

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD JUÁREZ
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



**DETERMINACIÓN DE DEMANDAS DE CLIENTES
ANTICIPADAS CON LA UTILIZACIÓN DE MODELOS DE
PRONÓSTICOS PARA LA PLANEACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN DE PRODUCTO MÉDICO**

**TESIS
QUE PRESENTA:**

CARLOS ANTONIO FERNÁNDEZ MUÑOZ

**COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN INGENIERÍA ADMINISTRATIVA

CIUDAD. JUÁREZ, CHIH.

NOVIEMBRE, 2021



Ciudad Juárez, Chihuahua, **22/noviembre/2021**

Oficio: DEPI/039

Asunto: Autorización impresión de tesis

**C. CARLOS ANTONIO FERNÁNDEZ MUÑOZ
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN
INGENIERÍA ADMINISTRATIVA
PRESENTE**

Por este conducto, tengo el agrado de comunicarle que el Comité Tutorial asignado a su trabajo de Tesis titulado **“DETERMINACIÓN DE DEMANDAS DE CLIENTES ANTICIPADAS CON LA UTILIZACIÓN DE MODELOS DE PRONÓSTICOS PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTO MÉDICO”** ha informado a esta División de Estudios de Posgrado e Investigación, que está de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior se le autoriza se proceda con la **IMPRESIÓN DEFINITIVA DE SU TRABAJO DE TESIS.**

Esperando que el logro del mismo sea acorde con sus aspiraciones profesionales, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

**C. EDUARDO RAFAÉL POBLANO OJINAGA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



ccp. Departamento de Servicios Escolares
División de Estudios Profesionales

ERPO/dmsp



Av. Tecnológico #1340 Fracc. El Crucero C.P.32340
Ciudad Juárez, Chihuahua. Tel. 01 (656) 688-2500
e-mail: comunicacion_y_difusion@cdjuarez.tecnm.mx
tecnm.mx | cdjuarez.tecnm.mx





**C. EDUARDO RAFAEL POBLANO OJINAGA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PRESENTE.**

Por medio de la presente se hace constar que la Tesis denominada **“DETERMINACIÓN DE DEMANDAS DE CLIENTES ANTICIPADAS CON LA UTILIZACIÓN DE MODELOS DE PRONÓSTICOS PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTO MÉDICO”**, que presenta el alumno **C. CARLOS ANTONIO FERNÁNDEZ MUÑOZ**, con número de control **M06110878**, para obtener el Grado de Maestro en Ingeniería Administrativa, ha sido revisada y aprobada en su forma y contenido por los suscritos, por lo que no existe ningún inconveniente para la impresión de la misma.

Se extiende la presente constancia a petición de la interesada y para los fines legales que a él mismo convengan, en Ciudad Juárez, Chihuahua, a los veintidós días del mes de noviembre del año dos mil veintiuno.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

**C. MANUEL ALONSO RODRÍGUEZ MORACHIS
DIRECTOR**

**C. LUZ ELENA TERRAZAS MATA
CO-DIRECTORA**

**C. FRANCISCO ZORRILLA BRIONES
REVISOR**

**C. JOSÉ LUIS ANAYA CARRASCO
REVISOR**

ccp. Coordinación de Titulación
Alumno



CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En Ciudad, Juárez, Chihuahua, México, siendo el día 23 de noviembre del año 2021, el que suscribe, Ing. Carlos Antonio Fernández Muñoz, alumno del Programa de la Maestría en Ingeniería Administrativa, con número de control M06110878, adscrito a la División de Estudios de Posgrado e Investigación, manifiesta que es el autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Manuel Alonso Rodríguez Morachis y cede los derechos del trabajo titulado "Determinación de Demandas de Clientes Anticipadas con la Utilización de Modelos de Pronósticos para la Planeación de la Producción de Producto Médico", al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el consentimiento expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: fernandezmunozcarlos@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Atentamente

ANTONIO FERNANDEZ

Ing. Carlos Antonio Fernández Muñoz

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todo el personal de posgrado por todas las facilidades brindadas para que estudiemos de una mejor manera.

Al personal docente que siempre da todo de ellos para brindarnos el conocimiento que ellos han adquirido durante su vasta experiencia y que día a día siguen enriqueciendo.

DEDICATORIA

A Dios, cada paso que doy va dedicado a él.

A mi esposa, Abril Dorado que no me permitió claudicar este último semestre que aun con todas las circunstancias que me han mantenido desconcertado, ella ha continuado alentándome.

A mi bebe Elías Leonardo Fernández Dorado espero que algún día pueda leer esta investigación y porque no, ser parte de la familia de las liebres del Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.

A mi familia, mis padres que me han apoyado demasiado, que aun a mis 33 años siguen estando ahí para mi en todos los aspectos. Con su ejemplo en valores, académico y laboral siempre nos llevan de la mano a ser mejores ciudadanos día a día.

A mis maestros, especialmente al Dr. Manuel Alonso Rodriguez Morachis y al Dr. Manuel Arnoldo Rodriguez Medina que cada semestre, desde mi inicio por ese camino de estudio han estado ahí para poner una semilla en mi con sus vastos conocimientos, espero algún día llegar a tener la inteligencia que los caracteriza.

Y por último quiero agradecerme a mí mismo, gracias a las herramientas que adquiriré durante este viaje lleven mi futuro y el de mi familia a un estado, profesional, económico y personal mejor y con esto poder ayudar a más personas mientras Dios me lo permita.

RESUMEN

Una buena planeación es esencial para cualquier industria manufacturera, aquí se tomarán las decisiones en todos los departamentos que consta cada empresa, desde recursos humanos, infraestructura, capacidad instalada, solo por mencionar algunos ejemplos. Esto depende en gran medida del conocimiento de la demanda de ventas que se tendrá en el periodo de planeación.

La presente investigación se realiza en una empresa maquiladora de producto médico en Ciudad Juárez, Chihuahua, su mayor problema es el desconocimiento de la demanda de forma anticipada, ocasionando problemas de inventarios, capacidad de producción y entrega a tiempo al cliente entre otros. A través del presente estudio se pretende analizar el comportamiento de ventas de uno de los productos con mayor oportunidad de mejora, buscando el mejor método de pronóstico y con esto ayudar a tener una planeación óptima.

El capítulo 1 presenta una breve introducción con la finalidad de conocer las características y la historia del problema de no conocer la demanda de forma anticipada y sus posibles repercusiones en cualquier empresa.

El capítulo 2 se enfoca en la empresa donde se realizó la investigación, se plantean los antecedentes, descripción del problema, hipótesis, pregunta de investigación y los objetivos de esta investigación.

En el capítulo 3 se detalla la bibliografía consultada, así como una breve descripción del proceso de planeación y se mencionan algunos métodos de pronóstico, principalmente cuantitativos, ya que esta investigación se centra en el

análisis de datos históricos de demanda y tiene por objetivo la determinación del método óptimo de pronóstico para el producto estudiado.

El capítulo 4 describe las herramientas que se utilizaron para realizar el análisis de los datos recabados, así como la metodología utilizada y la descripción del proceso de investigación para lograr la selección de un método de pronóstico adecuado.

En el capítulo 5 se muestra el análisis de datos realizado con 4 diferentes métodos de pronósticos cuantitativos, seleccionados mediante el análisis del comportamiento histórico de la demanda y los resultados obtenidos. Después del análisis se seleccionó el método suavización exponencial simple ya que presenta un comportamiento muy parecido a la demanda real.

El capítulo 6 finaliza esta investigación mostrando las conclusiones obtenidas en base al conocimiento adquirido durante la investigación y también recomendaciones para que la metodología continúe funcionando de forma correcta.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.	v
DEDICATORIA.	vi
RESUMEN.	vii
CONTENIDO.	ix
LISTA DE TABLAS.	xii
LISTA DE FIGURAS.	xiii
1. INTRODUCCIÓN.	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	3
2.1. Antecedentes.	3
2.2. Descripción del Problema.	6
2.3. Preguntas de Investigación.	6
2.4. Hipótesis.	7
2.5. Objetivos.	7
2.5.1. Objetivo General.	7
2.5.2. Objetivo Específico.	7
2.6. Justificación.	7
2.6.1 Supuestos.	8
2.7. Delimitaciones.	8
3. MARCO TEÓRICO.	9
3.1. Cadena de Suministro.	9
3.1.1 Fabricación para Almacenamiento (<i>Make to Stock</i>).	10
3.1.2 Armado Bajo Pedido.	11
3.1.3 Fabricación Bajo Pedido.	11
3.2 Demanda.	11
3.2.1 Administración de la Demanda.	11
3.2.2 Tipos de Demanda.	12
3.2.2.1 Demanda Estable.	12
3.2.2.2 Demanda Ascendente, Descendente.	13

3.2.2.3 Demanda Cíclica.	14
3.3 Planeación y Control de la Producción (PCP).	15
3.3.1 Niveles de Planeación.	16
3.3.1.1 Planeación Estratégica.	17
3.3.1.2 Planeación Táctica.	18
3.3.1.3 Planeación Operacional.	18
3.4 Pronóstico de la Demanda.	19
3.4.1 Características del Pronóstico.	20
3.4.2 Factores que Influyen en el Pronóstico.	21
3.4.3 Proceso de la Generación de Pronóstico.	22
3.5 Pronósticos Cualitativos.	24
3.5.1 Método Delphi.	24
3.5.2 Método de Investigación de Mercado.	25
3.6 Pronósticos Cuantitativos.	26
3.6.1 Métodos Causales.	27
3.6.1.1 Análisis de Regresión.	27
3.6.1.2 Desviación Estándar de la Regresión.	29
3.6.1.3 Correlación.	30
3.6.1.4 Modelos de Entrada-Salida (Redes Neuronales Artificiales).	30
3.6.2 Métodos de Series de Tiempo.	31
3.6.2.1 Promedio Móvil.	32
3.6.2.1.1 Promedio Móvil Simple.	32
3.6.2.1.2 Promedio Móvil Ponderado.	33
3.6.2.2 Suavización Exponencial.	35
3.6.2.3 Suavización Exponencial Doble (Modelo de Holt).	37
3.6.2.4 Suavización Exponencial Triple (Modelo de Winters).	39

3.7 Monitoreo y Medición del Error en Pronósticos.	42
4. MATERIALES Y MÉTODOS.	47
4.1. Materiales.	47
4.2. Métodos.	48
4.2.1 Tipo de Investigación.	48
4.2.2 Método de Investigación.	49
4.2.2.1 Identificación y Planteamiento del Problema.	50
4.2.2.2 Recolección de Datos Históricos.	51
4.2.2.3 Análisis de la Demanda.	51
4.2.2.4 Prueba de Métodos Cuantitativos de Pronostico.	54
4.2.2.5 Medición del Error y Selección del Pronostico Adecuado.	57
4.2.2.6 Seguimiento y Verificación de la Técnica y Resultados	59
4.3 Planteamiento de la Hipótesis Estadística	59
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	61
5.1 Resultados Obtenidos	61
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	80
6.1. Conclusiones.	80
6.2. Recomendaciones.	81
BIBLIOGRAFÍA.	82
ANEXOS	86
Anexo A Resultados Suavización Exponencial Simple	87
Anexo B Resultados Suavización Exponencial Doble	89
Anexo C Resultados Método Winters	92

LISTA DE TABLAS.

Tabla 2.1 Número de Unidades que Deben Producirse Día con Día	5
Tabla 4.1 Fases del Método de Investigación.	50
Tabla 5.1 Resultados por Promedios Móviles.	64
Tabla 5.1 Resultados de Pronóstico Contra Demanda.	79

LISTA DE FIGURAS.

Fig. 2.1 Indicador Entrega a Tiempo Semana a Semana	4
Fig. 2.2 Gráfica de Ordenes Abiertas Vencidas	6
Fig. 3.1 Gráfica de Demanda Estable	13
Fig. 3.2 Gráfica de Demanda Ascendente Descendente	13
Fig. 3.3 Gráfica de Demanda Cíclica	14
Fig. 3.4 Diagrama del Proceso de Selección de Método de Pronóstico	23
Fig. 3.5 Descripción del Modelo Análisis de Regresión	28
Fig. 4.1 Ejemplo de Gráfico con Tendencia Ajustado a una Recta.	52
Fig. 4.2 Ejemplo de Gráfico con Estacionalidad	53
Fig. 4.3 Ejemplo de Gráfico con Estacionalidad y Ciclicidad.	54
Fig. 5.1 Gráfico de Series de Tiempo de Demanda Ajustado a un Modelo de Regresión Lineal.	63
Fig. 5.2 Gráfico de Series de Tiempo de Demanda Ajustado a un Modelo de Regresión Lineal sin periodos de COVID 19.	63
Fig.5.3 Gráfico de Promedios Móviles a 3 Periodos.	65
Fig.5.4 Gráfico de Suavización Exponencial Simple con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.7$.	66
Fig.5.5 Gráfico de Suavización Exponencial Simple con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.8$.	66
Fig.5.6 Gráfico de Suavización Exponencial Simple con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.9$.	67
Fig. 5.7 Gráfico de Suavización Exponencial Doble con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.70$ y $\beta = 0.10$.	68
Fig. 5.8 Gráfico de Suavización Exponencial Doble con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.70$ y $\beta = 0.20$.	68
Fig. 5.9 Gráfico de Suavización Exponencial Doble con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.80$ y $\beta = 0.10$.	69

Fig. 5.10 Gráfico de Suavización Exponencial Doble con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.80$ y $\beta = 0.20$.	69
Fig. 5.11 Gráfico de Suavización Exponencial Doble con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.90$ y $\beta = 0.10$.	70
Fig. 5.12 Gráfico de Suavización Exponencial Doble con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.90$ y $\beta = 0.20$.	70
Fig. 5.13 Gráfico de Método Winters con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.70$, $\beta = 0.10$ y $\delta = 0.10$.	71
Fig. 5.14 Gráfico de Método Winters con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.70$, $\beta = 0.20$ y $\delta = 0.10$.	72
Fig. 5.15 Gráfico de Método Winters con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.80$, $\beta = 0.10$ y $\delta = 0.10$.	72
Fig. 5.16 Gráfico de Método Winters con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.80$, $\beta = 0.20$ y $\delta = 0.10$.	73
Fig. 5.17 Gráfico de Método Winters con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.90$, $\beta = 0.10$ y $\delta = 0.10$.	73
Fig. 5.18 Gráfico de Método Winters con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.90$, $\beta = 0.20$ y $\delta = 0.10$.	74
Fig. 5.19 Resultado de la Prueba de Normalidad Anderson-Darling.	77
Fig. 5.20 Resultado de la Prueba T de Dos Muestras.	77
Fig. 5.21 Diagrama de Cajas de Comparación de Medias.	78
Fig. 5.22 Resultado de la Prueba de Hipótesis Dos Varianzas.	78
Fig. 5.23 Resultados Gráficos de la Prueba de Hipótesis de Dos Varianzas.	79

1. INTRODUCCIÓN

“Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre” William Thomson Kelvin (Lord Kelvin), (1824 – 1907).

La estandarización de procesos es la parte más importante en los sistemas de mejora continua. Con la estandarización se busca determinar la mejor manera de realizar las operaciones y obtener un nivel de calidad homogéneo, productos estándares y una mayor eficiencia en el proceso. La finalidad de la estandarización es la formulación de reglas que permitan el desarrollo ordenado de una actividad para que todos los actores que participan del sector obtengan un beneficio de dicho ordenamiento. La demanda de información para la planificación y el control aparentemente surgió en la primera mitad del siglo XX cuando las empresas, como las fábricas de textiles y ferrocarriles, tuvieron que diseñar procedimientos administrativos internos para coordinar los múltiples procesos involucrados en el desempeño de su actividad básica (la conversión de materias primas en productos terminados por las fábricas textiles, el transporte de pasajeros y la carga por los ferrocarriles (Kaplan 1986).

La planificación de la producción establece lo que puede ser fabricado con los recursos que se dispone y sus necesidades; es uno de los procesos más importantes en el día a día de las empresas de manufactura.

A su vez, permite conocer las horas de trabajo necesarias para producir, los movimientos de inventario, lo necesario para embarcar el producto terminado y el desgaste que se presentara de las maquinas involucradas en los distintos procesos de producción, esto solo por mencionar algunas variables que dependen de este proceso.

Debido a esto es importante tener un proceso estándar que guíe a los planeadores de producción a llevar a cabo su tarea de manera sistemática involucrando todo lo necesario para que se tomen decisiones eficientes que mejoren la productividad y reduzcan costos en los diferentes procesos.

Para una planeación eficiente es indispensable contar con datos confiables de la demanda futura, al contar con demandas inciertas una forma de obtener datos asertivos es mediante modelos de pronóstico.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se establece el planteamiento y la definición del problema, la situación problemática actual, las limitantes de la investigación y el objetivo que se persigue en el marco de la investigación.

2.1. Antecedentes

El presente proyecto se realiza en una empresa de producto médico que cuenta con operaciones de manufactura en varios países, entre ellos Estados Unidos, China, Corea del Sur, Japón, Alemania, Noruega, Finlandia, Brasil, México. El presente trabajo está enfocado en una planta de manufactura en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, en el área de electrónicos en las celdas que por su naturaleza solo manufacturan un tipo de producto.

A medida que el negocio ha evolucionado, la complejidad de la planeación de producción se ha incrementado, teniendo que considerar variables que antes no se contemplaban, entre las cuales es posible mencionar escalaciones, tiempo de espera, falta de material, mano de obra y priorización de órdenes.

La situación actual de la empresa reflejada en los métricos de la compañía no es alentadora, estando por debajo del 50% de órdenes entregadas a tiempo a los diferentes clientes, ya sean cliente final u otro sitio de manufactura dentro de la misma compañía.

En la figura 2.1 se observa el comportamiento del indicador de embarque a tiempo por semana a través del tiempo de 13 semanas.

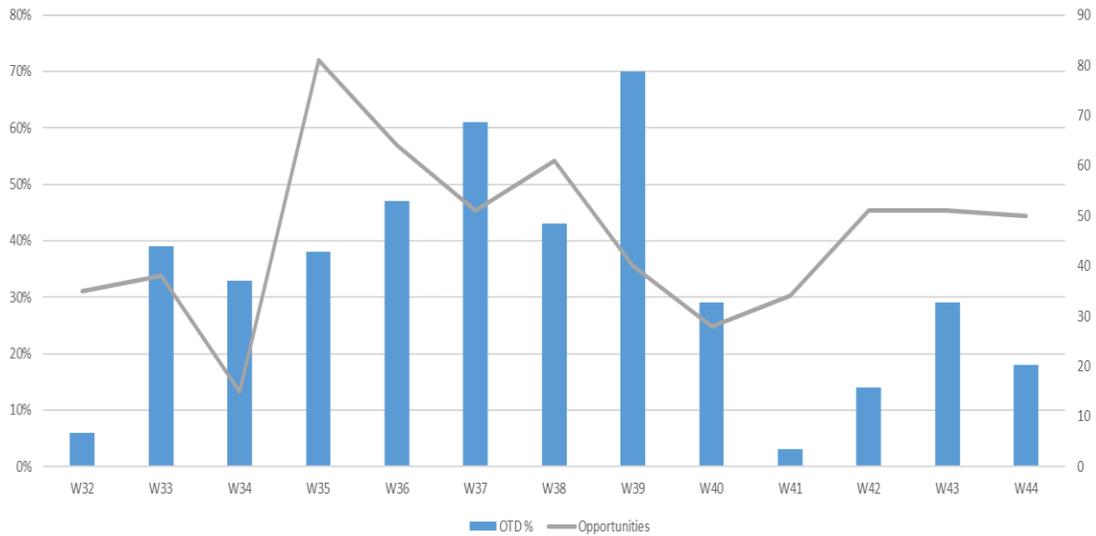


Fig. 2.1 Indicador Entrega a Tiempo Semana a Semana

Una de las principales razones por las cuales la organización experimenta en este tipo de problemática es por una mala planeación de producción, siendo creada de forma no sistematizada, basándose en la experiencia del planeador de producción, debido a que no se cuenta con una fuente confiable de los requerimientos de los clientes con antelación.

Debido a lo anterior, al planeador de producción solo le es posible generar el plan para el día en curso, muchas veces de forma ineficiente, ya que algunas ocasiones se excede la capacidad de la línea lo que genera tiempo extra innecesario.

En la tabla 2.1 se observa un extracto de la planeación en la que se observa la planeación diaria que se entrega a producción, mostrando unos días sobreproducción y otros una planeación inferior a la capacidad de la línea, la cual es de 96 unidades por día.

Tabla 2.1 Número de Unidades que Deben Producirse Día con Día

Fecha	Ordenes	Unidades
25-Sep	72	612
23-Sep	21	150
22-Sep	4	64
21-Sep	6	53
20-Sep	18	120
19-Sep	2	150
18-Sep	9	24
17-Sep	8	51

A su vez, al intentar mejorar el métrico de entrega a tiempo, el planeador de producción erróneamente hace caso omiso a ordenes vencidas, quedando rezagadas ocasionando quejas del cliente ya que su producto no estuvo a tiempo. Cabe mencionar que al ser producto médico hay vidas que dependen de que el producto esté en el lugar correcto el día que se solicitó. En la figura 2.2 se puede observar un ejemplo del valor monetario de las órdenes abiertas vencidas de 13 días.

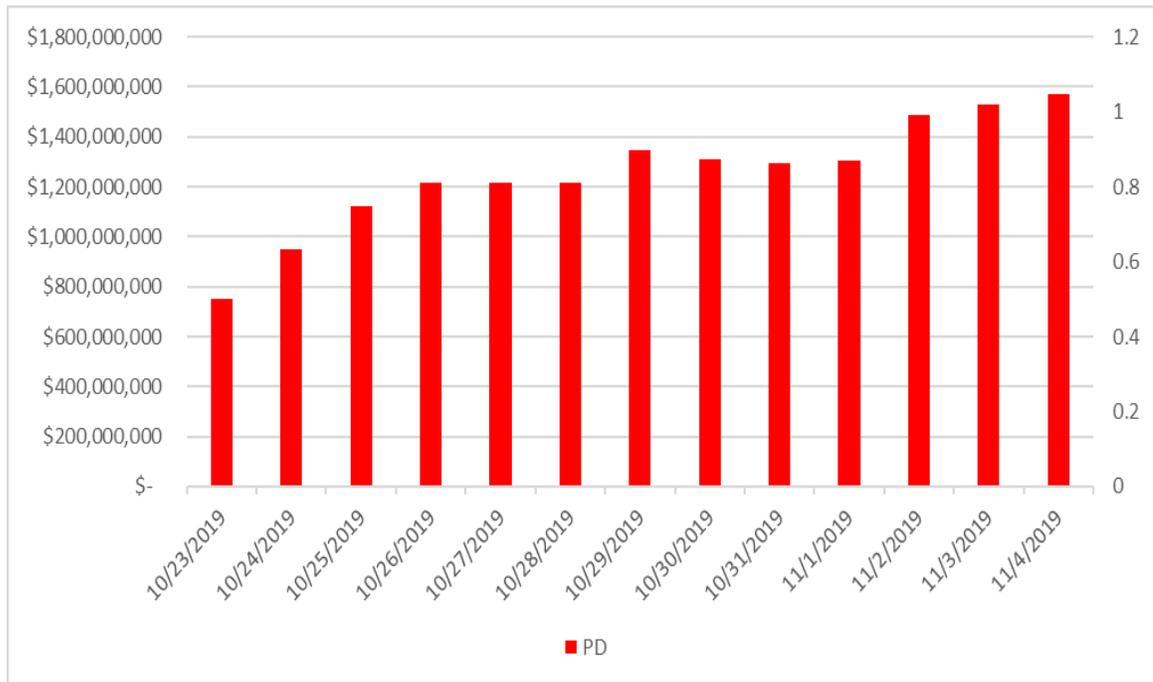


Fig. 2.2 Gráfica de Órdenes Abiertas Vencidas

2.2. Descripción del Problema

No existe una metodología para establecer una demanda confiable de los clientes, por lo que se planea la producción de acuerdo con la experiencia de los planeadores de producción, generando un plan de producción impreciso que no se puede cumplir, con la consecuente inconformidad de los clientes.

2.3 Pregunta de Investigación.

¿Cuál es la metodología de pronósticos más apropiada y confiable para determinar los requerimientos de los clientes que ayude a efficientizar los planes de producción?

2.4 Hipótesis

La metodología de pronósticos cuantitativos determinará la demanda de los clientes de una manera confiable y eficiente para elaborar los planes de producción.

2.5 Objetivos.

A continuación, se describe el objetivo de la presente investigación.

2.5.1 Objetivo General

Implementar un modelo de pronósticos para la elaboración de un plan de producción confiable que satisfaga los requerimientos de los clientes.

2.5.2 Objetivos Específicos

- a) Analizar con cuál método de pronósticos cuantitativos se obtiene una demanda confiable y con el menor error de pronóstico.
- b) Mejorar significativamente el indicador de entrega a tiempo.
- c) Reducir de manera importante el número de ordenes vencidas.

2.6 Justificación

Esta investigación se justifica en el hecho de que no existe una metodología sistemática y confiable para determinar la demanda de los clientes repercutiendo en la inexacta planeación de la producción.

2.6.1 Supuestos

- a) La información alojada en las bases de datos en los servidores de la compañía es confiable.
- b) La capacidad de la línea de producción es la que menciona el equipo de Ingeniería.

2.7 Delimitaciones

El proyecto de investigación se llevará a cabo en el área de electrónicos de una empresa de producto médico en Ciudad Juárez.

El presente estudio solo comprenderá las líneas de producción donde se manufactura el producto a analizar.

3. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se muestra el marco teórico de la investigación, la literatura revisada para la realización del estudio para lograr un pronóstico de la demanda eficiente.

3.1 Cadena de Suministro

Una cadena de suministro se compone de todas las partes involucradas, directa o indirectamente, para satisfacer la petición de un cliente. Se incluye tanto al fabricante y proveedores como a los transportistas, almacenistas, vendedores hasta llegar al cliente mismo (Chopra y Meindl, 2013).

Para Serrato-Córdova y Rodríguez-Morachis (2014), una cadena de suministros es la secuencia de eventos o procesos que abarcan el ciclo de vida de un producto; empezando desde que el material es materia prima no procesada hasta que se convierte en producto terminado y llega al cliente final.

La cadena de suministro se compone de varias etapas entre las cuales se encuentran:

- a. Clientes
- b. Detallistas
- c. Mayoristas
- d. Fabricantes
- e. Proveedores de componentes y materia prima

Estas etapas están conectadas por un flujo constante de información, productos y fondos; los cuales ocurren en ambas direcciones. El objetivo de la cadena de suministro es maximizar el valor total agregado, que es el valor económico adicional que adquieren los bienes y servicios al ser transformados dentro de un proceso productivo.

De acuerdo con lo anterior, se requieren aplicar algunos principios fundamentales de planeación, en donde se busque maximizar la utilidad de cada una de las etapas de la cadena de suministro y a su vez controlar el proceso que lo origina.

Según Chapman (2006), el diseño del sistema de planificación y control se verá afectado por diferentes factores, entre los cuales podemos mencionar el volumen, la variedad de producción esperada, que, a su vez, tienden a ser definidos por la influencia que el cliente ejerce en el diseño del producto o servicio. El grado de influencia del cliente tiende a describirse en las siguientes categorías:

3.1.1 Fabricación para Almacenamiento (*Make to Stock*).

El cliente solo tiene que tomar una decisión; comprarlo o no comprarlo, este comportamiento genera patrones de compra que pueden influir en el diseño del producto.

3.1.2 Armado Bajo Pedido

El productor ensamblara las opciones predefinidas que el cliente seleccione para formar el producto final que el cliente desea.

3.1.3 Fabricación Bajo Pedido

Esta condición permite que el cliente especifique el diseño exacto del producto o servicio final, con materia prima y componentes estándar.

3.2 Demanda

Es la cantidad total de un bien o servicio que los clientes desean adquirir. La demanda está determinada principalmente por el precio de los bienes o servicios, oferta o disposición de los bienes o servicios, lugar donde los bienes son ofrecidos, capacidad de pago del demandante y los deseos o necesidades tanto básicas como secundarias de los clientes (Peiro, 2015).

3.2.1 Administración de la Demanda

El propósito de la gestión de la demanda es coordinar y controlar todas las fuentes de la demanda, con el fin de poder usar con eficiencia el sistema productivo y entregar el producto a tiempo. Existen dos fuentes básicas de demanda: demanda dependiente y demanda independiente.

La demanda dependiente es la que es provocada por la demanda de otros productos o servicios y la demanda independiente es la que no es consecuencia de otros productos o servicios.

La gestión de la demanda se genera a corto, mediano y largo plazo. En corto plazo es necesario para artículos específicos, en el mediano plazo se pretende proyectar nuevas demandas para la planeación de la producción y en el largo plazo se realizan proyecciones para la proyección estratégica del negocio.

3.2.2 Tipos de Demanda

A continuación, se describen diferentes tipos de patrones de demanda que están presentes en la industria.

3.2.2.1 Demanda Estable

Se caracteriza por poseer en su historial de ventas la tendencia en una recta horizontal, las ventas reales del producto son constantes presentando variaciones en un determinado periodo de tiempo muy pequeños (Sanchez-Orochena, 2004). La figura 3.1 muestra un comportamiento de la demanda estable.

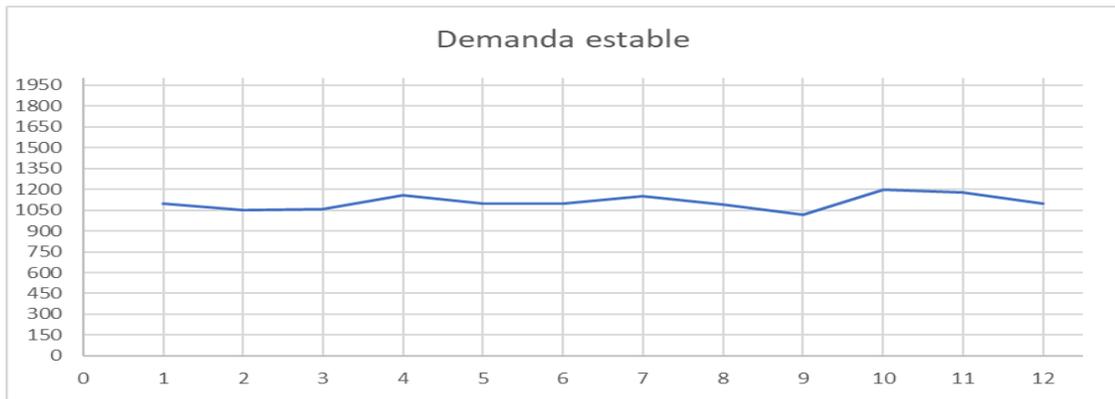


Fig. 3.1 Gráfica de Demanda Estable

3.2.2.2 Demanda Ascendente, Descendente

En este tipo de demanda no se posee estabilidad, sino un comportamiento ascendente o descendente según corresponda, para generar un modelo de pronóstico se pueden utilizar métodos de regresión (Sanchez-Orochena, 2004). La tendencia de estos tipos de demanda se puede observar en la figura 3.2

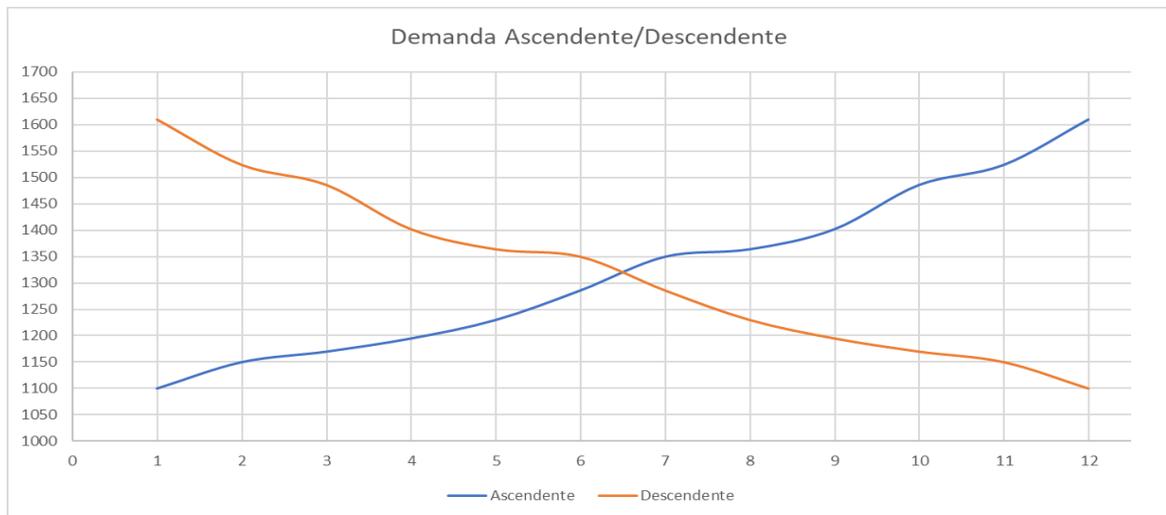


Fig. 3.2 Gráfica de Demanda Ascendente Descendente

3.2.2.3 Demanda Cíclica

La principal característica de este tipo de demanda, como su nombre lo indica, existe un patrón repetitivo en determinado periodo de tiempo, ya sea por circunstancias climáticas o estacionales y están formados por movimientos ascendentes o descendientes de la demanda que se repiten con regularidad en periodos de menos de un año. Para obtener un pronóstico para este tipo de demandas, es correcto utilizar el método de promedios móviles, método de suavización exponencial, método Holt-Winters, o método estacional multiplicativo (Sanchez-Orochena, 2004). En la figura 3.3 se puede observar la tendencia de las curvas de este tipo de demanda.

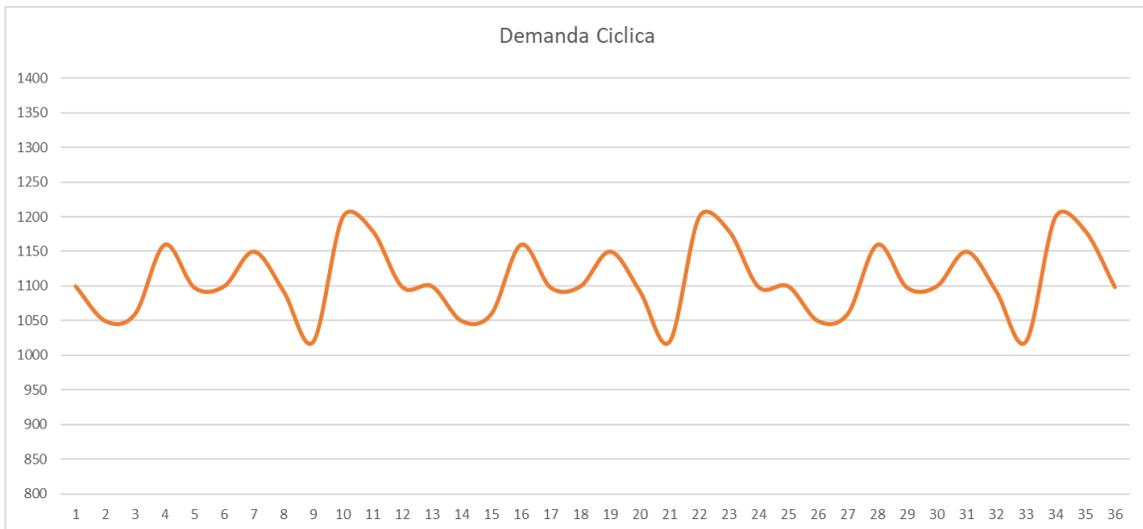


Fig. 3.3 Gráfica de Demanda Cíclica

3.3 Planeación y Control de la Producción (PCP)

La planeación es un componente de cualquier organización de manufactura que interactúa con el resto de la organización, las decisiones en ella tomadas afectan la producción y viceversa. Dentro de esta actividad se determina lo que es necesario producir de acuerdo con las necesidades del mercado y con esto los recursos necesarios para lograr la producción determinada, ya sean recursos humanos, maquinaria, lugar entre otros.

El pronóstico de la demanda de los clientes inicia la actividad de PCP. Las compras comunican al sistema de producción los insumos proporcionados por los proveedores externos. La planeación a largo plazo garantiza que la capacidad futura será adecuada para cumplir con la demanda futura, y puede incluir equipo, personal y también materiales. Esta decisión se toma con la ayuda de una técnica llamada planeación agregada. La planeación de la producción transforma los pronósticos de demanda en un plan maestro de producción, el cual toma en cuenta la disponibilidad global de capacidad y materiales (Paredes-Roldan, 2001).

La planeación detallada genera los requerimientos inmediatos de los materiales y la capacidad, y realiza una programación de la producción a corto plazo. Adicionalmente, la administración del inventario mantiene y controla la materia prima, el trabajo en proceso y los bienes terminados. La estimación y control de costos y el seguimiento de la calidad incluyen todas las componentes del sistema de producción.

Cada proceso tiene una meta específica. Se mide la salida del proceso actual y se compara con la meta. Cualquier desviación retroalimenta al proceso o su entrada. El control de la desviación hace que cambie el proceso o la entrada. Las funciones principales de PCP son establecer las metas y medir las desviaciones. La esencia de la planeación y control de la producción consiste en la administración de las desviaciones al mismo tiempo que las metas son consistentes con las de la organización (Sipper y Bulfin, 1998).

Desde un punto de vista panorámico, la planificación empresarial es un proceso jerárquico donde la planeación constituye la primera etapa del proceso administrativo, y el control constituye la última.

De acuerdo con Garza-Ríos y Gonzalez-Sanchez (2004), el proceso de planificación incluye los pronósticos de ventas y pedidos, la planificación de la producción y la correspondencia de las futuras demandas de los clientes a los suministros disponibles.

3.3.1 Niveles de Planeación

La planeación trata de responder las preguntas que, cuando y como y tiene lugar en tres niveles: planeación estratégica, táctica y operativa.

3.3.1.1 Planeación Estratégica.

Según Chiavenato (2001), este tipo de planeación es la que se encarga de generar, como su nombre lo indica, la estrategia empresarial que es la determinación de la posición futura de la empresa, en especial frente a sus productos y mercados, su rentabilidad, su tamaño, su grado de innovación y sus relaciones con sus empleados e instituciones externas. Esta planeación se considera de largo alcance, donde el horizonte de tiempo es mayor a un año y se elabora a partir de tres actividades básicas:

- a. Análisis ambiental: Conocer el ambiente externo, diagnosticar qué ocurre en relación con las necesidades, oportunidades, recursos disponibles, dificultades y restricciones.
- b. Análisis organizacional: Análisis y diagnóstico de las condiciones internas de la empresa ya sea recursos financieros y contables, mercadológicos, productivos y humanos para conocer fortalezas y debilidades, explorando las oportunidades y cómo es posible enfrentar las dificultades que el ambiente genera. En esta actividad se genera la misión y visión organizacionales, objetivos y su jerarquía de importancia.
- c. Formulación estratégica: Toma de decisiones que producirán efectos en el futuro de la empresa, en un determinado periodo de tiempo que debe considerarse a largo plazo.

3.3.1.2 Planeación Táctica

Este nivel de planeación es un proceso permanente y continuo, está estrechamente ligado a la previsión y está proyectada al futuro, por consiguiente, es iterativa, se deben hacer ajustes y correcciones de acuerdo con los cambios que van ocurriendo. Se desarrolla a nivel medio de la empresa, está dimensionada a mediano plazo, periodos de tiempo menores a un año por lo general y las decisiones implicadas dentro de la planeación táctica abarcan solo departamentos de la empresa (Chiavenato, 2001).

3.3.1.3 Planeación Operacional

Los planes operativos, comúnmente llamados programas, son llevados a cabo por administradores de primera línea y se vinculan con las tareas diarias, esto quiere decir que se basan en cumplimiento de objetivos de corto plazo. Se refiere a las tareas y operaciones realizadas en el nivel operacional

Según Chiavenato (2001), los planes operacionales se pueden clasificar en cuatro clases:

- a. Planes relacionados con métodos, procedimientos.
- b. Planes relacionados con dinero, presupuestos
- c. Planes relacionados con tiempo, programas o programación
- d. Planes relacionados con comportamiento, denominados reglamentos.

3.4 Pronóstico de la Demanda

Según Heizer y Render (2009), pronosticar es el arte y la ciencia de predecir los eventos futuros. Puede implicar el empleo de datos históricos y su proyección hacia el futuro mediante un modelo matemático, una predicción subjetiva o intuitiva o una combinación de estas.

De acuerdo con Thomas Manzano et al. (2017), un pronóstico puede definirse como el resultado de la aplicación de un método de predicción, en el que partiendo de determinadas series de datos se formula una “proyección” en el futuro con el objetivo de evaluar la ocurrencia probable de cualquier acontecimiento o el desarrollo de una tendencia.

Rodriguez-Coy y Rodriguez-Morachis (2010) mencionan que en contextos industriales, la demanda es cada vez es más incierta, además de que numerosos factores se han encontrado en tal fenómeno, debido a que se quiere cumplir con la satisfacción del cliente.

Según Gardner y Acar (2010), pronosticar es una importante determinante del rendimiento operacional. De aquí depende el desarrollo correcto de la producción, inventarios en niveles aceptables y planes de logística que minimizarán el costo total de la cadena de suministro.

Para Kandananond (2012), la exactitud de los pronósticos afecta significativamente el rendimiento en general de toda la cadena de suministro. Cada departamento genera su proceso en respuesta de la señal de demanda. La exactitud del pronóstico mejorará significativamente la planeación de la

producción, planeación de la capacidad, planeación de los requerimientos de materiales y niveles de inventario.

El punto de inicio de la mayoría de los sistemas de planificación es la demanda real o esperada de los clientes; sin embargo, el tiempo necesario para producir y entregar el producto excederá su expectativa del cliente. Para evitar entregas tardías, la producción debe iniciar antes de que se conozca la demanda real, surgiendo el concepto de demanda esperada o de pronóstico de la demanda (Chapman, 2006). Los pronósticos de la demanda forman la base de toda la planeación de la cadena de suministro (Chopra y Meindl, 2013).

Según Ballou (2004), el pronóstico de los niveles de demanda es vital para las empresas, ya que proporciona los datos de entrada para la planeación y control de todas las áreas funcionales. Los niveles de demanda afectan en gran medida los niveles de capacidad, las necesidades financieras y la estructura general del negocio.

3.4.1 Características del Pronóstico

Sin importar el propósito del sistema para el cual se utilizará el pronóstico es importante comprender las características fundamentales de los pronósticos:

- a. Los pronósticos casi siempre son incorrectos, es importante concentrar la atención en qué tan equivocado se espera que sea y plantear el darle cabida al error del pronóstico.

- b. Los pronósticos agregados son más exactos, son más precisos para grupos o familias de artículos que para una sola familia, debido a que la variación del promedio de una colección de variables aleatorias independientes distribuidas de manera idéntica es menor que la variación de cada una de las variables aleatorias.
- c. Son imprecisos, por lo tanto, deben incluir su valor esperado como una medida de error del pronóstico.
- d. Los pronósticos son más precisos cuando se hacen para periodos cortos, ya que tienen una menor desviación estándar del error en relación con la media de los pronósticos para periodos largos.
- e. Los pronósticos no deben usarse para excluir información conocida. Si se cuenta con la información de la demanda real para un periodo dado, no deben realizarse cálculos en el proceso para ese mismo marco temporal.

3.4.2 Factores que Influyen en el Pronóstico

Una compañía debe estar al tanto de numerosos factores relacionados con el pronóstico, entre los cuales se puede mencionar la demanda pasada, tiempo de espera en el reabastecimiento del producto, publicidad planeada o esfuerzos de marketing, descuentos de precios planeados, estado de la economía y las acciones que los competidores han realizado (Chopra, 2013). Es importante conocer tales factores para poder seleccionar un método de pronóstico adecuado.

Según Sipper y Bulfin (1998), los pronósticos proporcionan información para tomar mejores decisiones. El primer paso es identificar qué decisión tomar, si la decisión no se afecta por el pronóstico, este es innecesario. La importancia de la decisión sugerirá el esfuerzo que debe realizarse a producir un pronóstico.

3.4.3 Proceso de la Generación de Pronóstico

La clave para entender los problemas de pronósticos es comprender el proceso. Para la demanda de un artículo es imposible conocer por completo el proceso, por lo que solo se puede esperar conocerlo cada vez mejor y hacer las suposiciones necesarias para crear los pronósticos. Para crear el pronóstico se examinan las características del problema, se analizan los datos y se establece una meta (Sipper y Bulfin, 1998). En la figura 3.4 se observa un diagrama de flujo para el diseño de un sistema de pronóstico.

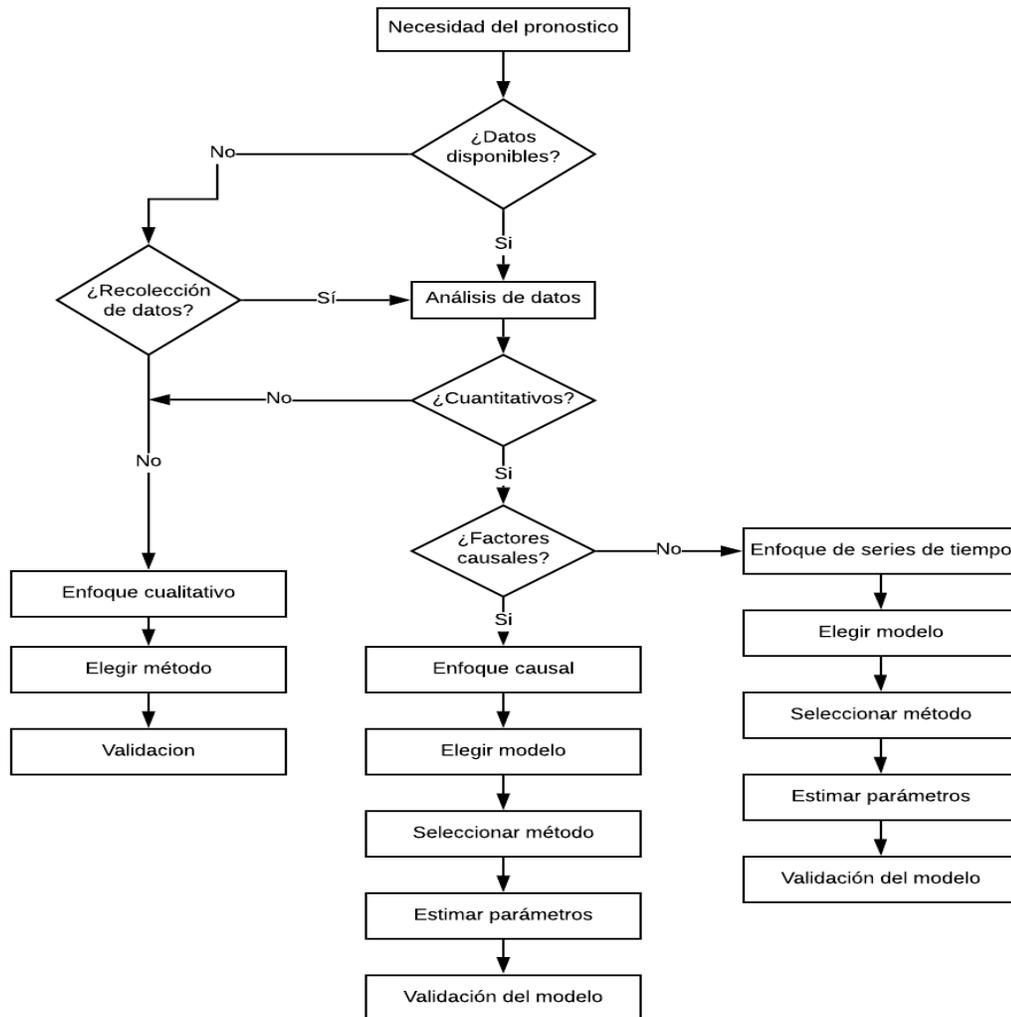


Fig. 3.4 Diagrama del Proceso de Selección de Método de Pronóstico

Perez et al. (2012) encontraron que el modelo adecuado de pronóstico para puntos de venta de una empresa de productos de consumo masivo también depende de los productos en cada sitio de distribución y particularidades en la rotación, por ende, es necesario un modelo de pronóstico para cada punto de venta.

3.5 Pronósticos Cualitativos

Los pronósticos cualitativos son aquellos que se generan a partir de información que no tiene estructura analítica definida y se apoyan en el juicio humano. Son apropiados cuando no se dispone de suficientes datos históricos o cuando los expertos cuentan con datos de investigación del mercado que pueden afectar el pronóstico.

3.5.1 Método Delphi

Según Hanke y Wichern (2010), este método se usó por primera vez en la Fuerza Aérea de los Estados Unidos en la década de 1950, pretendiendo eliminar el aspecto dinámico de las deliberaciones de los pronosticadores. En la primera ronda del método, los expertos respondieron por escrito las preguntas planteadas por un equipo de investigación de la organización. Luego, el equipo hizo un resumen de los comentarios de los participantes y lo entregó a éstos por correo. Los participantes estaban entonces en posibilidad de leer las reacciones de los demás y de defender su punto de vista original o de modificarlo con base en las opiniones de los otros.

Este proceso continúa durante dos o tres rondas más hasta que los diversos puntos de vista desarrollados cuidadosamente satisfacen a los investigadores. Este método se usa para elaborar pronósticos a largo plazo de la demanda de productos y proyecciones de ventas de los nuevos productos (Krajewski et al. 2008).

Según Velázquez-Galvis et al. (2013), para la práctica de este método es necesario realizar un cuestionario adecuado y una buena selección de expertos. En la elaboración del cuestionario se deben tener presentes mecanismos que reduzcan los sesgos en las respuestas, las preguntas deben ser cuantitativas para el cálculo estadístico y cualitativas para la justificación de la opinión de los expertos. Al seleccionar los expertos se debe tener un mínimo y un máximo y se debe ponderar su calidad de acuerdo con su experiencia.

Para Graefe y Armstrong (2011), en situaciones donde no se tiene información apropiada o disponible, es necesario incorporar el juicio humano para mejorar el pronóstico. Después de estudiar diversas técnicas cualitativas de pronóstico, el método Delphi fue el que mayor precisión tuvo en juicios cuantitativos.

3.5.2 Método de Investigación de Mercado

Según Krajewski et al. (2008), consiste en un método sistemático para determinar el grado de interés del consumidor externo por un producto o servicio, mediante la creación y puesta a prueba de diversas hipótesis por medio de encuestas encaminadas a la obtención de datos.

Sipper y Bulfin (1998) mencionan que después de desarrollar las preguntas de la encuesta, es necesario llevarla a cabo. El medio de comunicación que se elija puede afectar el número como la calidad de las respuestas, así que, es

importante planear con cuidado el número y localización de los clientes potenciales que responderán la encuesta.

Recientemente se han propuesto ampliaciones y modificaciones a las técnicas de investigación de mercados, usando la información de base de datos de clientes existentes para aumentar la investigación y modificando el procedimiento para tomar en cuenta el efecto cruzado sobre la demanda de productos similares cuando se lanza un nuevo producto.

Berg et al. (2008) utilizaron este método para pronosticar las elecciones presidenciales de los Estados Unidos de 1988 hasta 2004 teniendo un 74% de cercanía al resultado real de cada elección.

Piñón-Gonzalez y Filgueiras-Nodar (2018) utilizaron el método de investigación de mercado mediante encuestas para pronosticar la demanda de turismo espacial suborbital en México para los próximos 10 años. En este artículo se pueden observar elementos de incertidumbre, al no existir información de este tipo de servicio.

3.6 Pronósticos Cuantitativos

Hanke y Wichern (2010) mencionan que los métodos de pronósticos cuantitativos no necesitan el juicio como entrada, pues se trata de procedimientos mecánicos para producir resultados cuantitativos, se dividen en métodos causales y métodos de líneas del tiempo.

3.6.1 Métodos Causales

La premisa básica sobre la que se construyen los métodos causales para pronósticos es que el nivel de la variable pronosticada se deriva del nivel de otras variables relacionadas. En la medida que puedan describirse relaciones adecuadas de causa y efecto, los modelos causales suelen ser buenos para anticipar cambios mayores en los métodos de series del tiempo (Ballou, 2004).

Krajewski et al. (2008) mencionan que los métodos causales utilizan datos históricos de variables independientes, como campañas de promoción, condiciones económicas y actividades de los competidores para pronosticar la demanda. Dado que se basan en información externa, los métodos de pronóstico causales en ocasiones se denominan pronósticos extrínsecos.

3.6.1.1 Análisis de Regresión

Es un método estadístico para desarrollar una relación analítica definida entre dos o más variables. El modelo básico de regresión es una función de una sola variable independiente y, por lo tanto, la relación teórica es una línea recta. En la figura 3.5 se observa en el plano cartesiano la descripción de este modelo.

$$Y = a + bX \quad (3.1)$$

Donde:

Y = Variable dependiente

X = Variable independiente

a = Intersección de la recta con el eje Y

b = Pendiente de la recta

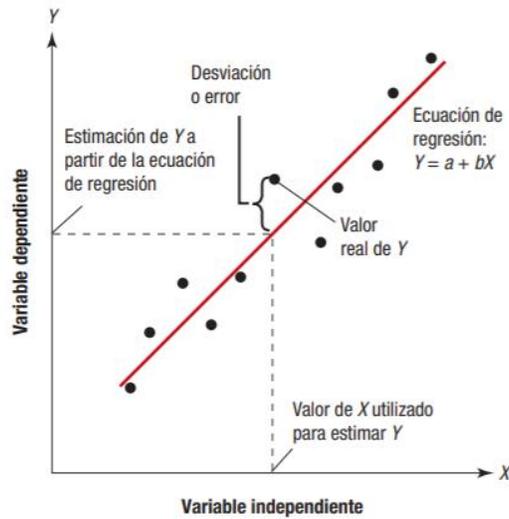


Fig. 3.5 Descripción del Modelo Análisis de Regresión. (fuente Krajewski et al. 2008)

Los valores para la pendiente b y la intersección a se calculan con las ecuaciones que se presentan a continuación:

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2} \quad (3.2)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (3.3)$$

Donde:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n}$$

n = Número de pares de observaciones

Y = Variable dependiente

X = Variable independiente

Ballester-Perez et al. (2004) utilizaron regresión lineal para obtener un conjunto de ecuaciones para pronosticar el número de ciclones tropicales para toda la región atlántica, número de huracanes y el potencial destructivo de los

mismos. Presentando niveles de efectividad comparables con otros métodos de predicción vigentes.

Madrigal-Espinoza (2014) comparó el método de regresión lineal con otros métodos de pronóstico encontrando que el desempeño del pronóstico utilizando modelos de regresión lineal dependerá del grado de curvatura de su tendencia, así como del horizonte del pronóstico. Entre menor sea la curvatura y mayor el horizonte de pronóstico, el desempeño será mejor.

3.6.1.2 Desviación Estándar de la Regresión.

Kumar y Suresh (2009) mencionan que una línea de regresión describe la relación entre un valor dado de la variable independiente y la media de la distribución de probabilidad de la variable dependiente. Asumiendo que la distribución de la variable dependiente es normal para cualquier valor dado de la variable independiente. El punto estimado o pronóstico es la media de la distribución de cualquier valor dado de la variable dependiente.

La desviación estándar de la regresión S_{y-x} es una medida de dispersión de puntos alrededor de la línea de regresión. Para regresión simple, el cálculo de S_{y-x} tiene $n - 2$ grados de libertad.

$$S_{y-x} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a \sum Y - b \sum XY}{n - 2}} \quad (3.4)$$

3.6.1.3 Correlación

La fortaleza de la relación lineal que existe entre dos variables se mide usando la correlación que existe entre ellas. Dos variables con una relación negativa perfecta tienen coeficiente de correlación igual a -1 . Dos variables con una relación positiva perfecta tienen un coeficiente de correlación igual a 1 . De esta manera, el coeficiente de correlación varía en $[-1,1]$.

Thomas-Manzano et al. (2017) analizaron datos con tendencia lineal, calculando el pronóstico para cuatro años futuros, por medio de métodos de pronóstico de regresión lineal y correlación, encontrando una estimación rápida para las ventas, cuentas por cobrar e inventarios, logrando establecer un parámetro de referencia para que la alta dirección tome decisiones acertadas en materia de inversión y financiamiento.

3.6.1.4 Modelos de Entrada-Salida (Redes Neuronales Artificiales)

Son modelos muy grandes y complejos que analizan el flujo de los bienes y servicios a través de la economía completa. Se requiere una cantidad importante de información, lo que hace que su desarrollo sea largo y costoso. Por lo general, se utilizan para proyectar necesidades para mercados enteros y no para productos específicos (Chapman, 2006).

Las redes neuronales artificiales han sido aplicadas a un número creciente de problemas con una complejidad considerable, como reconocimiento de patrones, clasificación de datos, predicciones, etc. Cualquier red neural está

compuesta por nodos conectados de acuerdo con el problema que se intente resolver dando a cada nodo un peso numérico asociado. Los pesos son el medio para el almacenamiento a largo plazo y el aprendizaje se hace sobre la actualización de citados pesos (Vera y Bustamante, 2007).

Vera y Bustamante (2007) afirman que mediante modelos de redes neuronales se puede pronosticar la demanda con un margen de error menor que con los métodos convencionales, comparando este método con otros métodos clásicos de pronósticos de series de tiempo.

De acuerdo con la investigación presentada por Villada et al. (2011), al comparar el modelo de redes neuronales con un modelo de regresión lineal aplicándolo en el pronóstico de precio de la energía eléctrica, se encontró un mejor desempeño del método de redes neuronales en el periodo fuera de la muestra tanto para una y dos variables, requiriendo un menor tiempo de cómputo.

3.6.2 Métodos Series de Tiempo

Los métodos de series del tiempo utilizan información histórica que hace referencia solamente a la variable dependiente. Estos métodos se basan en la suposición de que el patrón de la variable dependiente en el pasado habrá de continuar en el futuro (Krajewski et al. 2008).

Según Sipper y Bulfin (1998), los métodos de series del tiempo se utilizan para pronósticos a corto plazo. Con frecuencia se califican de ingenuos, puesto

que no requieren más información que los valores pasados de la variable que se va a predecir (Nahmias, 2007).

Chapman (2006), menciona que los pronósticos de series de tiempo son los más utilizados por los paquetes de pronóstico vinculados con la proyección de la demanda de productos.

Cada serie de tiempo de demanda tiene por lo menos dos de los cinco patrones posibles de demanda: horizontal y aleatorio. Sumado a esto puede tener patrones de tendencia, estacionales o cíclicos (Krajewski et al. 2008).

3.6.2.1 Promedio Móvil

El método de promedio móvil se emplea cuando la demanda no tiene tendencia o estacionalidad observables (Chopra, 2013).

3.6.2.1.1 Promedio Móvil Simple

La aproximación de pronóstico por promedio móvil toma n periodos previos al periodo a pronosticar de demanda real y usa el promedio de este como el pronóstico para el siguiente periodo de demanda (Nigel et al. 2007).

De acuerdo con la estadística básica la exactitud del pronóstico aumentará con el tamaño del número de periodos de demanda utilizados para el pronóstico del siguiente periodo. La ecuación matemática para obtener este pronóstico es la siguiente:

$$F_t = \frac{\sum_{i=1}^n S_{t-i}}{n} \quad (3.5)$$

Donde:

F_t = Pronóstico para el periodo de tiempo t

S_{t-i} = Demanda para el periodo i

n = Número total de periodos de tiempo

Sotelo-Alarcón et al. (2014) compararon el método de promedio móvil con el método de suavización exponencial en el pronóstico de inventarios en la industria de distribución de químicos encontrando que el método de promedio móvil se ajusta de una manera más eficiente al patrón de demanda, evaluando los dos métodos mediante el método de desviación media absoluta.

3.6.2.1.2 Promedio Móvil Ponderado

Cuando existe una tendencia o un patrón en la demanda histórica, pueden utilizarse ponderaciones para enfatizar los valores más recientes al periodo a pronosticar, esto hace que el método de promedio móvil responda rápidamente a los cambios (Heizer y Render, 2009).

La experiencia y las pruebas son las formas más sencillas de elegir las ponderaciones. Por lo general, el pasado más reciente es el indicador más importante de lo que se espera en el futuro. La ecuación para un promedio móvil ponderado es:

$$F_t = w_1A_{t-1} + w_2A_{t-2} + \dots + w_nA_{t-n} \quad (3.6)$$

Donde:

F_t = Pronóstico para el periodo de tiempo t

A_{t-i} = Demanda real para el periodo $t - i$

n = Número total de periodos de tiempo

w_i = Ponderación para el periodo $(\sum_{i=1}^n w = 1)$

Contreras-Juárez et al. (2016) compararon diferentes métodos de pronóstico de series de tiempo en la demanda de almacenamiento de productos perecederos encontrando que para ciertos productos el método de promedio móvil ponderado presentó el porcentaje de error más pequeño. De esta manera se llegó a la conclusión que la técnica de promedios móviles ponderados con los más aceptables para la planeación de la movilidad.

Niño-Laguado (2018) utilizó el método promedio móvil ponderado, implementándolo en una empresa distribuidora de productos médicos en la demanda de material de embalaje obteniendo resultados favorables, comparándolos con otros métodos de pronóstico mediante la técnica de error porcentual absoluto medio.

3.6.2.2 Suavización Exponencial

El método de suavizamiento exponencial es una técnica de promedio móvil que pondera datos pasados en una forma exponencial

De acuerdo con Chase et al. (2009), las técnicas de suavizamiento exponencial son las más utilizadas, son parte integral de la mayoría de los programas computacionales de pronóstico. Esto se debe a su precisión, el modelo es relativamente sencillo y fácil de entender, se requieren pocos cálculos y es fácil calcular las pruebas de precisión relacionadas con el desempeño del modelo.

Bowersox et al. (2007) menciona que los métodos de suavizamiento exponencial basan la estimación de la demanda futura en el pronóstico del promedio anterior por medio de la técnica de promedio móvil y el nivel de pronóstico. El pronóstico para el nuevo periodo de tiempo es una función del pronóstico del periodo anterior incrementado por una fracción de la diferencia entre el antiguo pronóstico y la demanda real.

El formato básico del modelo es:

$$F_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1} \quad (3.7)$$

Donde:

F_t = Pronóstico de la demanda para el periodo t

F_{t-1} = Pronóstico para el periodo $t - 1$

A_{t-1} = Demanda real para el periodo de tiempo $t - 1$

α = Constante de suavización ($0 \leq \alpha \leq 1.0$)

Es importante observar que el método de suavización exponencial asume que se cuenta con un pronóstico para el periodo anterior (F_{t-1}). Cuando se empieza el desarrollo de un pronóstico no es posible contar con un pronóstico inicial, por lo tanto, se debe iniciar con otro método de pronóstico como regresión lineal.

El valor apropiado de la constante de suavizamiento, α , hace la diferencia entre un pronóstico preciso y uno impreciso. Se emplean valores bajos cuando el promedio en que se basa es estable y altos cuando de acuerdo con métodos cualitativos se conoce que el promedio subyacente tiene probabilidades de cambiar.

De acuerdo con Ballou (2004), cuando más alto es el valor de α mayor será la ponderación que se otorgue sobre niveles más recientes de demanda. Esto permite que el modelo responda más rápido a los cambios en la serie de tiempo.

Serrato-Córdova y Rodríguez-Morachis (2014), encontraron que, al no encontrar ciclicidad ni estacionalidad en el patrón de demanda de un producto de una empresa del ramo electrónico, el modelo de pronóstico que con mayor precisión predijo la demanda fue el método de suavización exponencial simple.

Otro caso se presenta en el artículo de Medina-Zarate et al. (2015), donde después de analizar la demanda de condensadores y evaporadores se encontró que al no encontrar un patrón de tendencia o estacionalidad el método adecuado de pronóstico es suavización exponencial simple.

Ruiz-López (2018) menciona que el pronóstico de las exportaciones del cacao ecuatoriano al comparar los métodos de promedio móvil simple, promedio móvil ponderado, suavización exponencial simple y suavización exponencial con tendencia. Los resultados variaron dependiendo del modelo, siendo el modelo de suavización exponencial simple el que mejor se ajustó a la serie real.

3.6.2.3 Suavización Exponencial Doble (Modelo de Holt)

También llamado corrección por tendencia, el método de suavización exponencial doble se utiliza cuando existe una tendencia significativa en la información. El modelo de suavización exponencial simple puede extenderse para proporcionar un mejor seguimiento cuando los elementos de tendencia y estacionalidad son significativos a partir de la aleatoriedad de la información.

En una serie de tiempo, tendencia es un incremento o decremento sistemático en el promedio de la serie a través del tiempo. Cuando la tendencia es significativa, los métodos de suavizamiento exponencial deben modificarse, en caso contrario, los pronósticos siempre estarán por arriba o por debajo de la demanda real (Krajewski et al. 2008).

El modelo de Holt puede expresarse matemáticamente mediante un conjunto de ecuaciones de la siguiente manera:

$$S_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (3.8)$$

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (3.9)$$

$$F_t = S_t + T_t \quad (3.10)$$

Donde:

F_t = Pronóstico con tendencia corregida para el periodo t

S_t = Pronóstico inicial para el periodo t

T_t = Tendencia para el periodo t

A_t = Demanda real para el periodo de tiempo t

β = Constante de ajuste de tendencia ($0 \leq \beta \leq 1.0$)

α = Constante de suavización ($0 \leq \alpha \leq 1.0$)

Se puede observar que la fórmula para obtener la tendencia T_t se utiliza la fórmula de suavizamiento exponencial simple, de aquí el nombre de suavización exponencial doble.

El comportamiento que la constante de suavización β es igual a la constante de suavización α . Un valor bajo de la constante β agrega mayor suavización a la serie y puede ser de ayuda si la serie no está bien establecida. Un valor alto de β enfatizará los últimos datos de la serie y será mayormente responsiva a cambios recientes en la serie (Kumar y Suresh, 2009).

Holt (1957), en su artículo dio la pauta para que los métodos de suavización exponencial puedan utilizarse con patrones de estacionalidad y tendencia aplicando la constante de suavización para tendencia o estacionalidad,

concluyendo que este método indica gran flexibilidad en problemas de pronóstico con patrones de estacionalidad y tendencia.

Nava-Nieto (2005) comparó el modelo de Holt con el modelo de suavización exponencial simple para pronosticar la demanda de cerveza, encontrando que al ser un producto que no presenta estacionalidad en el área donde se distribuye el pronóstico en ambos casos se asemeja, encontrando en ambos casos un pronóstico aceptable para la empresa con un error del 10%.

Alarcón (2018) utilizó el modelo de Holt en su investigación sobre el pronóstico del tipo de cambio nominal del dólar en Chile, encontrando buenos resultados en el pronóstico con un MAPE del 0.34% teniendo mejores resultados que con los modelos de Holt-Winters y de promedio móvil.

3.6.2.4 Suavización Exponencial Triple (Modelo de Winters).

El modelo de Winter (extensión del modelo de Holt), además de la tendencia, también considera efectos de las fluctuaciones en las series del tiempo. Antes de aplicar ese modelo deben cumplirse dos condiciones:

- a. Debe existir una razón conocida para los picos y valles periódicos en el patrón de la demanda y esta variación debe ser constante cada año.
- b. La variación estacional debe ser mayor que las variaciones aleatorias.

El modelo de ajuste de tendencia-estacionalidad se construye alrededor del concepto de pronosticar el índice de la demanda real a la tendencia, y luego se desestacionaliza para generar el pronóstico (Ballou, 2004).

Las Ecuaciones para este modelo son:

$$S_t = \alpha \left(\frac{A_{t-1}}{I_{t-1-L}} \right) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (3.11)$$

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_t \quad (3.12)$$

$$I_{t-1} = \gamma \left(\frac{A_{t-1}}{S_{t-1}} \right) + (1 - \gamma)I_{t-1-L} \quad (3.13)$$

$$F_t = (S_t + T_t)I_{t-L} \quad (3.14)$$

Donde:

F_t = Pronóstico corregido en tendencia y estacionalidad para periodo t

S_t = Pronóstico inicial para el periodo t

T_t = Tendencia para el periodo t

A_t = Demanda real para el periodo de tiempo t

β = Constante de ajuste de tendencia ($0 \leq \beta \leq 1.0$)

α = Constante de suavización ($0 \leq \alpha \leq 1.0$)

γ = Constante de ajuste sobre el índice de estacionalidad ($0 \leq \gamma \leq 1.0$)

I_t = Índice de estacionalidad para el periodo t

L = Tiempo para una estación completa

Al igual que en la suavización exponencial lineal de Holt, los pesos α , β y γ pueden seleccionarse subjetivamente o generarse al minimizar una medida de error de pronóstico. El enfoque más común para determinar estos valores es usar un algoritmo de optimización para obtener las constantes óptimas de suavización (Hanke y Wichern 2010).

Para iniciar el método Winters se deben establecer los valores iniciales para las series suavizadas, L_t , la tendencia T_t y los índices estacionales I_t .

Hanke y Wichern (2010) mencionan que existen varios métodos para establecer estos valores, uno de ellos consiste en igualar la primera estimación de la serie suavizada a la primera observación, la tendencia se iguala a cero y cada índice estacional se fija en 1.

De acuerdo con Esparza-Esparza et al. (2017), al analizar la demanda de ciertos productos de supermercado con índices estacionales es posible pronosticar la demanda mediante métodos de suavización con resultados confiables.

Gonzalez-Luna y Rodriguez-Morachis (2017) detallan el caso del análisis de la demanda y selección de un modelo de pronóstico para números de parte de la industria del sector electrónico, encontrando que el modelo de suavización exponencial Winters arroja resultados más precisos que el método de suavización exponencial simple.

Otro caso se puede encontrar en Rodriguez-Coy y Rodriguez Morachis (2010), en el que se encontró que los modelos de suavización exponencial son los más confiables en el desarrollo de pronósticos cuando el producto tiene un patrón de demandas inciertas.

Arango et al. (2019) estudiaron la demanda de ocho números de parte de una empresa de productos químicos, encontrando diferentes patrones de demanda como estacionalidad, tendencia y aleatoriedad. Dependiendo de estos patrones los productos con tendencia estacional el pronóstico más acertado fue

el método Holt-Winters, con tendencia el método de Holt y aleatoriedad suavización exponencial simple.

3.7 Monitoreo y Medición del Error en Pronósticos

Después de que se han establecido los objetivos del pronóstico, la recolección de datos y la selección de un modelo de pronóstico adecuado que se ajusta a la demanda histórica, es necesario el monitoreo de este.

Los métodos de pronóstico bien aplicados deben capturar el componente sistemático de la demanda, no su aleatoriedad. La aleatoriedad se manifiesta por medio de un error de pronóstico. Es necesario analizar estos errores para verificar si el método de pronóstico actual predice con precisión el componente sistemático de la demanda y este error debe tomarse en cuenta en los planes de contingencia. Además, es posible usar señales de rastreo para indicar cualquier sesgo positivo o negativo en el pronóstico.

El término error se refiere a la diferencia entre el valor de pronóstico y lo que ocurrió en realidad. En estadística estos errores se conocen como residuales (Chase et al. 2009).

La notación básica para el error en los pronósticos es:

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t \quad (3.15)$$

Donde:

e_t = Error de pronóstico en el periodo t

Y_t = Valor real en el periodo t

\hat{Y}_t = Valor del pronóstico en el periodo t

Una medida del error de pronóstico es el error cuadrático medio (MSE, *Mean Square Error*, por sus siglas en inglés), la cual puede relacionarse con la varianza y el error del pronóstico. EL MSE penaliza los errores grandes más significativamente que los errores pequeños ya que se elevan al cuadrado. Chopra y Meindl (2013) mencionan que utilizar el MSE es una buena idea si se requiere comparar métodos de pronóstico si el costo de un error grande es mucho mayor que la ganancia derivada de pronósticos muy precisos.

Matemáticamente se puede expresar el MSE como:

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2 \quad (3.16)$$

Donde:

t = Número del periodo

e_t = Error del periodo t

n = Número total de periodos

El MSE puede relacionarse con la varianza del error de pronóstico. De hecho, se estima que el componente aleatorio de la demanda tiene una media de 0 y una varianza de MSE (Chopra y Meindl 2013).

La desviación absoluta media (MAD, *Mean Absolute Deviation*, por sus siglas en inglés) es comúnmente utilizado por su simplicidad y utilidad al obtener señales de rastreo.

La MAD es el error promedio en los pronósticos, mediante el uso de valores absolutos. La MAD mide la dispersión de un valor observado en relación con un

valor esperado. Se puede expresar la MAD matemáticamente de la siguiente manera:

$$\text{MAD} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t| \quad (3.17)$$

Donde:

t = Número del periodo

e_t = Error del pronóstico para el periodo t

n = Número total de periodos

La MAD puede usarse para estimar la desviación estándar del componente aleatorio suponiendo que este está normalmente distribuido. En este caso la desviación estándar del componente aleatorio es:

$$\sigma = 1.25 \text{ MAD} \quad (3.18)$$

De acuerdo con lo anterior, si los límites de control se establecen en 3σ o 3.75 MAD entonces el 99.7% de los puntos caerían dentro de esos límites.

La MAD es una opción apropiada cuando se seleccionan métodos de pronóstico si el costo de un error de pronóstico es proporcional al tamaño del error.

Rodríguez-Coy y Rodríguez-Morachis (2010) detallan que por medio de los valores estadísticos MAD se logró determinar que los modelos de suavización exponencial son más confiables para el desarrollo de pronósticos en productos de demandas inciertas.

El error porcentual medio absoluto (MAPE, *Mean Absolute Percentage Error*, por sus siglas en inglés) es una buena medida de error de pronóstico para

demandas que tienen una estacionalidad significativa y la demanda varía considerablemente de un periodo al siguiente. El MAPE es el error absoluto promedio expresado como un porcentaje de la demanda y este dado por:

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{|Y_t|} (100) \quad (3.19)$$

Donde:

t = Número del periodo

e_t = Error del pronóstico para el periodo t

Y_t = Valor real en el periodo t

n = Número total de periodos

Es importante notar que el MAPE no es posible calcularse si el valor real de la demanda en el periodo t es igual a 0.

Una señal de seguimiento (TS, *Tracking Signal*, por sus siglas en inglés) es una medida que indica si el promedio pronosticado sigue el paso de cualquier cambio hacia arriba o hacia abajo en la demanda, es el número de desviaciones absolutas medias que el valor pronosticado se encuentra por encima o por debajo de la ocurrencia real (Chase et al. 2009).

La TS puede expresarse matemáticamente como:

$$TS = \frac{\sum_{t=1}^n e_t}{MAD} \quad (3.20)$$

Donde:

t = Número del periodo

e_t = Error del pronóstico para el periodo t

n = Número total de periodos

MAD = Desviación absoluta media

Si la señal de rastreo en cualquier periodo está afuera del rango ± 6 , esto es una señal de que el pronóstico está sesgado y subpronosticado ($TS < 6$) o sobrepronosticado ($TS > 6$). Esto puede suceder porque el método de pronóstico tiene puntos débiles o el patrón subyacente de la demanda ha cambiado (Chopra y Meindl, 2013).

Castro y Uribe (2010) señalan que los parámetros iniciales del modelo de Holt se pueden obtener a partir del rango de la señal de rastreo, que permite mejorar su desempeño mediante la obtención de valores con indicadores clásicos en los pronósticos como son el MAD o el MSE, que garantizan una mayor exactitud del modelo de proyección empleado y un rango bajo en la señal de rastreo logrando que el modelo este históricamente bajo control.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se describen los materiales y métodos que se utilizan para la realización del proceso de generación del plan de producción, para determinar el método de pronóstico que mejor se acomoda a la demanda real del producto, así como la relación entre el pronóstico y la mejora en la entrega a tiempo de ordenes de cliente.

4.1 Materiales

Para la realización de esta investigación se utilizó una computadora marca DELL Latitude®, Windows 10 Enterprise®, 16 GB en memoria RAM, procesador Intel® Core (TM) i7-7600U CPU, 290GHz.

Microsoft SQL Server Standard® (64-bit), Microsoft SQL Server Management Studio® v17.8 para la obtención de datos y Microsoft Excel for Office 365® 32-bit debido a su facilidad para analizar y graficar los datos obtenidos por medio de SQL server.

Minitab® 19 (64-bit), el cual permitió realizar los análisis de los de la demanda real para encontrar el pronóstico adecuado para la investigación, así como también la obtención del pronóstico y la medición de este.

4.2 Métodos

Es importante recordar que la presente investigación se llevó a cabo en una empresa de manufactura que cuenta con sede en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, donde se pretende implementar un método de pronóstico cuantitativo que proporcione un cálculo de la demanda de forma anticipada a corto plazo y con esto generar una planeación de producción eficiente de acuerdo con los datos históricos obtenidos del producto PDM, seleccionado por su alto volumen, siendo uno de los productos con métricos por debajo de lo esperado.

4.2.1 Tipo de Investigación

La investigación realizada tiene un enfoque cuantitativo debido a que los datos recolectados serán analizados y se intentará probar la hipótesis de que con un mejor pronóstico de la demanda la planeación de producción será más acertada por lo tanto se reducirá el número de órdenes vencidas y mejorará el métrico de entrega a tiempo.

A su vez es de tipo no experimental ya que los datos obtenidos se toman tal como se presentan y no se manipula de forma deliberada ninguna variable y longitudinal ya que los datos recolectados corresponden a un periodo prolongado de tiempo, permitiendo un mejor análisis de patrones de tendencia y estacionalidad.

Se clasifica como investigación de campo ya que los datos recolectados representan la demanda real del producto a investigar, así como correlacional y

analítica ya que se midió y comparó la relación existente entre el resultado del pronóstico y las variables de respuesta que son el métrico de entrega a tiempo y el número de ordenes vencidas.

De acuerdo con el objeto de estudio la investigación es catalogada como aplicada ya que se busca la solución a un problema del sector productivo, la planeación de producción de demanda incierta en una empresa de productos médicos. La dirección del razonamiento clasifica esta investigación como deductiva ya que de acuerdo con los métodos estadísticos de análisis de datos históricos se puede deducir el método de pronóstico a utilizar generando un resultado que ayudó a probar la hipótesis en la cual se centra esta investigación.

4.2.2 Método de Investigación

En esta sección se describe la estrategia metodológica que se siguió en este estudio para encontrar los resultados y la aceptación o rechazo de la hipótesis de investigación planteada en el capítulo 2. La metodología se encuentra dividida en siete fases que se observan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Fases del Método de Investigación.

	Fases	Actividad	Salida
Fase 1	Identificación y planteamiento del problema	-Identificación de variables, objetivos e hipótesis	-Variables de respuesta. -Objetivos -Hipótesis
Fase 2	Recolección de datos históricos	-Solicitud de permiso para extracción de información de la base de datos. -Extracción de la información necesaria.	-Datos históricos de demanda desde la semana 1 del año 2018 hasta la semana 43 del año 2020.
Fase 3	Análisis de la demanda	-Identificación de patrones de tendencia o estacionalidad	-Gráficos donde se observen patrones que ayuden a la elección de un método de pronóstico correcto.
Fase 4	Prueba de métodos cuantitativos de pronóstico.	-Aplicación de diferentes métodos de pronóstico por medio de Minitab®.	-Resultados de los pronósticos.
Fase 5	Medición de los pronósticos y selección del pronóstico adecuado	-Medición de los valores obtenidos con los diferentes métodos de pronóstico. -Selección del método de pronóstico con los valores menores de las medidas de error.	- MAD y MSE. - Método de pronóstico adecuado
Fase 6	Creación de plan de producción en base al pronóstico calculado.	-Generación de cantidades a producir de acuerdo con el pronóstico y la capacidad de producción instalada.	-Plan maestro de producción para el periodo pronosticado.
Fase 7	Seguimiento y verificación de la técnica y resultados	-Actualización del modelo seleccionado	-Observar si la técnica se sigue ajustando a los datos de demanda real.

4.2.2.1 Identificación y Planteamiento del Problema

Con base en lo observado durante el proceso de planeación de producción, se llegó a la conclusión de que la raíz del problema es que el planeador de producción no cuenta con una metodología para obtener una demanda anticipada, por lo tanto, se obtiene una planeación incierta que en muchas ocasiones no es posible cumplir.

4.2.2.2 Recolección de Datos Históricos

Estos datos fueron recolectados de la base de datos SQL Server® con la herramienta SQL Server Management Studio® y comprenden de la semana 1 del año 2018 hasta la semana 43 del año 2020, para un total de 148 semanas de venta real del producto PDM.

La empresa almacena datos de las ordenes que llegan de una manera diaria, se cuenta con procesos que extraen la información de bases de datos corporativas hasta base de datos locales, estos procesos corren de manera diaria por lo tanto la información que recolectada desde los servidores locales es certera y se podrá continuar obteniendo para seguir verificando cada periodo pronosticado.

4.2.2.3 Análisis de la Demanda

Es necesario buscar patrones dentro de la demanda real del producto a investigar para poder seleccionar un método de pronóstico eficiente. Dichos patrones son la tendencia, estacionalidad y ciclicidad, esto con el fin de analizar estos patrones y determinar la técnica apropiada. El pronóstico debe ajustarse a los datos históricos para que sea funcional con los datos pronosticados del periodo futuro.

Por medio del estudio de la tendencia de los datos, es posible visualizar un comportamiento de la demanda a futuro a mediano plazo. La tendencia de los

datos se puede representar en una línea recta, la cual es expresadas en la ecuación (4.1).

Recta

$$Y = a + bx \quad (4.1)$$

Donde:

Y = Intersección al eje Y

a = Desplazamiento de la línea respecto al origen

b = Pendiente de la recta

En la figura 4.1 se observa el comportamiento general de las ventas ajustada a una recta.

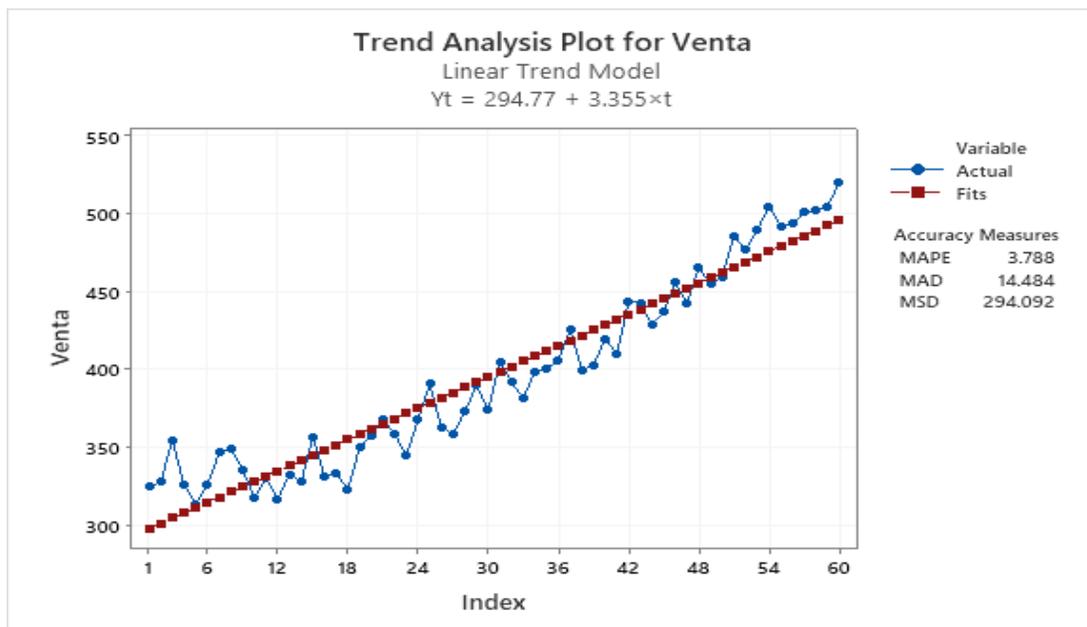


Fig.4.1 Ejemplo de Gráfico con Tendencia Ajustado a una Recta.

Para el análisis de la estacionalidad es necesario analizar los cambios que se presentan por temporada y son debido a influencias estacionales, esto se refiere a un incremento o decremento regular en las ventas de un producto, es decir cualquier patrón que se repite con regularidad y tiene una duración menor a un año. En la figura 4.2 se puede observar el comportamiento gráfico de una tendencia estacional.

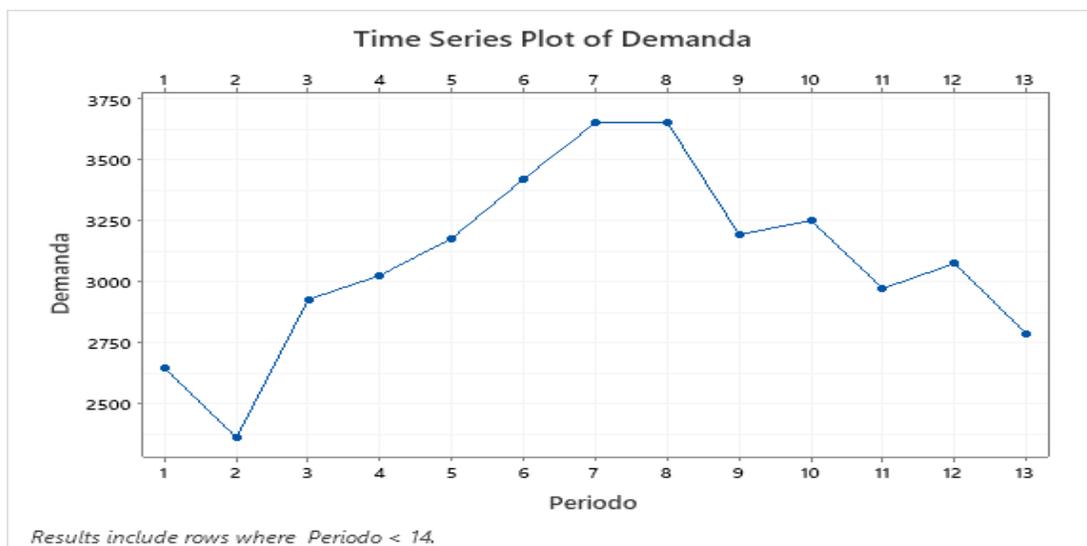


Fig.4.2 Ejemplo de Gráfico con Estacionalidad

La ciclicidad en la demanda se obtiene determinando periodos de tiempo, regularmente estos ciclos comprenden un año, si el comportamiento de los datos es el mismo en los mismos meses de años distintos, los datos de la demanda son considerados cíclicos. Este tipo de comportamiento se puede observar en la figura 4.3.

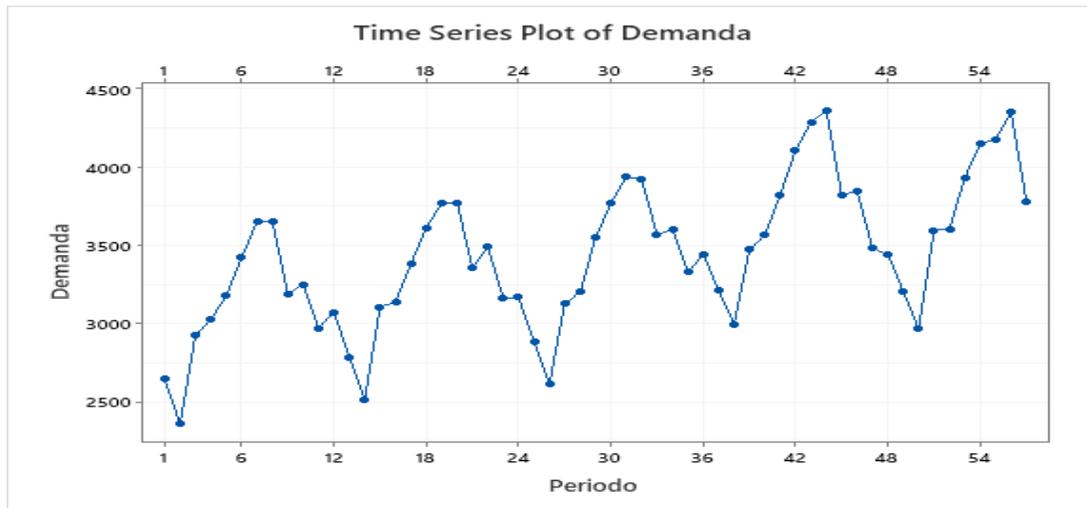


Fig.4.3 Ejemplo de Gráfico con Estacionalidad y Ciclicidad.

4.2.2.4 Prueba de Métodos Cuantitativos de Pronostico

Después del análisis de datos, para este estudio se decidió trabajar con métodos de pronóstico cuantitativos, ya que son modelos matemáticos que se basan en datos históricos y que permiten hacer una proyección futura de la demanda a corto plazo. Los métodos que se seleccionaron son Promedios Móviles, Suavización Exponencial Simple, Método de Holt y Método Winters.

Promedios móviles. Este método es óptimo para patrones de demanda aleatorios, sin tendencia o estacionalidad observable y se utiliza cuando se desea darle mayor importancia a un conjunto de datos recientes y se pretende eliminar el impacto de los elementos irregulares históricos. La ecuación (4.3) se utiliza para el cálculo del pronóstico mediante promedio móvil.

$$F_t = \frac{\sum_{i=1}^n S_{t-i}}{n} \quad (4.3)$$

Donde:

F_t = Pronóstico para el periodo de tiempo t

S_{t-i} = Demanda para el periodo i

n = Número total de periodos de tiempo

Suavización exponencial simple. Es óptimo para patrones de demanda aleatorios o nivelados, donde se pretende eliminar el impacto de los elementos irregulares históricos mediante un enfoque en periodos de demanda reciente. La ecuación (4.4) se utiliza para el cálculo del pronóstico mediante suavización exponencial simple.

$$F_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1} \quad (4.4)$$

Donde:

F_t = Pronóstico de la demanda para el periodo t

F_{t-1} = Pronóstico para el periodo $t - 1$

A_{t-1} = Demanda real para el periodo de tiempo $t - 1$

α = Constante de suavización ($0 \leq \alpha \leq 1.0$)

Método de Holt. Es una extensión del método de suavización simple, se utiliza cuando existe una tendencia significativa en los datos históricos de demanda. El modelo de Holt utiliza las ecuaciones (4.5), (4.6) y (4.7) para el cálculo del pronóstico.

$$S_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (4.5)$$

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (4.6)$$

$$F_t = S_t + T_t \quad (4.7)$$

Donde:

F_t = Pronóstico con tendencia corregida para el periodo t

S_t = Pronóstico inicial para el periodo t

T_t = Tendencia para el periodo t

A_t = Demanda real para el periodo de tiempo t

β = Constante de ajuste de tendencia ($0 \leq \beta \leq 1.0$)

α = Constante de suavización ($0 \leq \alpha \leq 1.0$)

Método Winters. Es una extensión del método de Holt, además de la tendencia considera efectos de las fluctuaciones en las series de tiempo (estacionalidad). Es importante cumplir con las siguientes condiciones para la aplicación de este método. Debe existir una razón conocida para los picos y valles periódicos en el patrón de la demanda y esta variación debe ser constante cada año y la variación estacional debe ser mayor que las variaciones aleatorias. Las ecuaciones (4.8), (4.9), (4.10) y (4.11) se utilizan para el cálculo del pronóstico de demanda mediante el método Winters.

$$S_t = \alpha \left(\frac{A_{t-1}}{I_{t-1-L}} \right) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (4.8)$$

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_t \quad (4.9)$$

$$I_{t-1} = \gamma \left(\frac{A_{t-1}}{S_{t-1}} \right) + (1 - \gamma)I_{t-1-L} \quad (4.10)$$

$$F_t = (S_t + T_t)I_{t-L} \quad (4.11)$$

Donde:

F_t = Pronóstico corregido en tendencia y estacionalidad para periodo t

S_t = Pronóstico inicial para el periodo t

T_t = Tendencia para el periodo t

A_t = Demanda real para el periodo de tiempo t

β = Constante de ajuste de tendencia ($0 \leq \beta \leq 1.0$)

α = Constante de suavización ($0 \leq \alpha \leq 1.0$)

γ = Constante de ajuste sobre el índice de estacionalidad ($0 \leq \gamma \leq 1.0$)

I_t = Índice de estacionalidad para el periodo t

L = Tiempo para una estación completa

4.2.2.5 Medición del Error y Selección del Pronóstico Adecuado

Después de la recopilación de los datos históricos e implementar los métodos de pronóstico cuantitativos mencionados, se obtiene el error del pronóstico que es la cercanía entre el pronóstico y la demanda real. Este error de pronóstico se puede representar matemáticamente en la ecuación (4.12).

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t \quad (4.12)$$

Donde:

e_t = Error de pronóstico en el periodo t

Y_t = Valor real en el periodo t

\hat{Y}_t = Valor del pronóstico en el periodo t

Las medidas de error de pronóstico que se seleccionaron para la evaluación son Error Cuadrático Medio y Desviación Absoluta Media. Se seleccionará el método de pronóstico con los valores menores de las medidas de error.

Error cuadrático medio. Se relaciona con la varianza del error de pronóstico y se utiliza si se requiere comparar métodos de pronóstico si el costo de error es mucho mayor que la ganancia derivada de pronósticos precisos. Esta medida de error esta expresada en la ecuación (4.13).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2 \quad (4.13)$$

Donde:

t = Número del periodo

e_t = Error del periodo t

n = Número total de periodos

Desviación absoluta media. Es el error promedio en los pronósticos, mediante el uso de valores absolutos. Es comúnmente utilizado por su simplicidad y utilidad al obtener señales de rastreo. Para el uso de esta medida de error se utiliza la ecuación (4.14).

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t| \quad (4.14)$$

Donde:

t = Número del periodo

e_t = Error del pronóstico para el periodo t

n = Número total de periodos

4.2.2.6 Seguimiento y Verificación de la Técnica y Resultados

Concluido cada periodo, es necesario seguir obteniendo la información de la demanda real con el fin de mantener actualizado el modelo, de esta manera se observará si el método de pronóstico seleccionado se continúa ajustando a los datos de demanda real y si el plan de producción es el óptimo en base a los requerimientos de la empresa.

4.3 Planteamiento de la Hipótesis Estadística

La hipótesis inicial del presente estudio es que la metodología de pronósticos cuantitativos determinara la demanda de los clientes de una manera confiable y eficiente para elaborar los planes de producción. Esto se puede plantear de manera estadística mediante el análisis de comparación de medias donde la media de los datos reales y la media de los datos pronosticados son estadísticamente iguales, dado por la ecuación (4.15).

$$H_0: \mu_R = \mu_P \quad (4.15)$$

$$H_1: \mu_R \neq \mu_P$$

Donde:

H_0 = Hipótesis nula

H_1 = Hipótesis alternativa

μ_R = Media de datos reales

μ_P = Media de datos pronosticados

Adicional se planteará una prueba de varianzas para probar que el grado de dispersión de los datos es igual para los datos reales como para los datos pronosticados, dado por la ecuación (4.16).

$$\begin{aligned}H_0: \sigma^2_R &= \sigma^2_P \\H_1: \sigma^2_R &\neq \sigma^2_P\end{aligned}\tag{4.16}$$

Donde:

H_0 = Hipótesis nula

H_1 = Hipótesis alternativa

σ^2_R = Varianza de datos reales

σ^2_P = Varianza de datos pronosticados

Lo anterior significa que se probará que la hipótesis que los datos se ajustan al pronóstico que al efecto proporciona el modelo. De no ser así se rechaza la hipótesis nula en favor de la alternativa y se concluiría que los datos reales no se ajustan a los datos pronosticados.

Cabe señalar que el planteamiento anterior, es bajo la consideración de que los datos presentan un comportamiento normal, de otra manera, es necesario utilizar estadística no paramétrica, como la prueba U de Mann-Whitney.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

En las etapas anteriores se determinó si la demanda del producto PDM presenta patrones de estacionalidad y tendencia de acuerdo con los datos recolectados y se obtuvieron diferentes resultados con cada uno de los métodos de pronóstico mencionados en el capítulo anterior, durante la presente etapa de la investigación se muestran los resultados finales sobre el método de pronóstico más asertivo para el producto en cuestión.

5.1 Resultados Obtenidos

Para mostrar los resultados que se obtuvieron en esta investigación de producto seleccionado, se detallan brevemente los pasos para lograr el análisis e implementación:

1. Recolección de datos históricos
2. Análisis de la demanda
3. Prueba de métodos cuantitativos de pronóstico
4. Medición del error y selección del pronóstico adecuado
5. Creación del plan de producción
6. Seguimiento y verificación de la técnica y resultados

Después de la recolección de datos se analizó la demanda buscando patrones que pudieran existir que indiquen tendencia, estacionalidad y ciclos. En

la tabla 5.1 se observan los datos de órdenes del producto PDM agrupados de manera mensual con el ajuste al modelo de regresión lineal.

Tabla 5.1 Datos de Demanda Ajustados a Modelo de Regresión Lineal.

Mes	Demanda	Ajuste	Error	Mes	Demanda	Ajuste	Error
2018-01	1542	1529.838	12.162	2019-08	1743	2006.356	-263.356
2018-02	896	1554.918	-658.918	2019-09	2426	2031.436	394.564
2018-03	2073	1579.998	493.002	2019-10	1762	2056.515	-294.515
2018-04	1644	1605.078	38.922	2019-11	1964	2081.595	-117.595
2018-05	1884	1630.158	253.842	2019-12	2082	2106.675	-24.675
2018-06	1259	1655.237	-396.237	2020-01	1701	2131.755	-430.755
2018-07	1927	1680.317	246.683	2020-02	1360	2156.835	-796.835
2018-08	1972	1705.397	266.603	2020-03	3070	2181.915	888.085
2018-09	1900	1730.477	169.523	2020-04	4745	2206.995	2538.005
2018-10	1790	1755.557	34.443	2020-05	3063	2232.075	830.925
2018-11	1316	1780.637	-464.637	2020-06	2309	2257.155	51.845
2018-12	1410	1805.717	-395.717	2020-07	1489	2282.234	-793.234
2019-01	1938	1830.797	107.203	2020-08	1739	2307.314	-568.314
2019-02	2233	1855.876	377.124	2020-09	2085	2332.394	-247.394
2019-03	1881	1880.956	0.044	2020-10	1997	2357.474	-360.474
2019-04	1774	1906.036	-132.036	2020-11	1961	2382.554	-421.554
2019-05	1880	1931.116	-51.116	2020-12	2946	2407.634	538.366
2019-06	1994	1956.196	37.804	2021-01	2421	2432.714	-11.714
2019-07	1487	1981.276	-494.276	2021-02	2102	2457.794	-355.794

En la figura 5.1 se observa que al ajustar la serie de tiempo de demanda a un modelo de regresión lineal se observa que existe tendencia ascendente al existir pendiente positiva en la ecuación resultante. A su vez no se aprecian patrones que indiquen estacionalidad o ciclos. De acuerdo con el resultado del análisis se aprecia que el método de pronóstico adecuado a la demanda es suavización exponencial simple (Método de Holt).

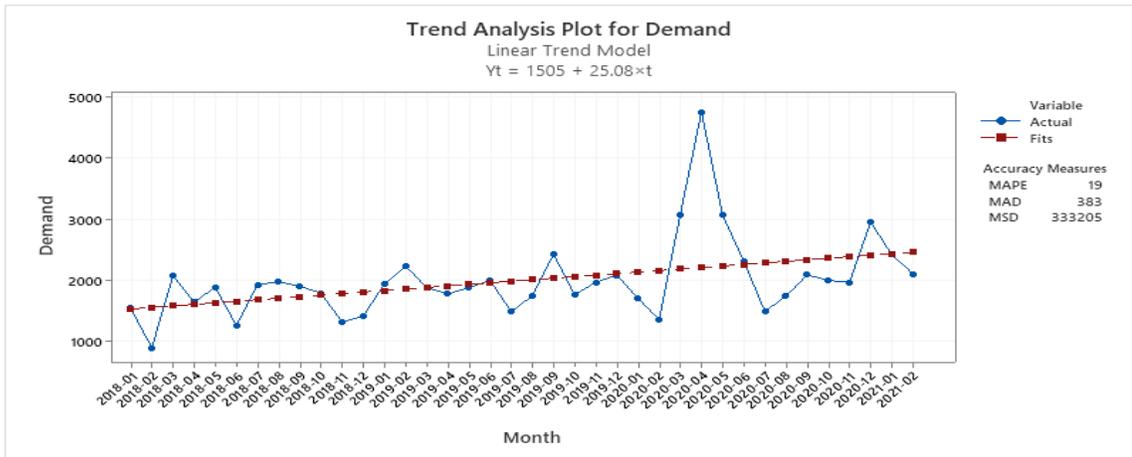


Fig.5.1 Gráfico de Series de Tiempo de Demanda Ajustado a un Modelo de Regresión Lineal.

En la figura 5.2 se observa el mismo modelo que en la figura 5.1 eliminando los periodos entre marzo del 2020 y mayo del 2020 ya que se consideran excepciones a la demanda regular a causa de la pandemia ocasionada por el virus SARS COV-2 (Covid 19). Encontrando de la misma manera tendencia al alza en demanda.

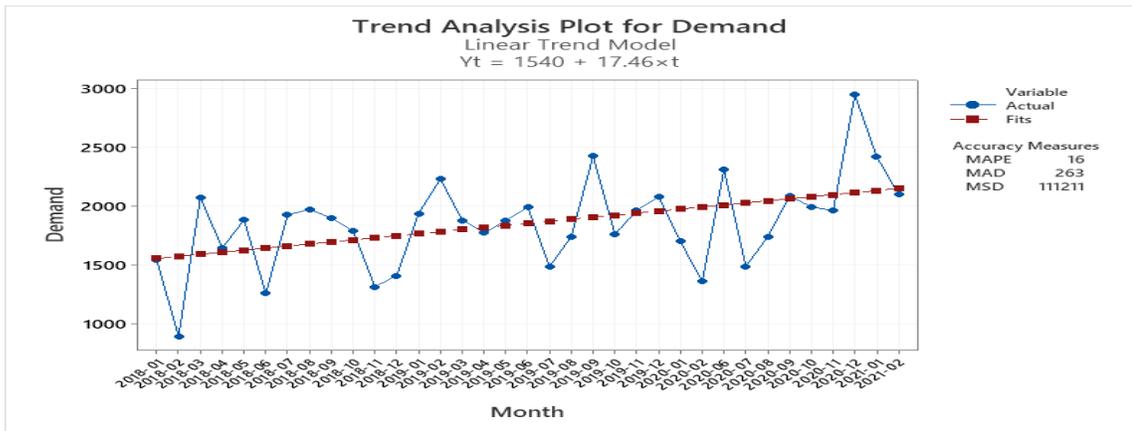


Fig.5.2 Gráfico de Series de Tiempo de Demanda Ajustado a un Modelo de Regresión Lineal Sin Periodos de COVID 19.

A continuación, se probaron 4 métodos de pronóstico Promedios Móviles, Suavización Exponencial Simple, Método de Holt y Método Winters con el *software* Minitab®, obteniendo resultados que arrojaron el método de pronóstico adecuado para la toma de decisiones.

En la tabla 5.1 se muestran los resultados obtenidos por Promedios Móviles. Se eligió una longitud de 3 periodos para el cálculo ya que la planeación del producto PDM se realiza de manera trimestral.

Tabla 5.1 Resultados por Promedios Móviles.

Mes	Demanda	Pronóstico	Error	Mes	Demanda	Pronóstico	Error
2018-01	1542	*	*	2019-08	1743	1787	-44
2018-02	896	*	*	2019-09	2426	1741.33	684.67
2018-03	2073	*	*	2019-10	1762	1885.33	-123.33
2018-04	1644	1503.67	140.33	2019-11	1964	1977	-13
2018-05	1884	1537.67	346.33	2019-12	2082	2050.67	31.33
2018-06	1259	1867	-608	2020-01	1701	1936	-235
2018-07	1927	1595.67	331.33	2020-02	1360	1915.67	-555.67
2018-08	1972	1690	282	2020-03	3070	1714.33	1355.67
2018-09	1900	1719.33	180.67	2020-04	4745	2043.67	2701.33
2018-10	1790	1933	-143	2020-05	3063	3058.33	4.67
2018-11	1316	1887.33	-571.33	2020-06	2309	3626	-1317
2018-12	1410	1668.67	-258.67	2020-07	1489	3372.33	-1883.33
2019-01	1938	1505.33	432.67	2020-08	1739	2287	-548
2019-02	2233	1554.67	678.33	2020-09	2085	1845.67	239.33
2019-03	1881	1860.33	20.67	2020-10	1997	1771	226
2019-04	1774	2017.33	-243.33	2020-11	1961	1940.33	20.67
2019-05	1880	1962.67	-82.67	2020-12	2946	2014.33	931.67
2019-06	1994	1845	149	2021-01	2421	2301.33	119.67
2019-07	1487	1882.67	-395.67	2021-02	2102	2442.67	-340.67

En la figura 5.3 se muestra de manera gráfica los resultados obtenidos al analizar los datos recopilados por el método de Promedios Móviles.

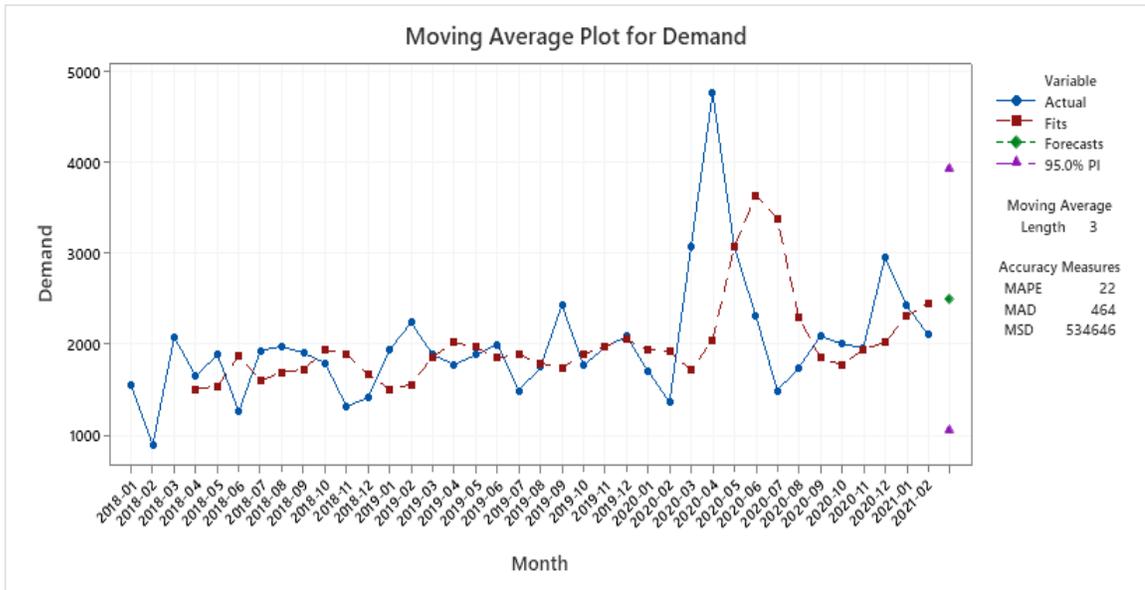


Fig.5.3 Gráfico de Promedios Móviles a 3 Periodos.

A continuación, se procedió a analizar los datos por Suavización Exponencial Simple, manejando valores para la constante de suavización de $\alpha=0.70$, $\alpha=0.80$ y $\alpha=0.90$ ya que se pretende dar mayor peso a la demanda real del periodo anterior que al pronóstico anterior. La tabla del Anexo A muestra los resultados este método de pronóstico.

Las figuras 5.4, 5.5 y 5.6 muestran los gráficos obtenidos con los valores de alfa respectivamente asignados.

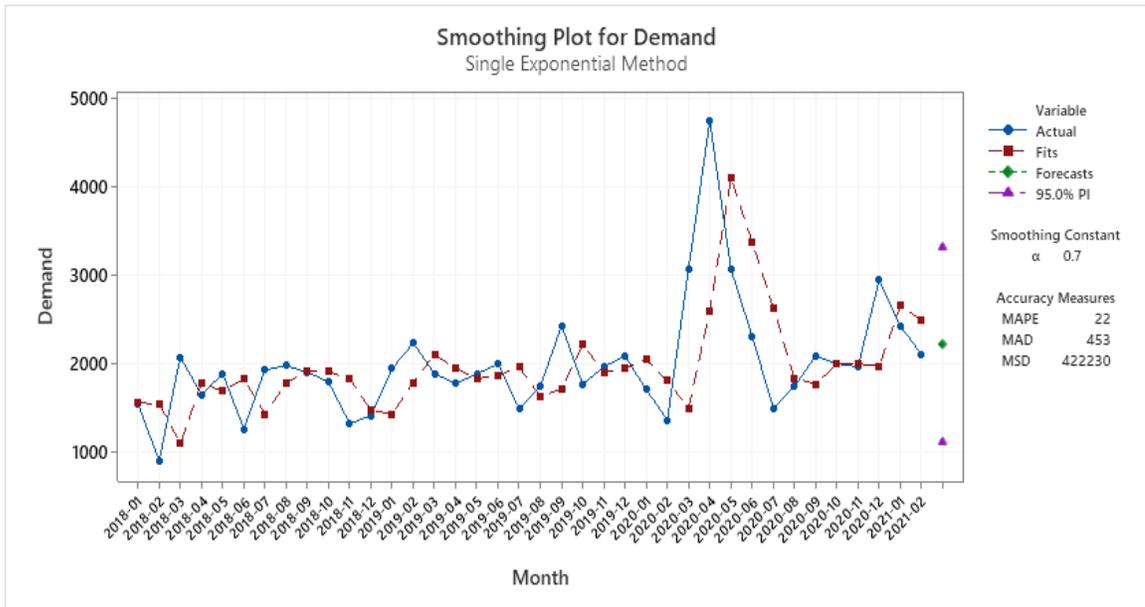


Fig.5.4 Gráfico de Suavización Exponencial Simple con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.7$

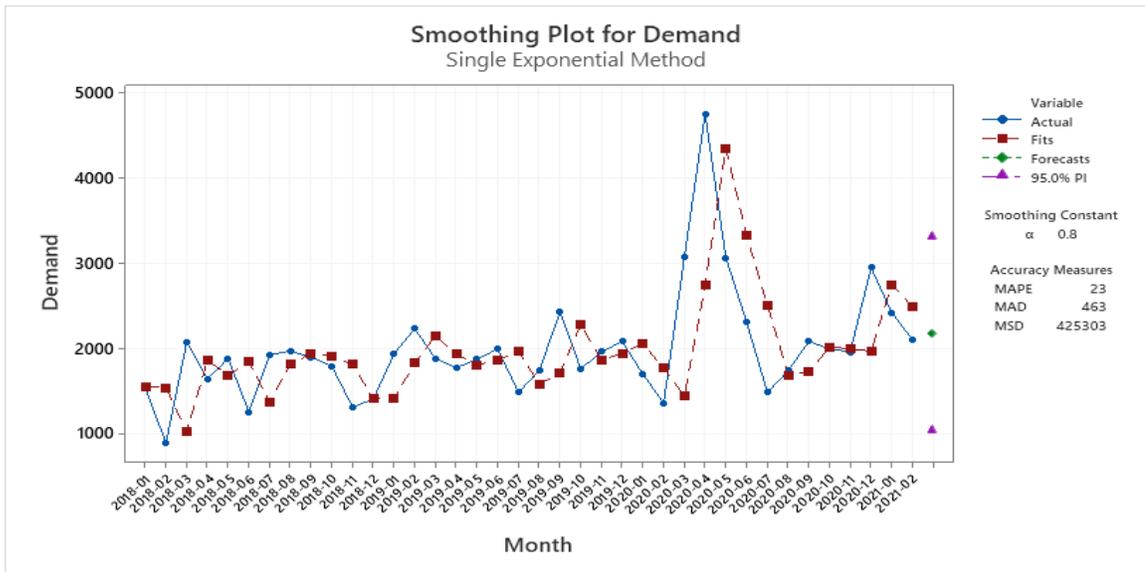


Fig.5.5 Gráfico de Suavización Exponencial Simple con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.8$

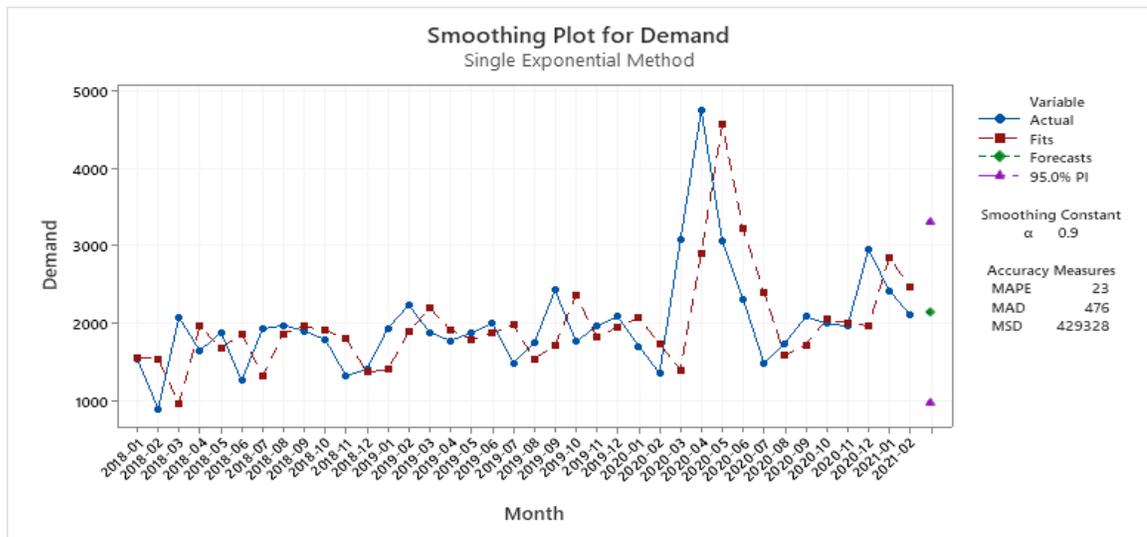


Fig.5.6 Gráfico de Suavización Exponencial Simple con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.9$

El paso siguiente fue probar con el Método de Holt o Suavización exponencial doble. Al probar con diferentes combinaciones de constantes de suavización tanto para el nivel como para la tendencia se encontró que con constantes de suavización de nivel altas y con constantes de suavización de tendencia bajas se obtienen mejores resultados. Esto se puede explicar en el análisis de la demanda se observa una tendencia al alza poco significativa por lo tanto una constante de suavización de tendencia bajo arroja resultados óptimos.

La tabla del Anexo B muestra los resultados este método de pronóstico. En las figuras 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 y 5.12 se observan los resultados obtenidos con este método combinando las constantes de suavización de nivel con $\alpha=0.70$, $\alpha=0.80$ y $\alpha = 0.90$ y constante de suavización de tendencia de $\beta = 0.10$ y $\beta = 0.20$.

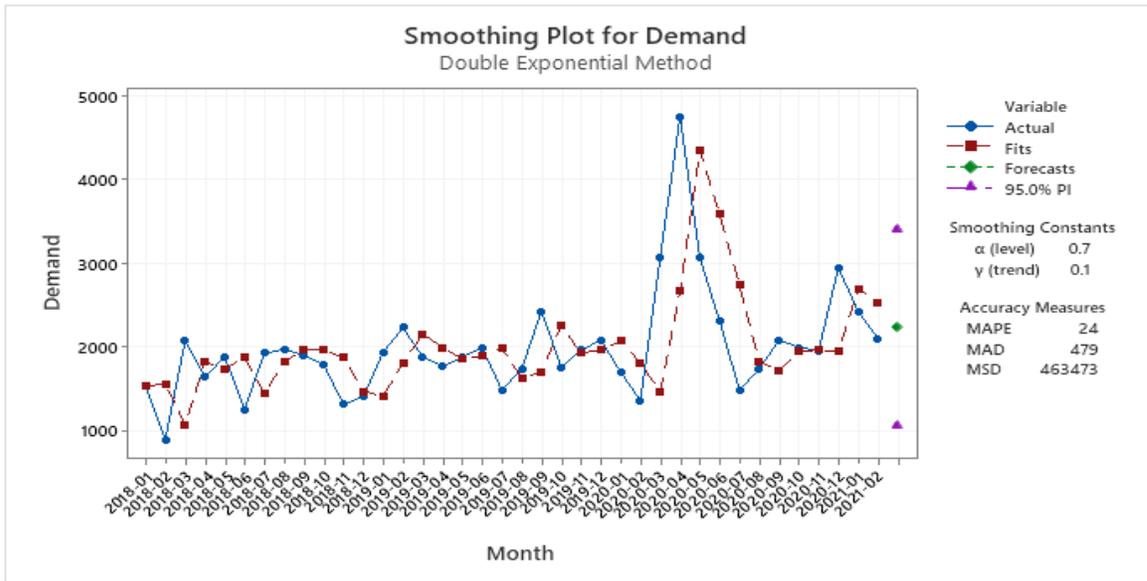


Fig. 5.7 Gráfico de Suavización Exponencial Doble con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.70$ y $\beta = 0.10$

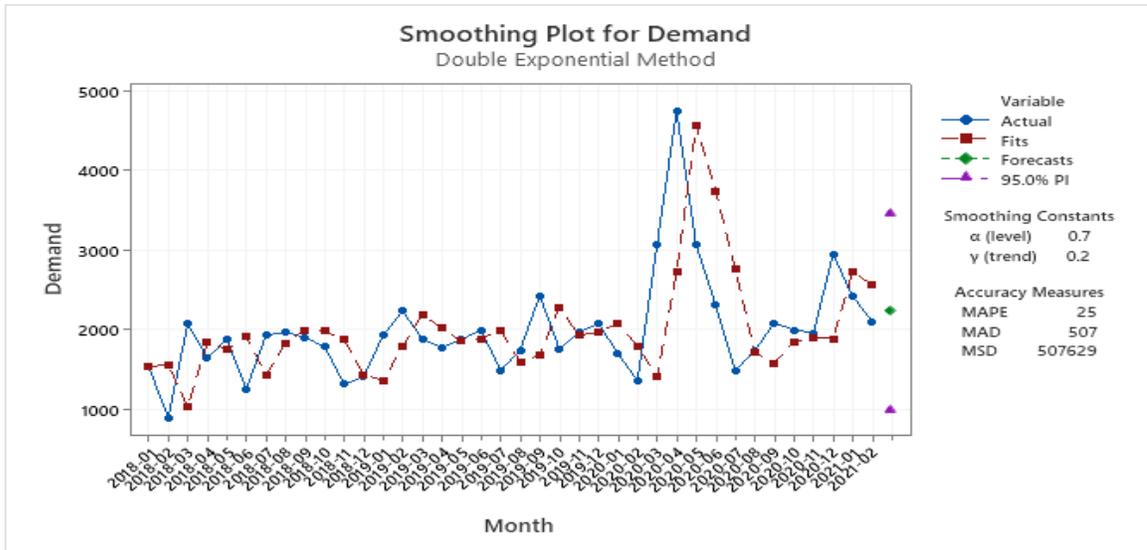


Fig. 5.8 Gráfico de Suavización Exponencial Doble con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.70$ y $\beta = 0.20$

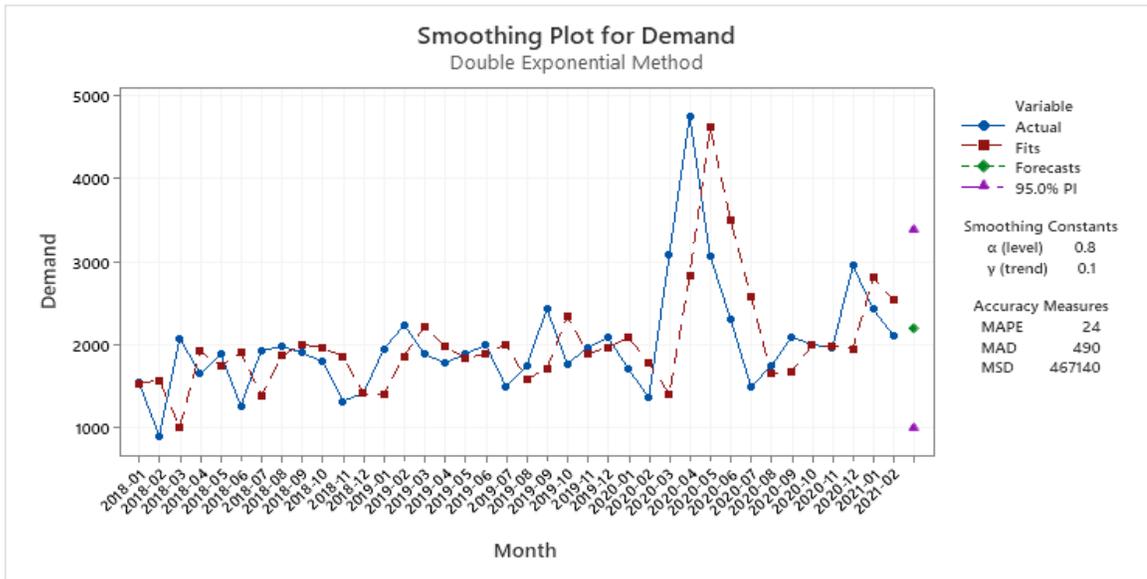


Fig. 5.9 Gráfico de Suavización Exponencial Doble con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.80$ y $\beta = 0.10$

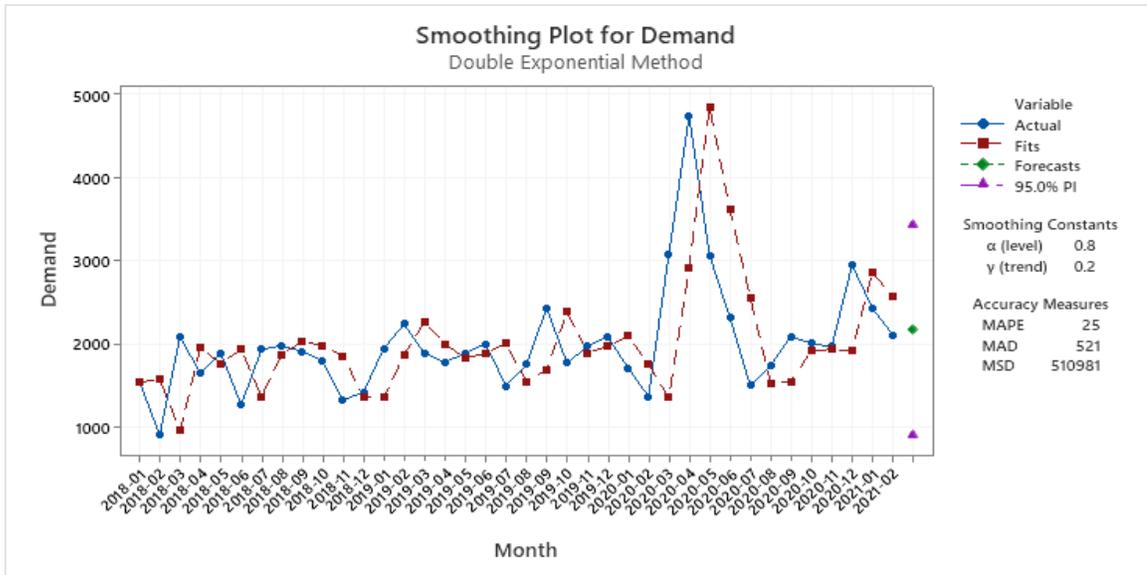


Fig. 5.10 Gráfico de Suavización Exponencial Doble con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.80$ y $\beta = 0.20$

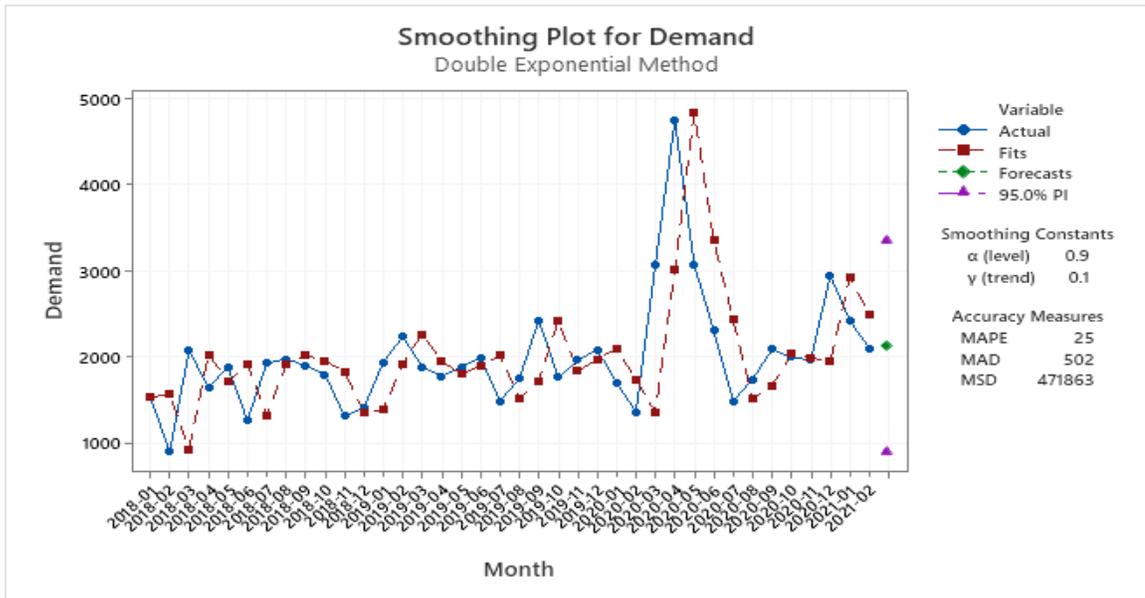


Fig. 5.11 Gráfico de Suavización Exponencial Doble con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.90$ y $\beta = 0.10$

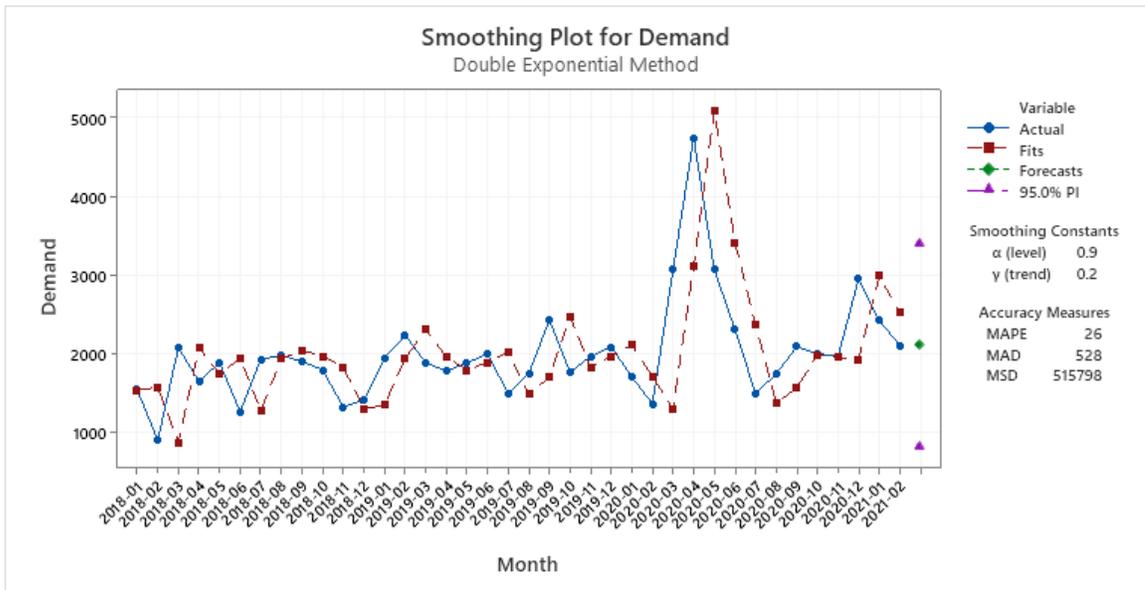


Fig. 5.12 Gráfico de Suavización Exponencial Doble con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.90$ y $\beta = 0.20$

Para finalizar con las pruebas de métodos de pronóstico se realiza el último análisis por medio del método Winters. Para esta investigación se eligieron las constantes de suavización para nivel $\alpha=0.70$, $\alpha=0.80$ y $\alpha= 0.90$, constante de suavización de tendencia de $\beta = 0.10$ y $\beta = 0.20$ y constante de suavización estacional de $\delta = 0.10$ ya que no se encontró algún patrón de estacionalidad en el análisis de la demanda histórica.

La tabla del Anexo C muestra los resultados este método de pronóstico. En las figuras 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17 y 5.18 se observan los resultados obtenidos con este método.

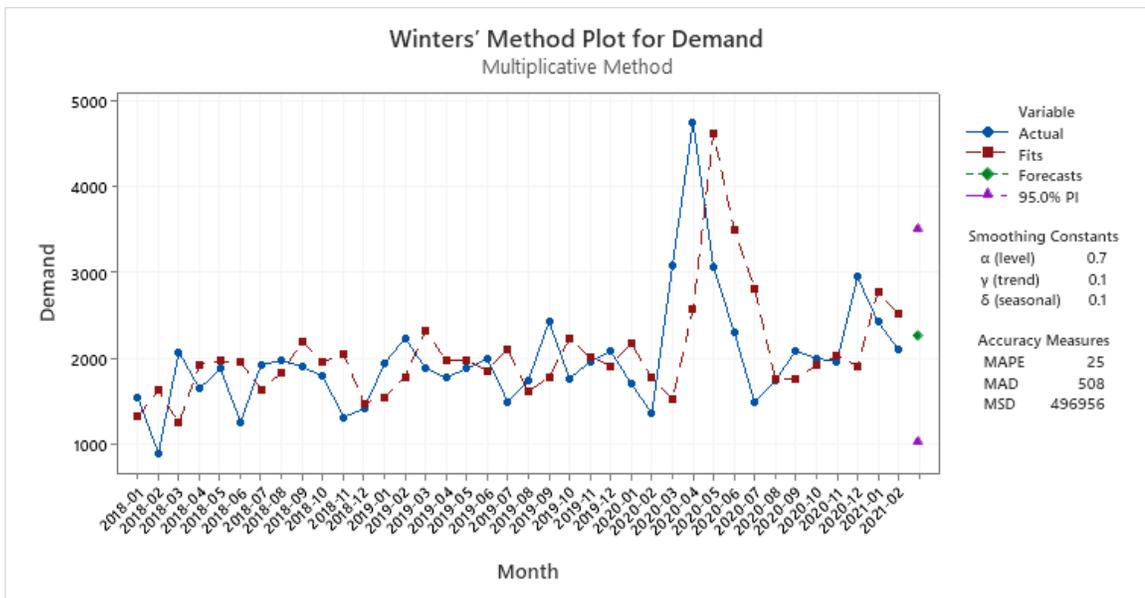


Fig. 5.13 Gráfico de Método Winters con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.70$, $\beta = 0.10$ y $\delta = 0.10$

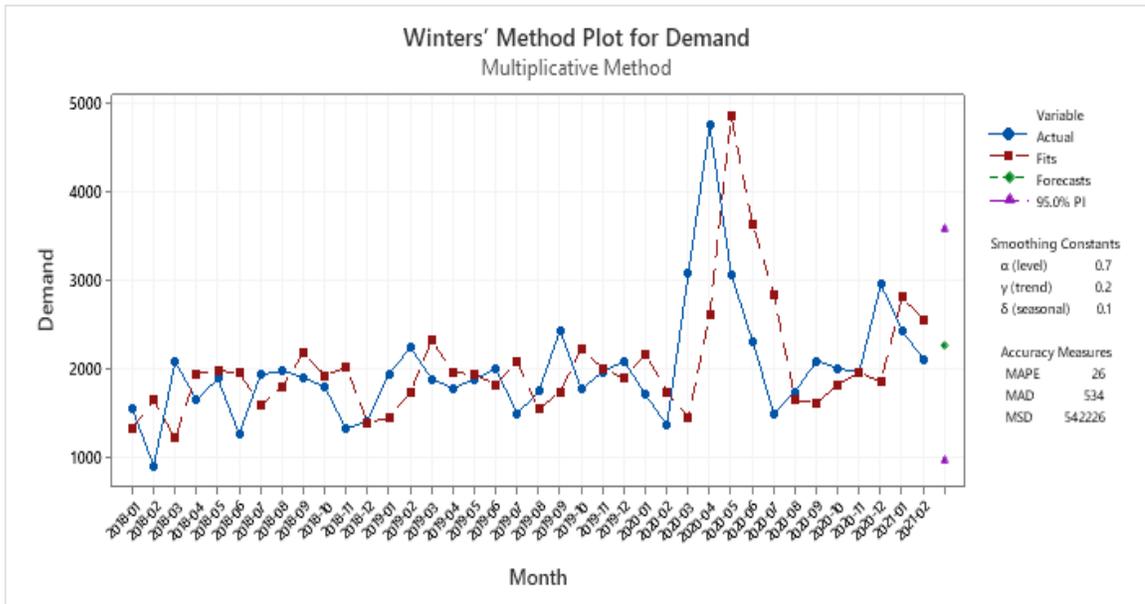


Fig. 5.14 Gráfico de Método Winters con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.70$, $\beta = 0.20$ y $\delta = 0.10$

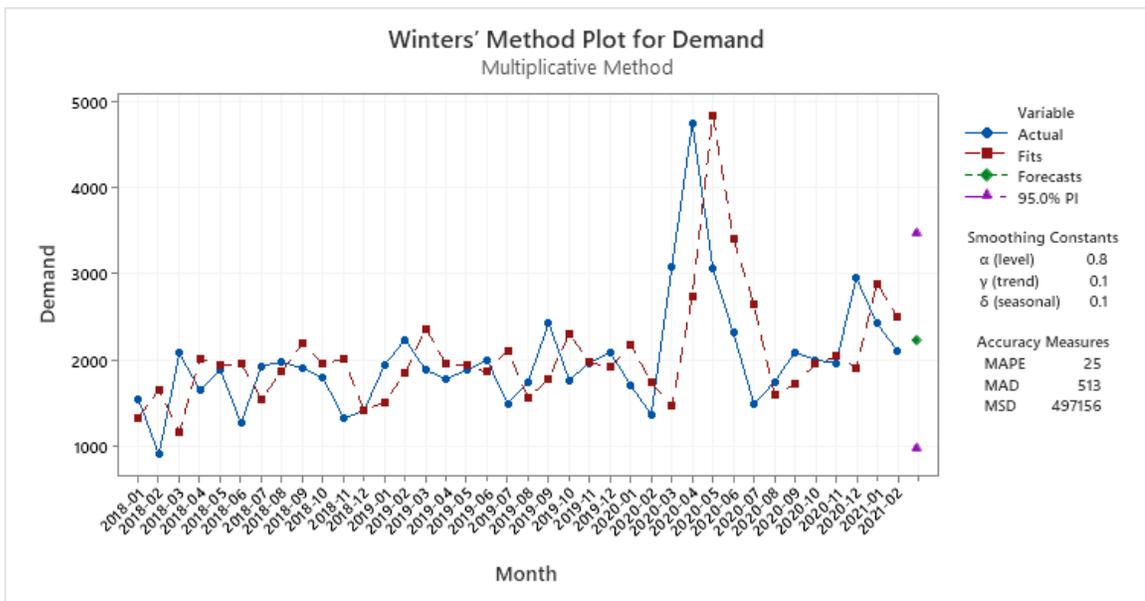


Fig. 5.15 Gráfico de Método Winters con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.80$, $\beta = 0.10$ y $\delta = 0.10$

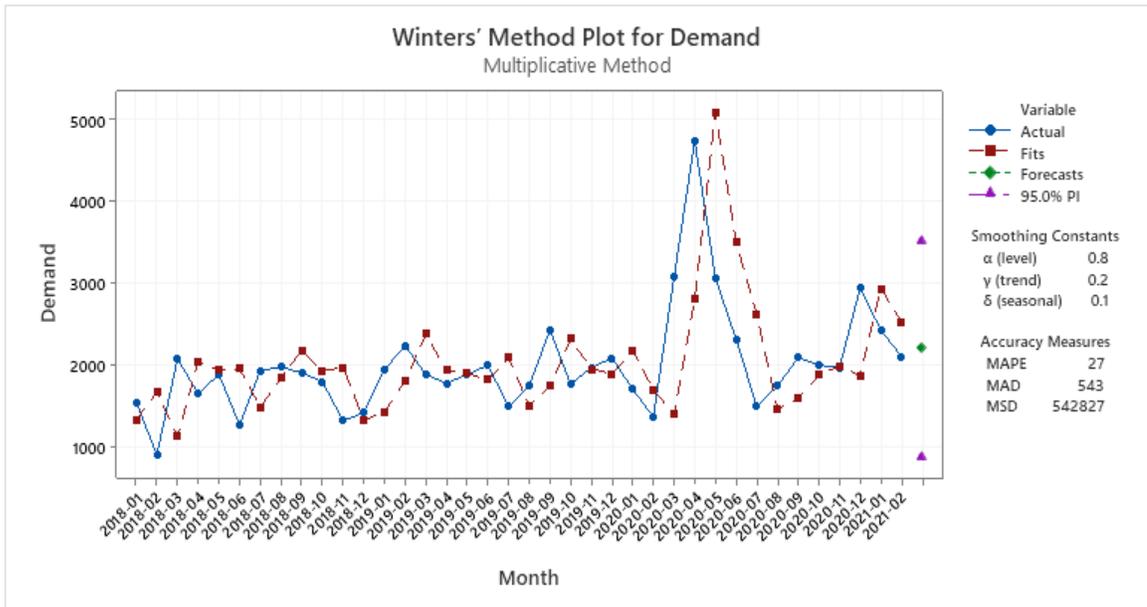


Fig. 5.16 Gráfico de Método Winters con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.80$, $\beta = 0.20$ y $\delta = 0.10$

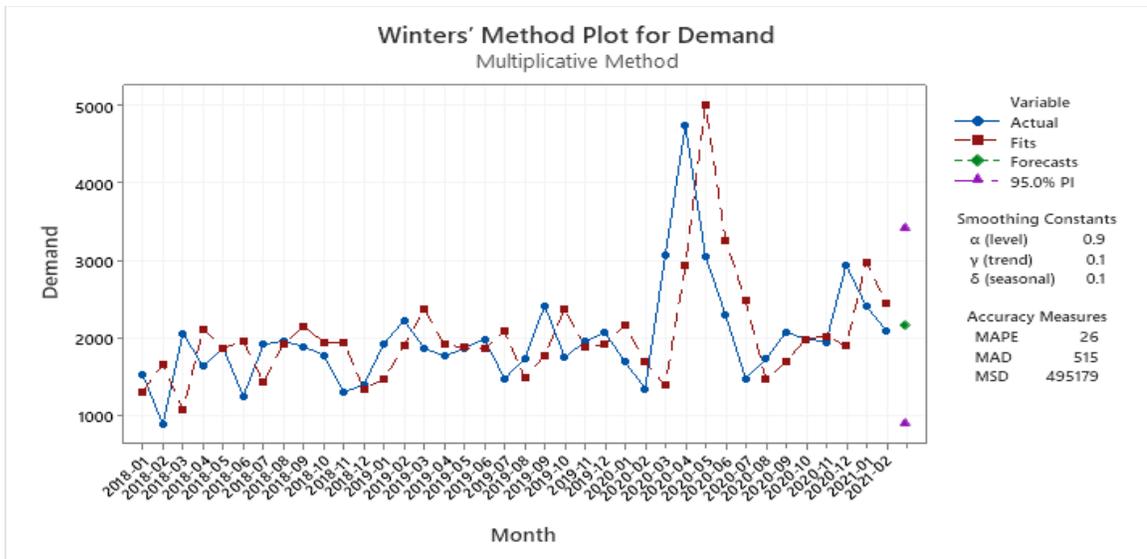


Fig. 5.17 Gráfico de Método Winters con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.90$, $\beta = 0.10$ y $\delta = 0.10$

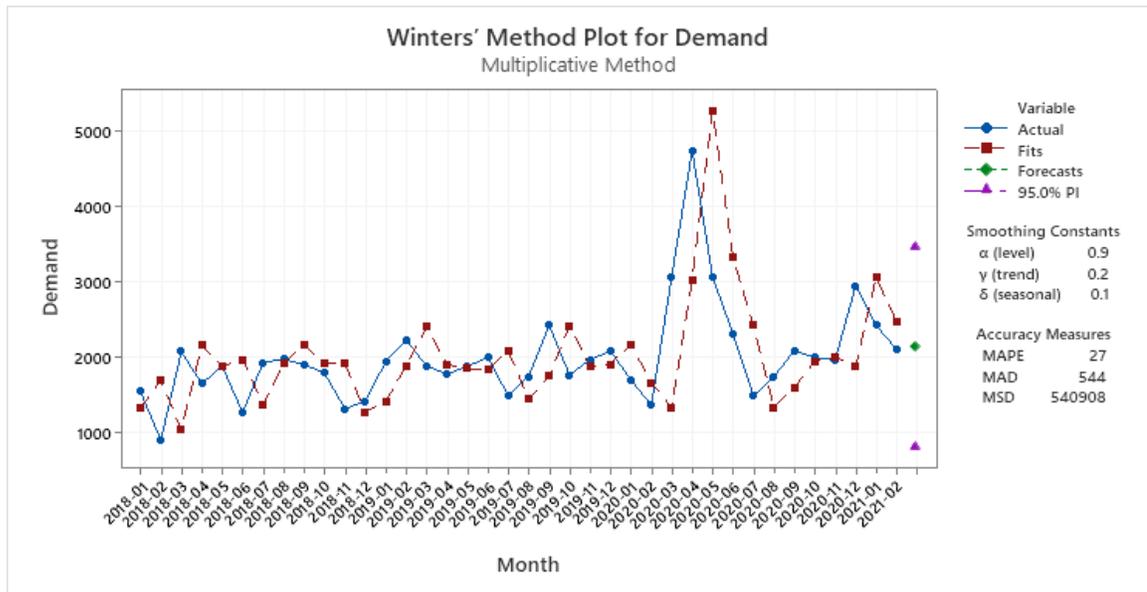


Fig. 5.18 Grafico de Método Winters con Coeficiente de Suavización $\alpha = 0.90$, $\beta = 0.20$ y $\delta = 0.10$

Una vez concluido los análisis, es posible concluir por medio de las características del pronóstico con cada método analizado, cual es el más asertivo para este estudio.

El método de pronóstico de promedios móviles se descarta, ya que, aunque los valores de medición del error son bajos, el comportamiento de la demanda real en comparación con la demanda pronosticada es diferente en la mayoría de los periodos analizados.

El método Winters queda de la misma manera descartado por que el comportamiento de la demanda no presenta estacionalidad y al igual que promedios móviles el comportamiento de la demanda pronosticada es diferente a la demanda real. Este método se probó, solo con la intención de analizar alguna

ciclicidad no perceptible que se pudiera presentar en el comportamiento de la demanda.

Al verificar el método de suavización exponencial simple, se observa que a mayor constante de suavización se obtienen mejores resultados en la comparación del comportamiento de la demanda real con la demanda pronosticada. De la misma manera que con suavización exponencial simple, el método de suavización exponencial doble presenta resultados favorables con constante de suavización para el nivel alta y constante de suavización para la tendencia baja, ya que la demanda presenta un ligero patrón de tendencia al alza.

Se puede concluir que tanto el método de suavización exponencial simple como el método de suavización exponencial doble con constantes de suavización para nivel alta ($\alpha = 0.90$ y $\alpha = 0.80$) y constante de suavización para tendencia baja ($\beta = 0.20$ y $\beta = 0.10$) son indicados para realizar un pronóstico confiable.

Para los periodos estudiados se eligió el método de suavización exponencial doble con constante de suavización para nivel de $\alpha = 0.80$ y constante de suavización para tendencia de $\beta = 0.10$ ya que, aunque el método de suavización exponencial simple presenta un error menor tanto en MAD como en MSE, el comportamiento de la demanda presenta una tendencia ascendente.

Los resultados obtenidos para promedios móviles y los tres métodos de suavización exponencial con constantes de suavización de nivel $\alpha = 0.50$, muestran un error menor tanto en MAD como en MSE, pero la elección del método

está basada en que el comportamiento de la demanda pronosticada se asemeje al comportamiento de la demanda real.

Después de seleccionado el método de pronóstico más asertivo para el producto analizado se procedió a probar la hipótesis estadística mediante una prueba de comparación de medias con el procedimiento de t de Student y de comparación de varianzas donde las muestras corresponden a la demanda pronosticada y la demanda real.

En la figura 5.19 se observa que los datos analizados siguen una distribución normal al obtener un valor de P ($P\text{-Value} = 0.462$) mayor a 0.05 por lo tanto, es posible utilizar pruebas paramétricas de comparación de muestras.

De acuerdo con el valor P ($P\text{-Value} = 0.950$) mostrado en la figura 5.20 se asumen medias iguales por lo tanto es aceptada la hipótesis nula. En la figura 5.21 se observa el diagrama de cajas comparando las medias de demanda y pronóstico respectivamente.

En la figura 5.22 y 5.23 se observa el resultado de la prueba de dos varianzas, de acuerdo con el valor P ($P\text{-Value} = 0.884$) es mayor que el nivel de significancia, por lo tanto, se asumen varianzas iguales.

En la tabla 5.2 se muestran los resultados obtenidos de la demanda pronosticada contra la demanda real a partir del mes de noviembre del 2020.

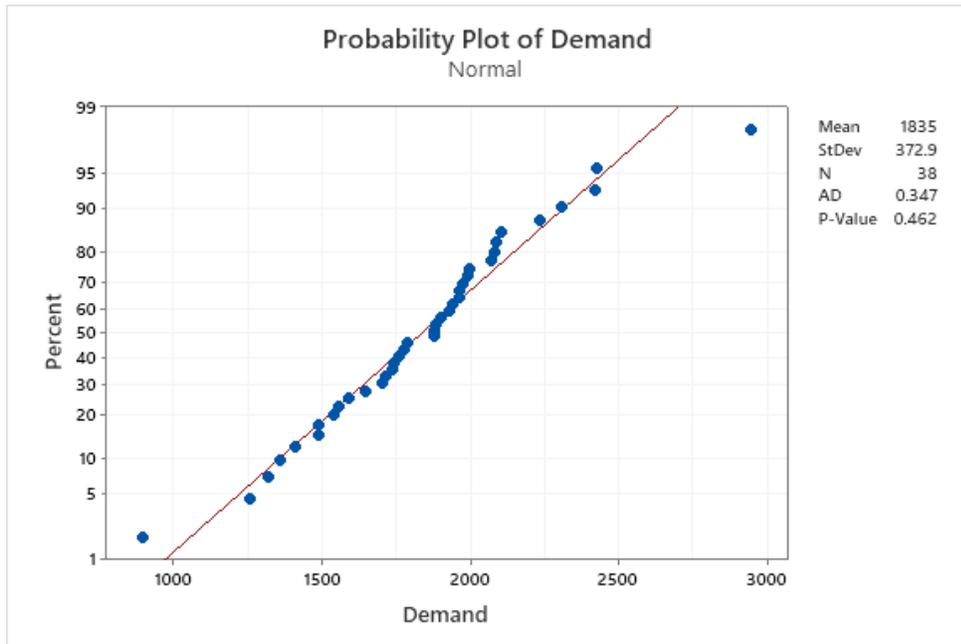


Fig. 5.19 Resultado de la Prueba de Normalidad Anderson-Darling.

Test		
Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
T-Value	DF	P-Value
-0.06	74	0.950

Fig. 5.20 Resultado de la Prueba T de Dos Muestras.

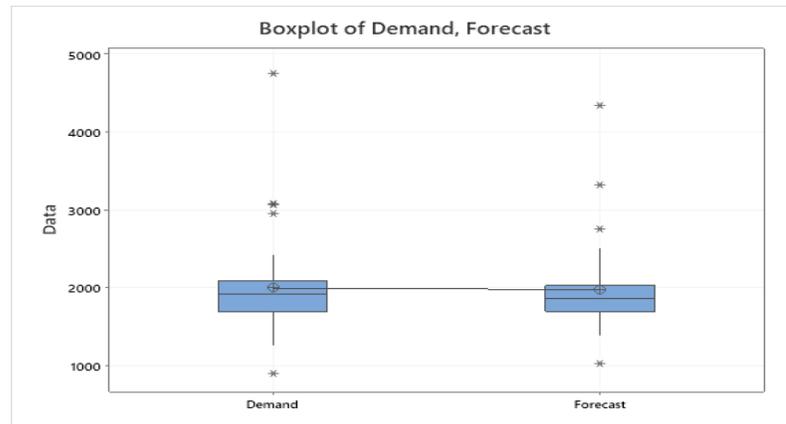


Fig. 5.21 Diagrama de Cajas de Comparación de Medias.

Test				
Null hypothesis	$H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$			
Alternative hypothesis	$H_1: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \neq 1$			
Significance level	$\alpha = 0.05$			
Test				
Method	Statistic	DF1	DF2	P-Value
F	1.05	37	37	0.884

Fig. 5.22 Resultado de la Prueba de Hipótesis Dos Varianzas.

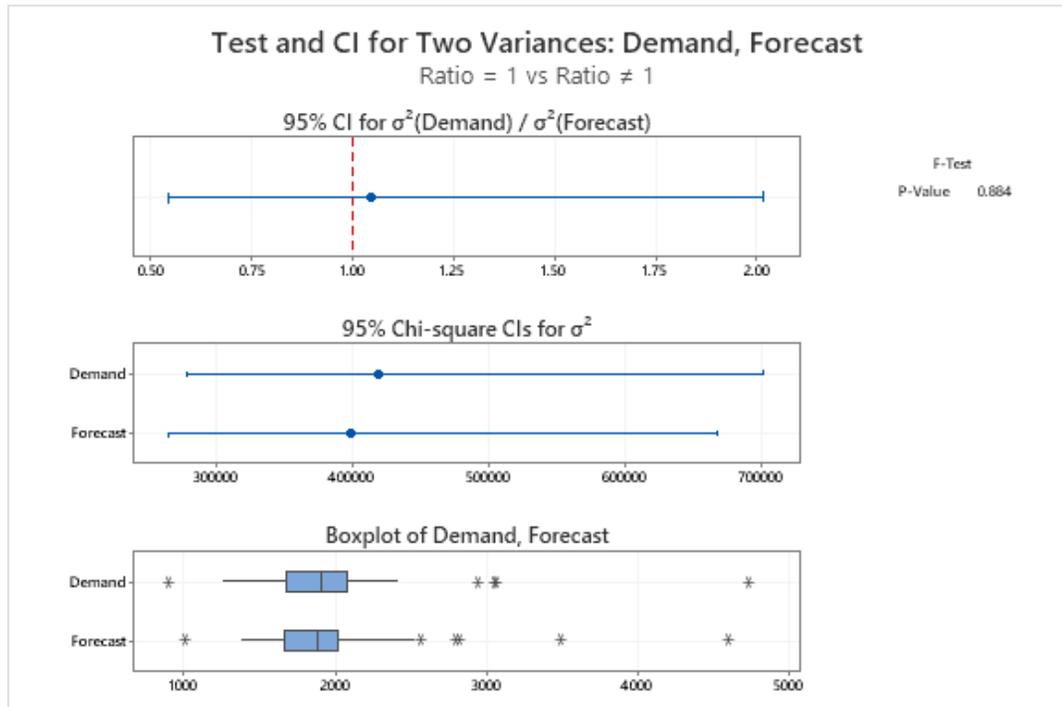


Fig. 5.23 Resultados Gráficos de la Prueba de Hipótesis de Dos Varianzas.

Tabla 5.2 Resultados de Pronóstico Contra Demanda.

Mes	Demanda real	Pronóstico
2020-11	1961	1978.60
2020-12	2946	1947.07
2021-01	2421	2808.68
2021-02	2102	2529.99

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente capítulo da por terminada la investigación, presentando las conclusiones y recomendaciones obtenidas del análisis realizado por medio de métodos de pronóstico para determinar la demanda anticipada del producto PDM.

6.1 Conclusiones

En el segundo capítulo de esta investigación se plantearon preguntas e hipótesis de investigación a probar de manera científica, además se presentaron objetivos a lograr mediante el desarrollo e implementación de un modelo de pronóstico de demanda de un producto de una empresa de producto médico en Ciudad Juárez.

De los modelos de pronóstico seleccionados, el método de suavización exponencial doble fue el que muestra mejores resultados, teniendo un comportamiento regular entre lo pronosticado y la demanda real siendo probado de manera estadística con una prueba de hipótesis de comparación de medias con dos muestras y de comparación de varianzas, mostrando valores que indican que las medias y la dispersión son iguales en ambas muestras.

En base a lo anterior se concluye que con el método seleccionado se le permitirá a la empresa tener datos de demanda anticipada y con esto planear de una manera óptima el producto estudiado, disminuyendo el número de ordenes

vencidas e incrementando el métrico de entrega a tiempo. De igual manera, se considera a la hipótesis planteada en el capítulo 2 de esta investigación como aceptada ya que fue posible determinar de manera anticipada el requerimiento del cliente.

6.2 Recomendaciones

Esta investigación se desarrolló con el propósito de identificar e implementar un modelo de pronóstico que proporcione de manera anticipada el requerimiento del cliente de una manera óptima, como se mencionó en las conclusiones, la hipótesis es aceptada, por lo tanto, el método de pronóstico seleccionado es aplicable a otros productos con comportamiento de demanda similar dentro de la misma empresa.

En base a lo anterior, para futuras investigaciones, se recomienda aplicar el método expuesto en esta investigación ya que cuenta con una validez matemática implicando validez universal. Así mismo se recomienda la implementación del modelo propuesto en empresas del mismo ramo con productos con comportamiento similar al expuesto en esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

- Alarcón, J. (2018). Estrategia y pronóstico del tipo de cambio nominal del dólar en Chile. Estudios Aplicados Universidad Miguel de Cervantes. Vol. 2, No. 5, 15-36.
- Arango, F., Marmolejo, A., Franco, S. y Morillo, D. (2019). Diseño de un modelo de pronóstico de demanda y gestión de inventarios para la empresa Indusquim S.A.S. Facultad de Ingeniería. INGENIERÍA INDUSTRIAL Pontificia Universidad Javeriana 170 Cali, Colombia.
- “Bibliografía Lord Kelvin” (Documento Web). 2012
http://enciclopedia.us.es/index.php/Lord_Kelvin
05 de noviembre del 2019.
- Ballou R. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. 5ta Ed. Pearson Educación. Naucalpan de Juárez, Estado de México, México.
- Ballester-Perez, M., Gonzalez-Pedroso, C. y Perez-Suarez, R. (2004). Modelo estadístico para el pronóstico de la actividad ciclónica en el océano atlántico, el golfo de México y el mar caribe. Revista Cubana de Meteorología Vol. 11, No. 1, 85-92
- Berg, J., Nelson, F. y Rietz, T. (2008). Prediction market accuracy in the long run International Journal of Forecasting 24, 285–300
- Bowersox D, Closs D y Cooper M. (2007). *Administración y logística en la cadena de suministros*. 2da Ed. McGraw-Hill. México D.F. México.
- Castro, C. y Uribe, D. (2010). Optimización de parámetros y de valores de inicio para el modelo de Holt basado en señales de rastreo. Revista EIA, No. 14. 115-124
- Chapman S. (2006). *Planificación y control de la producción*. México: Pearson. Naucalpan de Juárez, Estado de México, México.
- Chase R., Jacobs R. y Aquilano N. (2009) *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros*. 12ma Ed. McGraw-Hill. México D.F. México.
- Chiavenato, I. (2001). *ADMINISTRACION Teoría, proceso y práctica*. 3era Ed. McGraw Hill. Bogotá, D.C., Colombia
- Chopra, S. y Meindl, P. (2013). *Administración de la Cadena de Suministro. Estrategia, Planeación y Operación*. 5ta Ed. Pearson Educación. Naucalpan de Juárez, Estado de México, México.
- Contreras-Juárez, A., Atziry-Zuñiga, C., Martinez-Flores, J. y Sanchez-Partida, D. (2016). Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos. Estudios Gerenciales No. 32, 387-396
- Esparza-Esparza, Y. Rodriguez-Morachis, M, Alvarado Tarango, L. y Sagarnaga-Razcón, V. (2017) ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE UNA CADENA DE SUPERMERCADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE PRONÓSTICOS. Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Tuxpan, Veracruz, México. Vol 9. No. 4. 596-601.

- Gardner, E. y Acar, Y. (2010). Forecasting method selection in a global supply chain. International Journal of Forecasting Vol. 28. No 4. 842-848
- Garza-Rios, R. y Gonzalez-Sanchez, C. (2004). Modelo matemático para la planificación de la producción en la cadena de suministro. Ingeniería Industrial. Vol. 25. No. 2. 26-29.
- Gonzalez-Luna, M. y Rodríguez-Morachis, M. (2017). Analysis and selection of a quantitative forecasting model for an enterprise in the electronic sector. International Journal of Advance Research in Science and Engineering. Vol. 6. No. 5. 171-180.
- Graefe, A. y Armstrong, J. (2011). Comparing face-to-face meetings, nominal groups, Delphi and prediction markets on an estimation task. International Journal of Forecasting. Vol. 27. No 1. 183-195
- Hanke, J. y Wichern, D. (2010). *Pronósticos En Los Negocios*, 9ª. Ed, Pearson Educación, México.
- Heizer, J. y Render, B. (2009). *Principios de Administración de Operaciones*, 7ª. Ed. Pearson Education, México.
- Holt C. (1957). Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. O.N.R. Research Memorandum No. 52. Carnegie Institute of Technology.
- Kandananond, K. (2012). A Comparison of Various Forecasting Methods for Autocorrelated Time Series. International Journal of Engineering Business Management Vol. 4.
- Kaplan, S. "The Evolution of Management Accounting" (Documento Web). (1984). https://web.archive.org/web/20141222130258/http://kczx.gzhu.edu.cn/course_center/files_upload/template/6C473DC0-9248-4A50-A2B2-04741AAD2F02/COLUMN_16/file3/09.pdf. 05 de noviembre del 2019.
- Krajewski L., Ritzman L. y Manhotra M. (2008). *Administración de Operaciones: Procesos y Cadena de Valor*. 8va Ed. Pearson Educación. Naucalpan de Juárez, Estado de México, México.
- Kumar, A. y Suresh, N. (2009). *Operations Management*. NEW AGE INTERNATIONAL (P) LIMITED, PUBLISHERS.
- Madrigal-Espinoza, S. (2014). Modelos de regresión para el pronóstico de series temporales con estacionalidad creciente. *Computación y Sistemas*, Vol. 18, No. 4. 821–831.
- Medina-Zarate, J., Rodríguez-Morachis, M. y Zorrilla-Briones, F. (2015). Análisis e Implementación de un Modelo de Pronósticos para la Planeación de la Producción en un Proceso de Fabricación de Condensadores y Evaporadores. *Investigación Interdisciplinaria*, (1), 4.363-4.368.
- Nahmias, S. (2007). *Análisis de la producción y las operaciones*. 5ta. Ed. McGraw-Hill. México, D.F. México.
- Nava-Nieto, G. (2005). Modelo de pronósticos para el área comercial de una empresa distribuidora de cerveza. Tesis de Maestría en Administración de Empresas con especialidad en Proyectos de Inversión. Universidad de las Américas Puebla.

- Niño-Laguado, J. (2018). Propuesta para la implementación de un método de pronóstico de la demanda del material de embalaje en una empresa distribuidora de dispositivos médicos, Universidad Militar Nueva Granada Facultad de Ingeniería.
- Nigel, S., Chambers, S. y Johnston, R. (2007) *OPERATIONS MANAGEMENT* 5ta Ed. Ed. Prentice Hall.
- Paredes-Roldan, J. (2001) *Planeación y control de la producción* IDIUC, Instituto de Investigaciones, Universidad de Cuenca.
- Peiro Ucha Alfonso "Demanda" (Documento Web) (07 de febrero del 2020) <https://economipedia.com/definiciones/demanda.html>
- Perez, R., Mosquera, S. y Bravo, J. (2012) Aplicación de modelos de pronósticos en productos de consumo masivo. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Vol. 10. No. 2. 117–125.
- Piñón-Gonzalez, M. y Filgueiras-Nodar, J. (2018). Pronóstico de la demanda de turismo espacial suborbital en México: resultados de un estudio a través de Internet. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*. Vol. 16, No 4, 1119-1130.
- Rodríguez-Coy. M. y Rodríguez-Morachis. M. (2010). Aplicación de Métodos de Pronósticos en Productos con Demandas Inciertas. 3er. Congreso Internacional de Investigación CIPITECH, Vol. 3, No. 8, 618-624.
- Ruiz-López, H. (2018). Pronóstico de las exportaciones del cacao ecuatoriano para el 2018 con el uso de modelos de series de tiempo. *INNOVA Research Journal 2018*, Vol. 3, No. 6 9-20
- Sanchez Orochena, K. (2004). *Análisis de la demanda para una empresa dedicada a la comercialización de equipo de cómputo*. Tesis de ingeniería en ingeniería industrial. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
- Serrato-Córdova, J y Rodríguez-Morachis, M. (2014). Análisis y Aplicación de Técnicas de Pronósticos para la Planeación y Control de Inventarios Dentro de una Empresa del Ramo Electrónico. *Congreso Internacional de Investigación Academia Journals*, Vol. 6, No. 5, 4533-4538.
- Sipper, D. y Bulfin, R. (1998). *Planeación y Control de la Producción*, 1ª. Ed. McGraw Hill Interamericana Editores, Mexico, D.F.
- Sotelo-Alarcon, R., Rodríguez-Morachis, M., Zorrilla-Briones, F. y Terrazas, L. (2014). Métodos Estocásticos para el Pronóstico de Inventarios en la Industria de la Distribución de Químicos, un Caso de Estudio. *Academia Journals* Vol. 6, No. 1, 761-766
- Thomas-Manzano, S, Castro-Escobar S y Moya-Arguello, R. (2017). Pronósticos financieros: método de regresión y correlación. Caso: empresa manufacturera. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, Vol. 1, No. 31, 104-110
- Velázquez-Galvis, C., Tabares-Muñoz, J. y Cárdenas-Valencia, M. (2013) Método Delphi para pronósticos: aplicación en un restaurante de Medellín. *III Encuentro de Investigación Formativa Ingeniería Industrial Medellín-Memorias*. 101-110

- Vera, M. y Bustamante, J. (2007). Modelo dinámico para la generación de pronóstico usando redes neurales artificiales (RNA). Visión Gerencial, Vol. 6 No. Especial. 130-142
- Villada, F., Garcia, E. y Molina, J. (2011) Pronóstico del Precio de la Energía Eléctrica usando Redes Neuro-Difusas. Información Tecnológica Vol. 22 No. 6, 111-120.

ANEXOS

ANEXO A
RESULTADOS SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL SIMPLE

Mes	Demanda	$\alpha = 0.7$		$\alpha = 0.8$		$\alpha = 0.9$	
		Pronóstico	Error	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error
2018-01	1542	1549.67	-7.67	1549.67	-7.67	1549.67	-7.67
2018-02	896	1544.30	-648.30	1543.53	-647.53	1542.77	-646.77
2018-03	2073	1090.49	982.51	1025.51	1047.49	960.68	1112.32
2018-04	1644	1778.25	-134.25	1863.50	-219.50	1961.77	-317.77
2018-05	1884	1684.27	199.73	1687.90	196.10	1675.78	208.22
2018-06	1259	1824.08	-565.08	1844.78	-585.78	1863.18	-604.18
2018-07	1927	1428.52	498.48	1376.16	550.84	1319.42	607.58
2018-08	1972	1777.46	194.54	1816.83	155.17	1866.24	105.76
2018-09	1900	1913.64	-13.64	1940.97	-40.97	1961.42	-61.42
2018-10	1790	1904.09	-114.09	1908.19	-118.19	1906.14	-116.14
2018-11	1316	1824.23	-508.23	1813.64	-497.64	1801.61	-485.61
2018-12	1410	1468.47	-58.47	1415.53	-5.53	1364.56	45.44
2019-01	1938	1427.54	510.46	1411.11	526.89	1405.46	532.54
2019-02	2233	1784.86	448.14	1832.62	400.38	1884.75	348.25
2019-03	1881	2098.56	-217.56	2152.92	-271.92	2198.17	-317.17
2019-04	1774	1946.27	-172.27	1935.38	-161.38	1912.72	-138.72
2019-05	1880	1825.68	54.32	1806.28	73.72	1787.87	92.13
2019-06	1994	1863.70	130.30	1865.26	128.74	1870.79	123.21
2019-07	1487	1954.91	-467.91	1968.25	-481.25	1981.68	-494.68
2019-08	1743	1627.37	115.63	1583.25	159.75	1536.47	206.53
2019-09	2426	1708.31	717.69	1711.05	714.95	1722.35	703.65
2019-10	1762	2210.69	-448.69	2283.01	-521.01	2355.63	-593.63
2019-11	1964	1896.61	67.39	1866.20	97.80	1821.36	142.64
2019-12	2082	1943.78	138.22	1944.44	137.56	1949.74	132.26
2020-01	1701	2040.53	-339.53	2054.49	-353.49	2068.77	-367.77
2020-02	1360	1802.86	-442.86	1771.70	-411.70	1737.78	-377.78
2020-03	3070	1492.86	1577.14	1442.34	1627.66	1397.78	1672.22
2020-04	4745	2596.86	2148.14	2744.47	2000.53	2902.78	1842.22
2020-05	3063	4100.56	-1037.56	4344.89	-1281.89	4560.78	-1497.78
2020-06	2309	3374.27	-1065.27	3319.38	-1010.38	3212.78	-903.78
2020-07	1489	2628.58	-1139.58	2511.08	-1022.08	2399.38	-910.38
2020-08	1739	1830.87	-91.87	1693.42	45.58	1580.04	158.96
2020-09	2085	1766.56	318.44	1729.88	355.12	1723.10	361.90

ANEXO A (Continuación)
RESULTADOS SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL SIMPLE

		$\alpha = 0.7$		$\alpha = 0.8$		$\alpha = 0.9$	
Mes	Demanda	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error
2020-10	1997	1989.47	7.53	2013.98	-16.98	2048.81	-51.81
2020-11	1961	1994.74	-33.74	2000.40	-39.40	2002.18	-41.18
2020-12	2946	1971.12	974.88	1968.88	977.12	1965.12	980.88
2021-01	2421	2653.54	-232.54	2750.58	-329.58	2847.91	-426.91
2021-02	2102	2490.76	-388.76	2486.92	-384.92	2463.69	-361.69

ANEXO B
RESULTADOS SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL DOBLE

Mes	Demanda	$\alpha = 0.7$ y $\gamma=0.1$		$\alpha = 0.8$ y $\gamma=0.1$		$\alpha = 0.9$ y $\gamma=0.1$	
		Pronóstico	Error	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error
2018-01	1542	1529.838	12.16194	1529.838	12.16194	1529.838	12.16194
2018-02	896	1564.283	-668.283	1565.62	-669.62	1566.958	-670.958
2018-03	2073	1075.636	997.3638	1002.407	1070.593	928.884	1144.116
2018-04	1644	1822.758	-178.758	1917.012	-273.012	2027.347	-383.347
2018-05	1884	1734.081	149.9188	1734.892	149.1079	1716.592	167.4079
2018-06	1259	1885.973	-626.973	1902.397	-643.397	1916.583	-657.583
2018-07	1927	1450.152	476.8482	1384.426	542.5741	1314.9	612.1
2018-08	1972	1820.385	151.615	1858.638	113.3623	1911.021	60.97938
2018-09	1900	1973.568	-73.568	1998.549	-98.549	2016.621	-116.621
2018-10	1790	1963.973	-173.973	1961.047	-171.047	1951.885	-161.885
2018-11	1316	1871.917	-555.917	1851.863	-535.863	1831.842	-515.842
2018-12	1410	1473.585	-63.5854	1407.957	2.042655	1346.812	63.18834
2019-01	1938	1415.435	522.5649	1394.54	543.4604	1388.596	549.4044
2019-02	2233	1804.17	428.8304	1857.733	375.2671	1917.42	315.5796
2019-03	1881	2157.308	-276.308	2216.393	-335.393	2264.205	-383.205
2019-04	1774	1997.508	-223.508	1979.693	-205.693	1947.595	-173.595
2019-05	1880	1859.022	20.97756	1830.298	49.7019	1804.01	75.9895
2019-06	1994	1893.145	100.8548	1889.195	104.8048	1891.891	102.1089
2019-07	1487	1990.242	-503.242	2000.559	-513.559	2012.469	-525.469
2019-08	1743	1629.244	113.7561	1576.147	166.853	1520.935	222.0655
2019-09	2426	1708.107	717.8925	1709.413	716.5871	1722.167	703.833
2019-10	1762	2260.119	-498.119	2339.793	-577.793	2420.335	-658.335
2019-11	1964	1926.054	37.94585	1888.446	75.5544	1833.302	130.6981
2019-12	2082	1969.891	112.1091	1965.82	116.1795	1968.161	113.8386
2020-01	1701	2073.49	-372.49	2084.99	-383.99	2098.093	-397.093
2020-02	1360	1811.795	-451.795	1773.304	-413.304	1732.448	-372.448
2020-03	3070	1462.961	1607.039	1405.103	1664.897	1355.463	1714.537
2020-04	4745	2667.803	2077.197	2832.655	1912.345	3011.073	1733.927
2020-05	3063	4347.16	-1284.16	4611.152	-1548.15	4840.187	-1777.19
2020-06	2309	3583.676	-1274.68	3497.4	-1188.4	3349.352	-1040.35
2020-07	1489	2737.603	-1248.6	2576.377	-1087.38	2428.037	-939.037
2020-08	1739	1822.379	-83.3791	1649.183	89.81735	1513.392	225.6083
2020-09	2085	1716.975	368.0246	1670.929	414.0709	1667.232	417.768

ANEXO B (Continuación)
RESULTADOS SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL DOBLE

		$\alpha = 0.7$ y $\gamma=0.1$		$\alpha = 0.8$ y $\gamma=0.1$		$\alpha = 0.9$ y $\gamma=0.1$	
Mes	Demanda	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error
2020-10	1997	1953.316	43.68402	1985.204	11.79593	2031.615	-34.6151
2020-11	1961	1965.676	-4.67604	1978.603	-17.6027	1985.738	-24.7381
2020-12	2946	1943.857	1002.143	1947.074	998.9258	1946.524	999.4761
2021-01	2421	2696.961	-275.961	2808.683	-387.683	2919.055	-498.055
2021-02	2102	2536.075	-434.075	2529.99	-427.99	2498.984	-396.984

		$\alpha = 0.7$ y $\gamma=0.2$		$\alpha = 0.8$ y $\gamma=0.2$		$\alpha = 0.9$ y $\gamma=0.2$	
Mes	Demanda	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error
2018-01	1542	1529.838	12.16194	1529.838	12.16194	1529.838	12.16194
2018-02	896	1565.134	-669.134	1566.593	-670.593	1568.053	-672.053
2018-03	2073	1029.844	1043.156	949.8495	1123.15	869.5048	1203.495
2018-04	1644	1839.199	-195.199	1947.805	-303.805	2075.579	-431.579
2018-05	1884	1754.377	129.6226	1755.587	128.4129	1732.402	151.5977
2018-06	1259	1915.078	-656.078	1929.69	-670.69	1941.372	-682.372
2018-07	1927	1433.937	493.0625	1357.2	569.8002	1276.942	650.0578
2018-08	1972	1826.224	145.776	1868.27	103.7301	1928.71	43.29039
2018-09	1900	1995.819	-95.8186	2023.081	-123.081	2042.179	-142.179
2018-10	1790	1982.882	-192.882	1976.75	-186.75	1963.133	-173.133
2018-11	1316	1874.998	-558.998	1849.604	-533.604	1825.065	-509.065
2018-12	1410	1432.573	-22.5729	1359.598	50.40203	1293.026	116.9737
2019-01	1938	1362.485	575.5148	1344.861	593.1389	1345.478	592.5223
2019-02	2233	1791.631	441.369	1859.216	373.784	1932.577	300.4231
2019-03	1881	2188.666	-307.666	2257.892	-376.892	2310.863	-429.863
2019-04	1774	2018.304	-244.304	1995.725	-221.725	1954.516	-180.516
2019-05	1880	1858.092	21.90763	1822.215	57.78459	1790.089	89.91136
2019-06	1994	1887.296	106.704	1881.559	112.441	1885.23	108.7701
2019-07	1487	1990.796	-503.796	2002.618	-515.618	2016.923	-529.923
2019-08	1743	1596.414	146.5858	1538.731	204.2687	1478.406	264.5941
2019-09	2426	1677.822	748.1782	1683.437	742.5632	1702.581	723.4189
2019-10	1762	2285.089	-523.089	2377.588	-615.588	2469.914	-707.914
2019-11	1964	1929.237	34.76331	1886.724	77.27579	1821.623	142.3772
2019-12	2082	1968.748	113.2521	1962.516	119.4844	1964.222	117.7784
2020-01	1701	2079.057	-378.057	2091.191	-390.191	2105.882	-404.882

ANEXO B (Continuación)
RESULTADOS SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL DOBLE

Mes	Demanda	$\alpha = 0.7$ y $\gamma=0.2$		$\alpha = 0.8$ y $\gamma=0.2$		$\alpha = 0.9$ y $\gamma=0.2$	
		Pronóstico	Error	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error
2020-02	1360	1792.521	-432.521	1749.696	-389.696	1704.269	-344.269
2020-03	3070	1407.308	1662.692	1346.245	1723.755	1295.239	1774.761
2020-04	4745	2721.52	2023.48	2909.356	1835.644	3112.793	1632.207
2020-05	3063	4571.571	-1508.57	4855.681	-1792.68	5095.846	-2032.85
2020-06	2309	3737.987	-1428.99	3612.517	-1303.52	3414.439	-1105.44
2020-07	1489	2760.053	-1271.05	2552.122	-1063.12	2368.719	-879.719
2020-08	1739	1714.726	24.2743	1513.943	225.0569	1367.798	371.2023
2020-09	2085	1579.526	505.4742	1542.317	542.6835	1559.522	525.478
2020-10	1997	1851.932	145.0677	1911.621	85.37945	1984.68	12.31954
2020-11	1961	1892.364	68.63632	1928.742	32.25793	1950.214	10.78617
2020-12	2946	1888.902	1057.098	1908.528	1037.472	1916.309	1029.691
2021-01	2421	2725.357	-304.357	2858.48	-437.48	2984.763	-563.763
2021-02	2102	2566.184	-464.184	2558.474	-456.474	2517.631	-415.631

ANEXO C
RESULTADOS MÉTODO WINTERS

Mes	Demanda	$\alpha=0.7, \gamma=0.1$ y $\delta=0.1$		$\alpha=0.7, \gamma=0.2$ y $\delta=0.1$		$\alpha=0.8, \gamma=0.1$ y $\delta=0.1$	
		Pronóstico	Error	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error
2018-01	1542	1323.175	218.825	1323.175	218.825	1323.175	218.825
2018-02	896	1623.695	-727.695	1638.853	-742.853	1647.515	-751.515
2018-03	2073	1244.437	828.5626	1210.583	862.4174	1166.516	906.4843
2018-04	1644	1927.844	-283.844	1940.828	-296.828	2013.531	-369.531
2018-05	1884	1967.447	-83.4472	1975.207	-91.2067	1933	-48.9996
2018-06	1259	1949.694	-690.694	1944.869	-685.869	1956.295	-697.295
2018-07	1927	1640.15	286.8501	1584.924	342.0758	1544.783	382.2166
2018-08	1972	1831.878	140.1223	1788.875	183.125	1870.456	101.5441
2018-09	1900	2198.497	-298.497	2178.073	-278.073	2189.886	-289.886
2018-10	1790	1956.911	-166.911	1922.161	-132.161	1953.074	-163.074
2018-11	1316	2055.029	-739.029	2011.186	-695.186	2008.537	-692.537
2018-12	1410	1477.259	-67.2588	1387.56	22.43963	1412.081	-2.08085
2019-01	1938	1542.852	395.1484	1445.162	492.8384	1507.232	430.7682
2019-02	2233	1784.731	448.2689	1728.306	504.6939	1838.53	394.4702
2019-03	1881	2325.983	-444.983	2322.598	-441.598	2362.437	-481.437
2019-04	1774	1971.827	-197.827	1950.994	-176.994	1951.836	-177.836
2019-05	1880	1973.053	-93.0527	1937.055	-57.0548	1931.116	-51.1162
2019-06	1994	1856.796	137.2044	1815.014	178.9863	1855.6	138.4001
2019-07	1487	2105.456	-618.456	2078.241	-591.241	2104.554	-617.554
2019-08	1743	1607.063	135.9372	1545.794	197.2057	1553.969	189.0311
2019-09	2426	1785.175	640.8252	1731.296	694.7042	1782.533	643.4673
2019-10	1762	2224.662	-462.662	2225.533	-463.533	2301.18	-539.18
2019-11	1964	2014.818	-50.8183	1998.465	-34.4655	1966.248	-2.24768
2019-12	2082	1912.273	169.7274	1888.924	193.0762	1913.058	168.942
2020-01	1701	2173.487	-472.487	2164.792	-463.792	2177.204	-476.204
2020-02	1360	1768.46	-408.46	1732.28	-372.28	1731.473	-371.473
2020-03	3070	1519.09	1550.91	1449.661	1620.339	1458.275	1611.725
2020-04	4745	2570.065	2174.935	2607.466	2137.534	2740.771	2004.229
2020-05	3063	4614.99	-1551.99	4847.687	-1784.69	4844.51	-1781.51
2020-06	2309	3498.155	-1189.16	3633.704	-1324.7	3404.418	-1095.42
2020-07	1489	2815.455	-1326.46	2824.937	-1335.94	2647.31	-1158.31
2020-08	1739	1761.191	-22.1912	1643.851	95.14927	1601.291	137.7086
2020-09	2085	1754.792	330.2076	1612.568	472.4318	1715.509	369.4911

ANEXO C (Continuación)
RESULTADOS MÉTODO WINTERS

		$\alpha=0.7, \gamma=0.1$ y $\delta=0.1$		$\alpha=0.7, \gamma=0.2$ y $\delta=0.1$		$\alpha=0.8, \gamma=0.1$ y $\delta=0.1$	
Mes	Demanda	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error
2020-10	1997	1916.472	80.52801	1815.539	181.4613	1949.633	47.36675
2020-11	1961	2027.988	-66.9883	1954.236	6.764458	2036.611	-75.6106
2020-12	2946	1905.626	1040.374	1848.502	1097.498	1907.276	1038.724
2021-01	2421	2775.217	-354.217	2803.352	-382.352	2884.948	-463.948
2021-02	2102	2515.668	-413.668	2540.956	-438.956	2497.718	-395.718

		$\alpha=0.8, \gamma=0.2$ y $\delta=0.1$		$\alpha=0.9, \gamma=0.1$ y $\delta=0.1$		$\alpha=0.9, \gamma=0.2$ y $\delta=0.1$	
Mes	Demanda	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error
2018-01	1542	1323.175	218.825	1323.175	218.825	1323.175	218.825
2018-02	896	1664.839	-768.839	1671.336	-775.336	1690.826	-794.826
2018-03	2073	1123.845	949.1549	1083.57	989.4301	1031.1	1041.9
2018-04	1644	2036.9	-392.9	2118.955	-474.955	2156.596	-512.596
2018-05	1884	1938.211	-54.2109	1878.671	5.329121	1876.86	7.139834
2018-06	1259	1949.716	-690.716	1973.106	-714.106	1966.077	-707.077
2018-07	1927	1481.91	445.0897	1446.776	480.2237	1376.462	550.5376
2018-08	1972	1835.671	136.3288	1936.009	35.99098	1913.801	58.19854
2018-09	1900	2178.023	-278.023	2165.71	-265.71	2158.352	-258.352
2018-10	1790	1920.856	-130.856	1957.822	-167.822	1926.66	-136.66
2018-11	1316	1967.014	-651.014	1955.618	-639.618	1914.627	-598.627
2018-12	1410	1321.203	88.797	1360.097	49.90276	1268.516	141.4838
2019-01	1938	1420.207	517.7926	1481.451	456.549	1405.864	532.1357
2019-02	2233	1800.477	432.5227	1908.384	324.6156	1887.689	345.3111
2019-03	1881	2374.851	-493.851	2377.627	-496.627	2398.431	-517.431
2019-04	1774	1930.689	-156.689	1929.847	-155.847	1903.98	-129.98
2019-05	1880	1894.048	-14.0481	1886.376	-6.37631	1847.907	32.09348
2019-06	1994	1816.665	177.3346	1869.835	124.1645	1835.532	158.4679
2019-07	1487	2084.141	-597.141	2096.541	-609.541	2081.685	-594.685
2019-08	1743	1491.373	251.6274	1505.632	237.3679	1440.413	302.5872
2019-09	2426	1737.049	688.951	1785.4	640.5998	1749.085	676.915
2019-10	1762	2316.581	-554.581	2386.653	-624.653	2415.351	-653.351
2019-11	1964	1948.029	15.97141	1895.889	68.11097	1870.104	93.8964
2019-12	2082	1889.854	192.1462	1929.164	152.8356	1907.568	174.4316
2020-01	1701	2172.473	-471.473	2172.854	-471.854	2171.558	-470.558

ANEXO C (Continuación)
RESULTADOS MÉTODO WINTERS

Mes	Demanda	$\alpha=0.8, \gamma=0.2$ y $\delta=0.1$		$\alpha=0.9, \gamma=0.1$ y $\delta=0.1$		$\alpha=0.9, \gamma=0.2$ y $\delta=0.1$	
		Pronóstico	Error	Pronóstico	Error	Pronóstico	Error
2020-02	1360	1692.397	-332.397	1699.415	-339.415	1656.92	-296.92
2020-03	3070	1388.098	1681.902	1400.995	1669.005	1331.309	1738.691
2020-04	4745	2801.445	1943.555	2937.528	1807.472	3023.896	1721.104
2020-05	3063	5097.017	-2034.02	5013.548	-1950.55	5274.586	-2211.59
2020-06	2309	3501.517	-1192.52	3270.301	-961.301	3319.641	-1010.64
2020-07	1489	2613.133	-1124.13	2489.119	-1000.12	2423.193	-934.193
2020-08	1739	1459.487	279.513	1480.436	258.5638	1329.023	409.9772
2020-09	2085	1583.629	501.3714	1710.1	374.8996	1599.109	485.8913
2020-10	1997	1874.013	122.9867	1997.924	-0.92407	1945.908	51.09166
2020-11	1961	1984.53	-23.5297	2034.725	-73.7251	1996.451	-35.4511
2020-12	2946	1864.134	1081.866	1910.305	1035.695	1874.347	1071.653
2021-01	2421	2933.901	-512.901	2986.926	-565.926	3052.467	-631.467
2021-02	2102	2520.476	-418.476	2461.415	-359.415	2473.885	-371.885