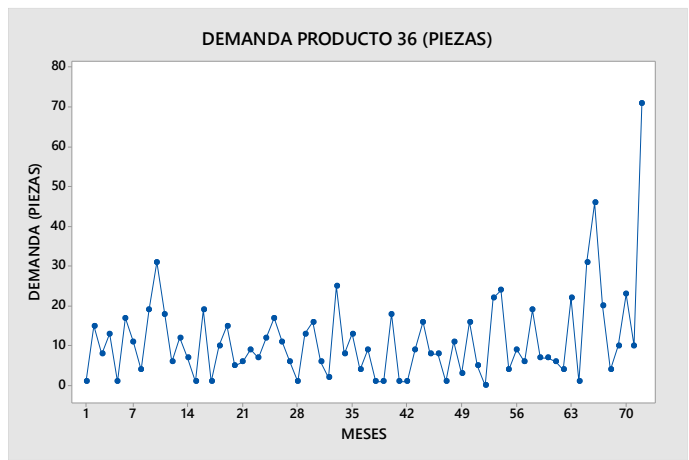
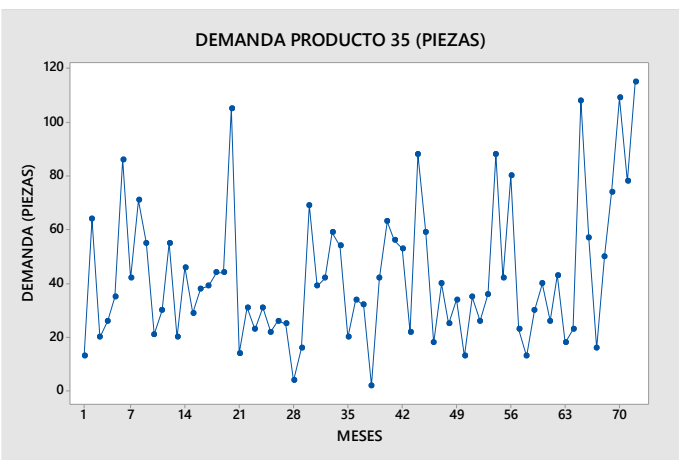
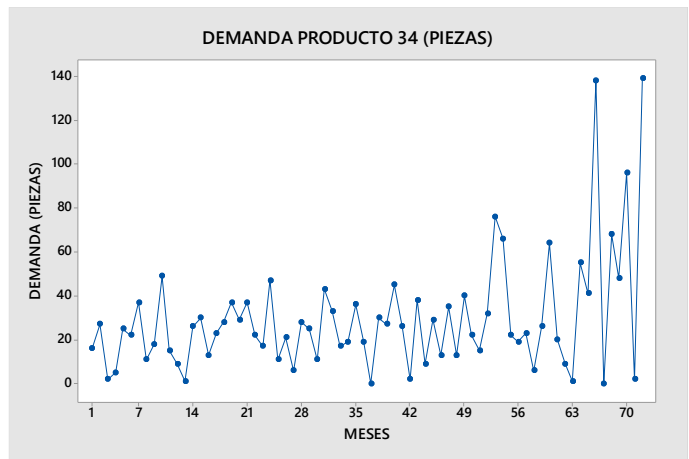
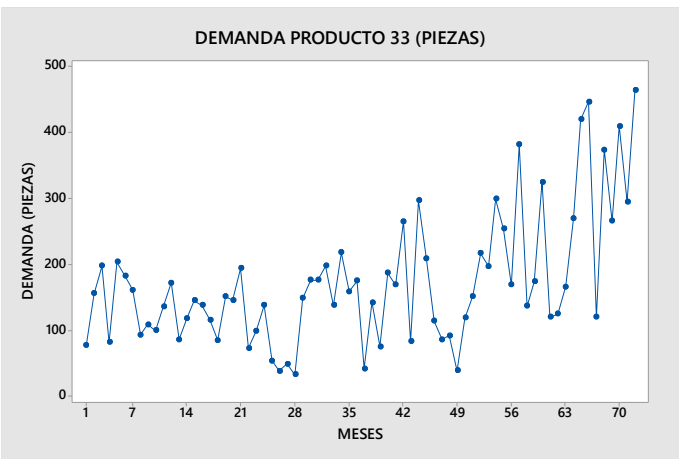
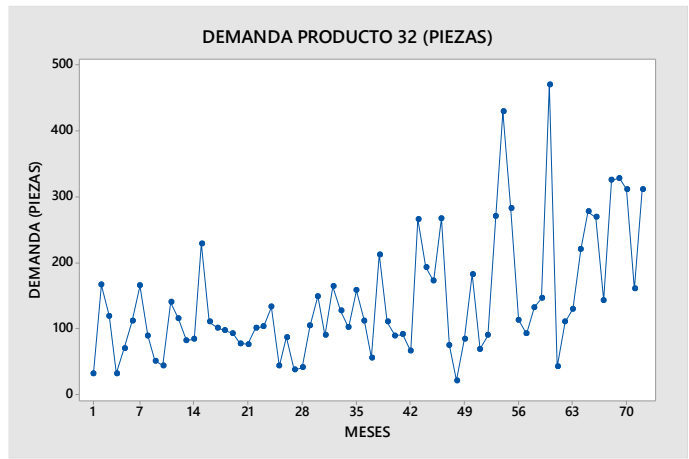
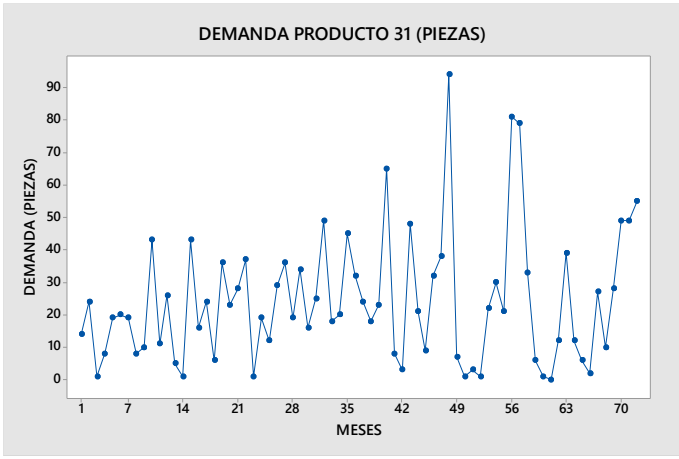


DEMANDA PRODUCTO 18 (PIEZAS)

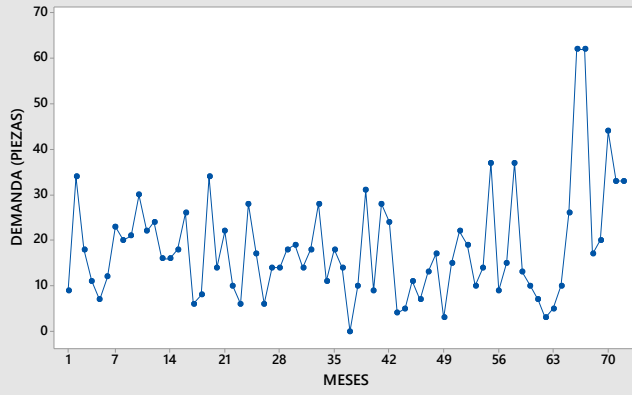




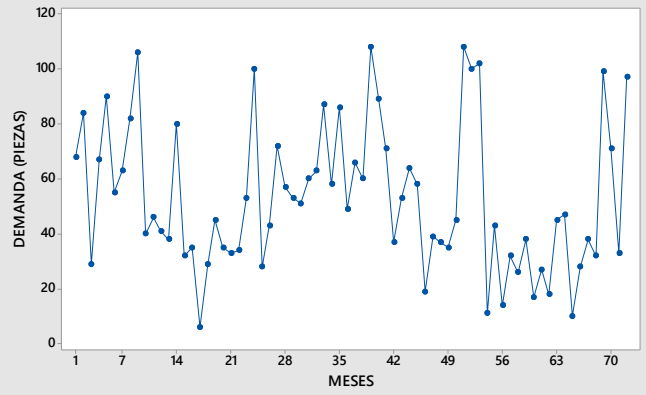




DEMANDA PRODUCTO 37 (PIEZAS)



DEMANDA PRODUCTO 38 (PIEZAS)



DEMANDA PRODUCTO 39 (PIEZAS)

