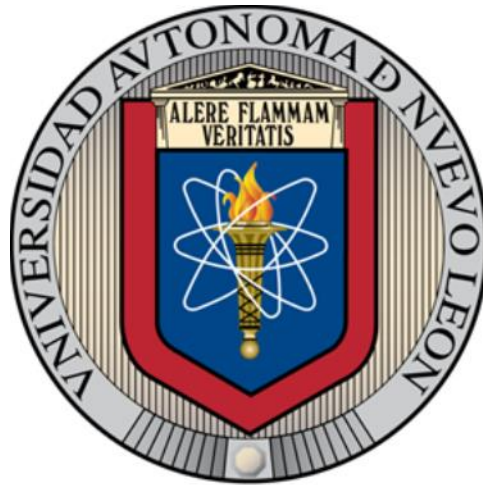


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**DISMINUCIÓN DE DESABASTO MEDIANTE UN
PRONÓSTICO DE DEMANDA Y UNA POLÍTICA DE
INVENTARIOS**

POR

EDUARDO RAFAEL GALLEGOS TORRES

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

JUNIO, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**DISMINUCIÓN DE DESABASTO MEDIANTE UN
PRONÓSTICO DE DEMANDA Y UNA POLÍTICA DE
INVENTARIOS**

POR

EDUARDO RAFAEL GALLEGOS TORRES

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

JUNIO, 2019

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Subdirección de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Disminución de desabasto mediante un pronóstico de demanda y una política de inventarios», realizada por el alumno Eduardo Rafael Gallegos Torres, con número de matrícula 1885192, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis



Dr. Miguel Mata Pérez
Asesor



Dr. Rodolfo Garza Morales
Revisor



Mtro. Jesús Amador Cepeda Niño
Revisor

Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez
Subdirección de Estudios de Posgrado



San Nicolás de los Garza, Nuevo León, junio 2019

*A mis padres, Ricardo y Lilia Magdalena, y a mi hermano, Ricardo Daniel,
porque la distancia no nos ha separado, y este logro es también de ustedes.*

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	XIII
Resumen	xv
1. Introducción	1
1.1. Problema	1
1.2. Objetivo	3
1.3. Hipótesis	4
1.4. Justificación	4
1.5. Metodología	6
1.6. Contenido	7
2. Antecedentes	9
2.1. La empresa	9
2.2. Efecto látigo	11
2.3. Series de tiempo	12
2.4. Pronósticos de demanda	13

2.4.1. Promedio móvil	14
2.4.2. Suavización exponencial	15
2.4.3. Suavización exponencial doble: Modelo de Holt-Winters	15
2.5. Control de inventarios	16
2.5.1. Clasificación ABC	17
2.5.2. Ordenar a S	18
2.5.3. Política (s, S)	18
2.5.4. Política (s, Q)	19
2.5.5. Política (R, S)	20
2.5.6. Política (R, s, Q)	20
2.5.7. Política (R, s, S)	20
2.5.8. Política de ajuste	21
2.6. Estrategias utilizadas	21
2.7. Conclusiones del capítulo	22
3. Metodología	23
3.1. Selección del método de pronóstico	24
3.2. Selección de política de inventarios	26
3.3. Adaptación de la herramienta integrada	26
4. Análisis y resultados	28
4.1. Selección del método de pronóstico	28

4.2. Selección de política de inventarios	29
4.3. Adaptación de la herramienta integrada	31
4.3.1. Pronóstico de demanda: Promedio móvil	31
4.3.2. Pronóstico de demanda: Promedio móvil ponderado	36
4.3.3. Pronóstico de demanda: Suavización exponencial	41
4.3.4. Pronóstico de demanda: Holt-Winters	42
4.3.5. Política de inventarios	49
4.4. Resultados	53
5. Conclusiones y recomendaciones	55
5.1. Contribuciones a la cadena de suministro	56
5.2. Líneas de continuidad	56
A. Tablas de pronósticos	58
B. Proyección de inventarios	95

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Diagrama de flujo de arneses (elaboración propia)	3
3.1. Metodología propuesta (elaboración propia)	24
4.1. Promedio móvil, $n=2$ (elaboración propia)	34
4.2. Promedio móvil, $n=3$ (elaboración propia)	34
4.3. Promedio móvil, $n=4$ (elaboración propia)	35
4.4. Promedio móvil, $n=5$ (elaboración propia)	35
4.5. Promedio móvil, $n=6$ (elaboración propia)	36
4.6. Promedio móvil ponderado, $n=2$ (elaboración propia)	38
4.7. Promedio móvil ponderado, $n=3$ (elaboración propia)	39
4.8. Promedio móvil ponderado, $n=4$ (elaboración propia)	39
4.9. Promedio móvil ponderado, $n=5$ (elaboración propia)	40
4.10. Promedio móvil ponderado, $n=6$ (elaboración propia)	40
4.11. Suavización exponencial, $\alpha=0.35$ (elaboración propia)	43
4.12. Suavización exponencial, $\alpha=0.50$ (elaboración propia)	43

4.13. Suavización exponencial, $\alpha=0.80$ (elaboración propia)	44
4.14. Suavización exponencial, $\alpha=0.90$ (elaboración propia)	44
4.15. Holt-Winters, $\alpha=0.35$ (elaboración propia)	47
4.16. Holt-Winters, $\alpha=0.50$ (elaboración propia)	47
4.17. Holt-Winters, $\alpha=0.80$ (elaboración propia)	48
4.18. Holt-Winters, $\alpha=0.90$ (elaboración propia)	48

ÍNDICE DE TABLAS

1.1. Gastos en transportes expeditados (elaboración propia con datos de Yazaki)	5
2.1. Tabla comparativa de métodos de pronóstico utilizados (elaboración propia)	21
2.2. Tabla comparativa de métodos de inventarios utilizados (elaboración propia)	21
3.1. Criterios de elección de método de pronósticos (elaboración propia) .	25
3.2. Criterios de elección de política de inventarios (elaboración propia) .	27
4.1. Errores porcentuales medios absolutos: Promedio móvil (elaboración propia)	33
4.2. Ponderaciones: Promedio móvil ponderado (elaboración propia) . . .	37
4.3. Errores porcentuales medios absolutos: Promedio móvil ponderado (elaboración propia)	38
4.4. Errores porcentuales medios absolutos: Suavización exponencial (elaboración propia)	42

4.5. Errores porcentuales medios absolutos: Holt-Winters (elaboración propia)	46
4.6. Porcentajes de desabasto (elaboración propia)	51
4.7. Costos promedio de mantener inventario (elaboración propia)	51
4.8. Costos estimados de expeditaciones (elaboración propia)	52
4.9. Costos estimados totales (elaboración propia)	53
A.1. Promedio móvil, $n=2$	59
A.2. Promedio móvil, $n=3$	61
A.3. Promedio móvil, $n=4$	63
A.4. Promedio móvil, $n=5$	65
A.5. Promedio móvil, $n=6$	67
A.6. Promedio móvil ponderado, $n=2$	69
A.7. Promedio móvil ponderado, $n=3$	71
A.8. Promedio móvil ponderado, $n=4$	73
A.9. Promedio móvil ponderado, $n=5$	75
A.10. Promedio móvil ponderado, $n=6$	77
A.11. Suavización exponencial, $\alpha=0.35$	79
A.12. Suavización exponencial, $\alpha=0.5$	81
A.13. Suavización exponencial, $\alpha=0.8$	83
A.14. Suavización exponencial, $\alpha=0.9$	85

A.15.Holt-Winters, $\alpha=0.35$	87
A.16.Holt-Winters, $\alpha=0.5$	89
A.17.Holt-Winters, $\alpha=0.8$	91
A.18.Holt-Winters, $\alpha=0.9$	93
B.1. Proyección de inventarios, 5 días	95
B.2. Proyección de inventarios, 6 días	96
B.3. Proyección de inventarios, 7 días	96
B.4. Proyección de inventarios, 7.30 días	97
B.5. Proyección de inventarios, 7.76 días	98
B.6. Proyección de inventarios, 8 días	98
B.7. Proyección de inventarios, 8.29 días	99

AGRADECIMIENTOS

A mi comité de tesis, el Dr. Rodolfo Garza Morales y el Mtro. Jesús Amador Cepeda Niño, por su colaboración y su esfuerzo para que esta tesis se lograra de la mejor manera.

Especialmente a mi tutor, el Dr. Miguel Mata Pérez, por su apoyo invaluable durante mis estudios de maestría y su guía durante la realización de este proyecto.

A mis profesores, con quienes tuve la fortuna de convivir semana a semana, por los conocimientos transmitidos y las experiencias adquiridas, y que además de ser excelente docentes, me quedo con los recuerdos de ser aún mejores personas.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, por haber sido mi segunda casa durante los últimos dos años y haberme dado la oportunidad de estudiar esta maestría.

A mis compañeros, que tras las horas compartidas en las aulas llegaron a convertirse en amigos.

A mi madre, que a pesar de la distancia nunca ha dejado de demostrarme su amor y motivarme a seguir dando lo mejor de mí todos los días.

A mi hermano, que para fortuna mía es también mi mejor amigo, por estar siempre que he necesitado de él y podemos compartir los momentos buenos y malos.

A mi padre, porque una vez más, ha sido mi más grande apoyo y ejemplo, y esto no hubiera sido posible sin él.

A Dios, que continúa dándome la oportunidad de vivir para ver mis sueños hechos realidad.

Y a todos aquellos que de alguna u otra manera colaboraron para que hoy yo logre cumplir esta meta.

Gracias.

RESUMEN

Eduardo Rafael Gallegos Torres.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: DISMINUCIÓN DE DESABASTO MEDIANTE UN PRONÓSTICO DE DEMANDA Y UNA POLÍTICA DE INVENTARIOS.

Número de páginas: 102.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: Este proyecto tiene como objetivo contribuir a la disminución del desabasto de producto terminado que es causado por las variaciones en la demanda del cliente en una empresa fabricante de arneses automotrices. Para dicha finalidad se pusieron a prueba distintos métodos de pronóstico de demanda y de políticas de inventarios, tras lo cual se creó una herramienta integrada capaz de dar solución efectiva a la problemática de la empresa.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Las herramientas cuantitativas puestas a prueba han demostrado ser de suma utilidad en la búsqueda de la reducción de costos y mejoramiento de las operaciones en la empresa bajo estudio, sin dejar de lado el objetivo de mantener e incrementar la satisfacción del cliente. Las principales contribuciones de este proyecto fueron el lograr anticiparse a las variaciones en los

requerimientos, la reducción del desabasto de producto terminado, la reducción de operaciones y costos extraordinarios como tiempo extra o transportes expeditados, y el propiciar una mejor planeación de la producción.

Firma del asesor: _____

Dr. Miguel Mata Pérez

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Un punto clave en el correcto funcionamiento de la cadena de suministro es el pronóstico de demanda que un cliente le hace llegar a sus proveedores. Cuando este llega a ser incorrecto o inconsistente, se incurre en gastos que no se tenían contemplados, lo que causa una interrupción en los procesos.

De acuerdo con Méndez (2003), el pronosticar es una ciencia que consiste en predecir eventos. Esta ciencia puede tomar datos históricos que sean proyectados hacia el futuro con apoyo de alguna herramienta, o puede estar basada en la intuición de quien realiza el pronóstico. Sin embargo, también de acuerdo con Méndez Giraldo, pronosticar una demanda no es sencillo, pues los pronósticos no son perfectos, por lo general representan un alto costo y toma tiempo prepararlos.

Para este proyecto se presenta el caso de estudio de la empresa japonesa fabricante de arneses automotrices Yazaki, específicamente para la planta de manufactura de Colima y el centro de distribución de Poncitlán.

1.1 PROBLEMA

Toda empresa busca la manera en que le sea posible disminuir sus costos y aumentar sus utilidades. Las empresas del ramo automotriz no son la excepción.

Grandes automotrices como Ford, General Motors, Honda o Toyota buscan estrategias para reducir sus costos logísticos (REUTERS, 2015). Un aspecto clave en la búsqueda de conseguir esto es la transmisión precisa de información a proveedores acerca de los requerimientos.

En los últimos dos años, los departamentos de Planeación y Control de Producción de las plantas de manufactura de Yazaki han notado inconsistencias en la información que las filiales en Estados Unidos y México les transmiten sobre la demanda de los clientes que, para efecto de este proyecto, son las plantas ensambladoras automotrices. Así mismo, estas filiales constantemente notan estas inconsistencias en los requerimientos que reciben de parte de dichos clientes. Incrementos y decrementos en la demanda son comunes.

Esta situación afecta principalmente a las plantas de producción y a los almacenes de producto terminado, conocidos como centros de distribución. Un decremento en la demanda genera exceso de inventario y de mano de obra, así como potencial obsolescencia. Por otro lado, un incremento en la misma se traduciría en riesgo de paro de líneas de producción por materia prima faltante, así como riesgo de expedición vía aérea de material y/o producto terminado. De una manera u otra, el resultado final es un incremento en los costos y un desabasto tanto de materia prima como de producto terminado.

En la cadena de suministro bajo estudio, se tiene un centro de distribución de materia prima, el cual es surtido por los proveedores. Este centro de distribución provee la materia prima a la planta de manufactura, la cual, una vez producidos los arneses, los envía a un centro de distribución de producto terminado. Es este centro de distribución quien recibe directamente los requerimientos de las plantas ensambladoras automotrices y el responsable de enviarlos a dichas plantas. Una vez que los arneses se encuentran en la planta ensambladora y el automóvil es construido, estos son enviados a las agencias automotrices, quienes venden el vehículo al cliente final.

Dicho proceso se ejemplifica gráficamente en la siguiente figura 1.1:

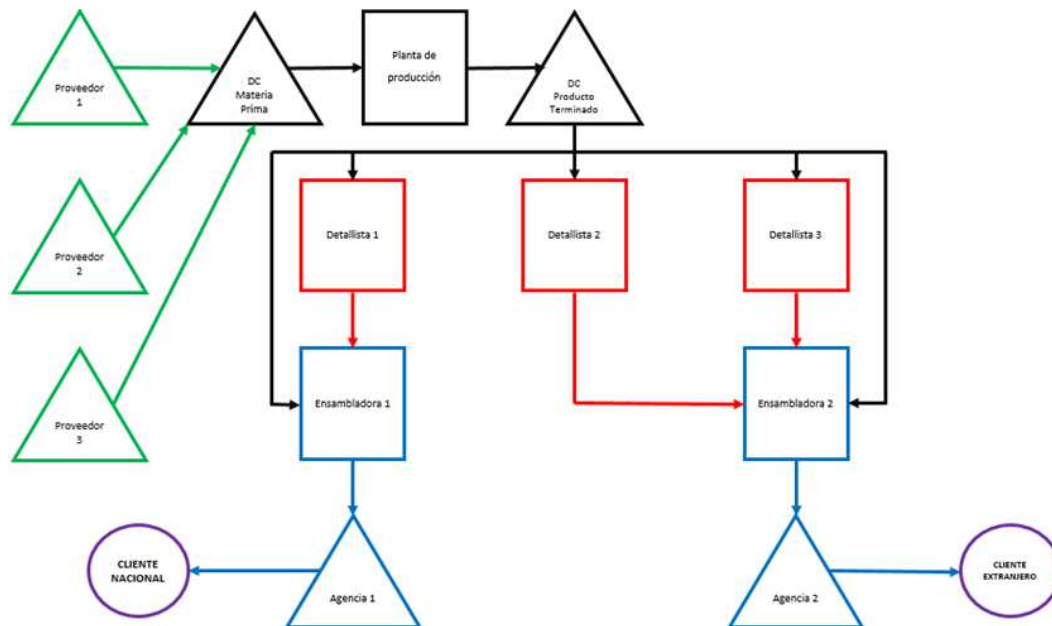


Figura 1.1: Diagrama de flujo de arneses (elaboración propia)

En el caso del cliente con el cual se trabaja, existen dos plantas ensambladoras que producen exactamente el mismo vehículo. La diferencia radica en que una de ellas los vende al mercado doméstico, y la segunda al mercado extranjero, es decir, exporta los vehículos. Las inconsistencias en la demanda provienen de ambas plantas ensambladoras de las cuales la empresa es proveedora.

1.2 OBJETIVO

Disminuir el desabasto de producto terminado causado por las variaciones en los requerimientos del cliente mediante un pronóstico de demanda y una política de inventarios adecuada.

1.3 HIPÓTESIS

Contar con un método de pronóstico de demanda adecuado de acuerdo con el comportamiento histórico de la misma recibida de parte del cliente, permitirá anticiparse a las variaciones que se presentan, propiciando la cobertura de los requerimientos, apoyado en una política de inventarios apropiada, que permitirá disminuir el desabasto tanto propio como de los demás integrantes de la cadena de suministro.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Las variaciones en la demanda son una constante hoy en día en cualquier industria. A pesar de que todo cliente le brinda a su proveedor un pronóstico de la demanda del producto o servicio que va a necesitar, en ocasiones este no se apega a lo que en realidad dicho cliente necesitará.

Para el caso de este proyecto, los incrementos repentinos en la demanda de parte del cliente se han presentado de manera frecuente semana a semana, llegando a ser incluso de un día para otro.

Esta situación ha estado causando costos extra en las operaciones de la planta de manufactura, ya que se presentan los siguientes problemas:

- Desabasto de producto terminado al cliente.
- Necesidad de programación de tiempo extra.
- Incrementos en las órdenes a los proveedores.
- Desabasto de materia prima.

Debido a esto, es necesario encontrar una manera de estar prevenido ante dichas variaciones, cuidando no afectar a los demás actores de la cadena de suministro.

Como se mencionó en los puntos anteriores, una de las consecuencias de los incrementos de parte del cliente es, a su vez, incrementar la demanda a los proveedores.

Una situación así pudiera llegar a causar un efecto conocido como “efecto látigo” (Bray y Mendelson, 2012).

En el periodo de julio a noviembre de 2018 se tuvo un gasto en expeditaciones de producto terminado de \$50,000 dólares, divididos según se muestra en la tabla 1.1:

Tabla 1.1: Gastos en transportes expeditados (elaboración propia con datos de Yazaki)

Mes	Número de envíos extraordinarios	Costo total	Presupuesto mensual
Julio	13	\$13,000 dólares	\$12,000 dólares
Agosto	23	\$23,000 dólares	\$12,000 dólares
Septiembre	5	\$5,000 dólares	\$12,000 dólares
Octubre	4	\$4,000 dólares	\$0 dólares
Noviembre	5	\$5,000 dólares	\$0 dólares

Como se puede ver en la tabla 1.1, estos gastos mensuales exceden el presupuesto que se tenía asignado de \$12,000 dólares para cada uno de estos meses. De aquí la importancia de lograr encontrar un método de pronóstico y una política de inventarios que permitan disminuir el desabasto en el que se ha llegado a caer con el cliente.

Tomando en cuenta que en el periodo de julio a noviembre hay 20 semanas laborales, con cinco días a la semana, un embarque al día para cada destino, y dos destinos, se tiene un total de 200 embarques. Además, en ese periodo, como se indica en la tabla 1.1, se tuvieron 50 envíos expeditados. Es decir, de un total de 250 envíos al cliente, el 20 % de ellos fueron expeditados. Así mismo, de los 200 envíos regulares, 50 de ellos fueron incompletos, lo que representa un 25 % de envíos incompletos o

con desabasto.

1.5 METODOLOGÍA

La metodología que se siguió para la realización de este proyecto es la siguiente:

1. **Definición del problema:** Se analizó la situación actual de la empresa para encontrar dónde se presentan fallas o áreas de oportunidad que se pudieran atacar como parte de un proyecto. Una vez ubicado el problema, se procedió a su delimitación o alcance, ya que este puede llegar a abarcar muchos aspectos. No siempre es factible realizar el proyecto para todo el problema en conjunto, sino solo a una parte, por lo que tuvo que delimitarse, es decir, decidir hasta dónde se quería encontrar una solución.
2. **Revisión de literatura acerca de la problemática y propuestas de solución:** Tras delimitar la problemática, se revisó literatura acerca del mismo, con el fin de recabar información sobre autores que hablaran de dicho(s) problema(s) y qué propuestas y/o herramientas de solución podían ofrecer.
3. **Diseño de una herramienta de solución:** Tras la revisión de la literatura, y habiendo consultado distintas herramientas propuestas por los autores, se propuso una herramienta de solución aplicable al problema que es objeto de estudio en este proyecto, basada y adaptada según las herramientas revisadas en la literatura.
4. **Implementación de la herramienta:** Se implementó la herramienta propuesta en la empresa, en busca de encontrar resultados reales y cuantitativos.
5. **Análisis de resultados:** Se analizó la situación y se establecieron por medio de métricos las mejoras que se obtuvieron. Los resultados encontrados son presentados de forma que los interesados puedan estar informados acerca de ellos.

6. **Conclusiones:** En base al problema que se planteó en un inicio y al objetivo propuesto, una vez obtenidos los resultados se emitieron las conclusiones de este proyecto. Se propusieron recomendaciones para los interesados en hacer uso de este proyecto como consulta. Principalmente están dirigidas al personal de la empresa involucrado, quienes son los máximos interesados en los resultados.
7. **Reporte de tesis:** Se elaboró un reporte técnico conteniendo la revisión de literatura más relevante, el análisis de los datos significativos, así como las conclusiones y recomendaciones una vez finalizado el proyecto.

1.6 CONTENIDO

La presente tesis se estructura de la siguiente manera:

1. **Introducción:** Se presenta el planteamiento del problema, el objetivo que se busca alcanzar con el proyecto, la hipótesis planteada, la justificación por la cual este proyecto se lleva a cabo, la metodología a seguir para realizarlo y el contenido de este.
2. **Antecedentes:** Se menciona la revisión literaria sobre el problema y se busca obtener información de proyectos que se asemejen al que se quiere realizar, de manera que se pueda obtener una guía sobre cómo realizarlo.
3. **Metodología:** Se menciona paso a paso la manera en que se pretende resolver el problema previamente planteado. Dicho método puede ser creado por el autor o tomar alguno de una referencia que se considere adecuada, previamente justificado.
4. **Análisis y resultados:** Se realizan experimentaciones y/o simulaciones que arrojen resultados que posteriormente serán analizados para su factibilidad. En este apartado se comentan los resultados obtenidos y se analiza si estos fueron los esperados y si se cumple la hipótesis planteada o no.

5. **Conclusiones y recomendaciones:** Se emiten conclusiones y recomendaciones, así como comentarios acerca de si el problema que se buscaba resolver fue, en efecto, resuelto o no. En caso de que pueda haber proyectos futuros derivados del realizado, se menciona en este apartado, y se sugiere sobre qué tema podrían ser.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

En el presente capítulo, se dará una pequeña introducción a los antecedentes del problema dentro de la empresa, brindando información que ayude a dimensionar la problemática.

Posteriormente, se brindará una revisión de la literatura sobre los métodos de pronóstico de demanda y políticas de inventarios más relevantes que se han encontrado, así como el efecto látigo y sus definiciones. Dentro de esta revisión de literatura, se darán ejemplos de cómo han sido aplicados en distintos casos de estudios reales, semejantes a este proyecto.

Finalmente, en la conclusión del capítulo se explicarán los métodos a aplicar durante la metodología para la realización de la experimentación, y las razones por las cuales dichos métodos han sido elegidos.

2.1 LA EMPRESA

La empresa bajo estudio en este proyecto se dedica a la producción y venta de arneses automotrices a distintas plantas ensambladoras de distintos clientes a nivel mundial.

La planta de manufactura en la que se encuentra enfocada el proyecto tiene 14 años operando, y cuenta con 3,426 empleados.

Actualmente, para el cliente que se presenta el problema, se tiene una capacidad máxima instalada de producción, en herramental, de 1,495 arneses por día, es decir, 7,475 arneses por semana. Esto está establecido en el contrato que se tiene con el cliente y es llamada *Maximum Contracted Rate* (MCR) o Capacidad Máxima Contratada.

Dicho de otro modo, la empresa está comprometida a producir un máximo de 7,475 arneses semanales, la cual es la producción máxima de vehículos en las plantas ensambladoras del cliente. En caso de que este número semanal se exceda, debe poder prorratearse en la semana previa o posterior, de manera que en el promedio, no se supere el número máximo que puede ser requerido. En caso de que se exceda, se caería en una violación al contrato.

Sin embargo, si bien la empresa está obligada a mantener su capacidad en herramental para el máximo de vehículos, no está obligada a hacerlo en cuanto a personal operativo y materia prima. Es decir, se planea la producción, el personal y las órdenes de materia prima en base al pronóstico de demanda que el cliente provee. Si existiera un incremento, aun y cuando no se superen los 7,475 unidades semanales, este deberá ser menor al 15%, considerando un lapso de 5 semanas anteriores a cuando se presenta el incremento para que la empresa este obligada a soportarlo. En caso de que este 15% se exceda, es el cliente quien debe absorber cualquier gasto.

Sin embargo, actualmente, con la finalidad de no afectar la relación comercial o «mantener al cliente satisfecho», estos costos son cubiertos por la empresa.

Es importante aclarar que si bien se producen distintos tipos de arneses dependiendo de la parte del automóvil de la que se trate, para este proyecto se considerarán únicamente los llamados Body, debido a que este es el arnés más grande y más caro de un vehículo.

2.2 EFECTO LÁTIGO

El efecto látigo es la amplificación de la variabilidad de la demanda a través de una cadena de suministro (Bray y Mendelson, 2012). Una empresa crea este efecto cuando le requiere a sus proveedores más de lo que vende a sus clientes. Dicho efecto puede llevar a tener diferencias entre la demanda y la producción real y tiende a disminuir la eficiencia de la cadena de suministro. En un estudio realizado por Bray & Mendelson entre 1974 y 2008 en 4,689 compañías en Estados Unidos, encontraron que dos terceras partes suelen incrementar su demanda respecto a su producción real. El nombre de este efecto viene de la comparación con un látigo, el cual, al tomarlo de un extremo y agitarlo, provoca olas que hacen que todo el látigo se mueva, hasta el otro extremo.

Este término fue acuñado por primera vez por Forrester (1961) en su libro *Industrial Dynamics*.

Hau *et al.* (1997) identifican cuatro causas para el efecto látigo: procesamiento de la demanda, ordenar en lotes, proporción y variaciones en los precios. Por su parte, Chen *et al.* (1998) argumentan que se debe, en gran parte, a la necesidad de pronosticar la demanda.

Para Hau *et al.* (1997) el efecto látigo es un comportamiento no deseado dentro de la cadena de suministro, derivado de las políticas utilizadas por una organización.

Ren y Sun (2005) describen el efecto látigo como «un fenómeno dentro de la gestión de la cadena de suministro que representa una patología de mercado donde la información sobre la demanda se distorsiona mientras se va avanzando en la cadena». De acuerdo a ellos, esta distorsión puede llevar a tener un exceso de inventario a través del sistema de la cadena de suministro, capacidad insuficiente o en exceso, poca disponibilidad de producto, y en general, altos costos.

En la investigación llevada a cabo por Barlas y Gunduz (2011), se enfocaron en

entender los factores que generan fluctuaciones en los inventarios y el efecto látigo a través de la cadena de suministro, y en explorar la efectividad de estrategias para aminorar este comportamiento. Particularmente la investigación estuvo centrada en un pronóstico de la demanda no coordinado como una de las causas principales del efecto látigo, y el compartir la demanda y los pronósticos adecuados como una contramedida para este efecto.

Barlas y Gunduz (2011) concluyeron que el efecto látigo tiende a aparecer en toda cadena de suministro, sea cual sea el método de pronóstico y de control de inventarios utilizados. Principalmente aparece cuando cada eslabón utiliza su propia demanda, en lugar de utilizar todos los integrantes la demanda del cliente final. Pronósticos hechos para reaccionar al instante a cualquier variación harán que el efecto látigo se incremente, mientras que pronósticos que sean menos reactivos a estas variaciones, lo harán disminuir.

Ren y Sun (2005) centraron su investigación en el impacto que tiene un pronóstico de demanda en el efecto látigo. Entre sus resultados, concluyen que este se debe, en gran parte, a la mera necesidad de pronosticar.

2.3 SERIES DE TIEMPO

Una serie de tiempo es una secuencia de datos o valores, que han sido medidos en determinado momento y se ordenan cronológicamente. Estos datos pueden estar espaciados en intervalos iguales o desiguales. Para analizar series de tiempo se usan métodos que ayudan a su interpretación y que permiten extraer información sobre las relaciones entre los datos de la serie o de distintas series y que permiten a su vez predecir el comportamiento en momentos que no han sido observados, ya sean en el pasado, o en el futuro (Englert *et al.*, 2012).

El análisis más clásico de las series temporales se basa en que los valores que toma la variable de observación es la consecuencia de cuatro componentes:

1. Tendencia secular o regular: Indica la marcha general y persistente del fenómeno observado, es una componente de la serie que refleja la evolución a largo plazo.
2. Variación estacional: Es el movimiento periódico de corto plazo. Se trata de una componente causal debida a la influencia de ciertos fenómenos que se repiten de manera periódica.
3. Variación cíclica: Es el componente de la serie que recoge las oscilaciones periódicas de amplitud superior a un año. Movimientos normalmente irregulares alrededor de la tendencia, en las que tiene un período y amplitud variables
4. Variación aleatoria: No muestran ninguna regularidad.

2.4 PRONÓSTICOS DE DEMANDA

Méndez (2003) menciona que pronosticar es la ciencia y arte de predecir eventos. Puede tomar datos históricos y proyectarlos hacia el futuro, puede ser una predicción intuitiva, o puede ser un modelo matemático. Un modelo matemático sería la combinación de tomar estos datos históricos y proyectarlos hacia el futuro en base a la intuición.

Por su parte, Ariza (2013) afirma que un pronóstico de la demanda es un procedimiento sistemático que permite definir cuantitativamente la demanda futura de la manera más exacta posible, considerando las incertidumbres. Es decir, permite definir en números la demanda futura tomando en cuenta las variaciones que esta puede llegar a tener.

De acuerdo a Hillier y Lieberman (1993), un factor que influye en la selección de una técnica de pronóstico consiste en la identificación y comprensión de patrones históricos en los datos. Si se pueden reconocer patrones de tendencia, cíclicos o estacionales, entonces se pueden seleccionar las técnicas que permitan utilizar esos patrones.

A continuación se enlistan algunas de las preguntas que se deben considerar antes de decidir sobre la técnica de pronóstico más adecuada para un problema en particular:

- ¿Por qué se requiere un pronóstico?
- ¿Quién utilizará el pronóstico?
- ¿Cuáles son las características de los datos disponibles?
- ¿Qué espacio de tiempo se pronosticará?
- ¿Cuáles son los requerimientos mínimos de datos?
- ¿Cuál es la precisión deseada?

En la metodología que proponen Bastidas y Toro (2011) integran herramientas de modelos de pronóstico, que complementados con el análisis de series de tiempo, ofrecen previsiones más reales sobre el comportamiento futuro de la demanda.

2.4.1 PROMEDIO MÓVIL

Chou (1975) define el promedio móvil simple como la media no ponderada de n número de datos. Sin embargo la media normalmente se toma de una cantidad igual de datos en cualquier lado de un valor central. Esto garantiza que las variaciones en la media estén alineadas con las variaciones en los datos en lugar de desplazarse en el tiempo.

Si los datos utilizados no están centrados en torno a la media, un promedio móvil simple rezaga el último punto de referencia a la mitad del ancho de la muestra. Un promedio móvil simple también puede verse influenciado por puntos de referencia anteriores o nuevos datos entrantes. Una característica del promedio móvil simple es

que si los datos tienen una fluctuación periódica, la aplicación de un promedio móvil de ese período eliminará esa variación.

En la investigación llevada a cabo por Ren y Sun (2005) se indica que el promedio móvil es el método de pronóstico de demanda que mayor precisión proporciona, ya que se cuenta con más datos para dicho pronóstico, por lo que la variabilidad disminuye.

2.4.2 SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL

Goodwin (2010) describe el método de suavización exponencial como una manera de pronosticar la demanda de un producto en un periodo dado. Estima que la demanda será igual a la media histórica para un periodo, dando una mayor ponderación a los valores más cercanos en el tiempo. Además, tiene en cuenta el error de pronóstico actual en los siguientes pronósticos.

2.4.3 SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL DOBLE: MODELO DE HOLT-WINTERS

El modelo Holt-Winters incorpora un conjunto de procedimientos que conforman el núcleo de la familia de series temporales de suavización exponencial. Este modelo puede adaptarse fácilmente a cambios y tendencias, así como a patrones estacionales. Holt-Winters se utiliza habitualmente por muchas compañías para pronosticar la demanda a corto plazo cuando los datos de venta contienen tendencias y patrones estacionales de un modo subyacente (Goodwin, 2010).

2.5 CONTROL DE INVENTARIOS

El objetivo de una política de inventarios es minimizar la inversión, satisfaciendo la demanda, sin obstaculizar las operaciones de la empresa (Pérez-Vergara, 2013). Es decir, mantener el menor inventario posible, asegurando que este permitirá cumplir con los requerimientos del cliente, afectando lo menos posible a terceras personas.

Una política de inventarios apropiada permite incrementar la rentabilidad de una empresa, ya que mientras menores sean los costos, los procesos serán más eficientes.

Para definir la política de inventarios se debe tomar en cuenta:

- Los procesos que se llevan a cabo.
- La interacción entre estos procesos.
- Los criterios necesarios para el control.
- Los métodos de seguimiento, medición y análisis.

Existen diversos tipos de sistemas probabilísticos de control de inventarios. La notación básica que se utiliza es la siguiente (Vidal, 2010):

- s = Punto de reorden o de pedido; el nivel de inventario efectivo para el cual debe emitirse una nueva orden.
- Q = Cantidad a ordenar en cada pedido.
- R = Intervalo de revisión del nivel de inventario efectivo.
- S = Nivel máximo de inventario efectivo hasta el cual debe ordenarse.

En la metodología propuesta por Bastidas y Toro (2011), se integran distintas herramientas conocidas en la gestión de inventarios, como lo son las técnicas de caracterización del patrón de demanda, que permiten identificar los componentes presentes en las series de tiempo y que evidencian la presencia de factores que inciden en las ventas; los métodos de clasificación multicriterio, los cuales contribuyen con la división de los artículos del inventario en tres clases A, B, C; y los sistemas de revisión o control de inventarios, que permiten determinar la cantidad óptima de pedido y la frecuencia de revisión, que minimiza los costos de esta actividad y a su vez, garantizan el cumplimiento de los requisitos de la demanda, a través de procesos de calidad.

2.5.1 CLASIFICACIÓN ABC

Este método de inventarios está basado en la teoría de Pareto, que nos dice que el 80 % de los problemas se deben al 20 % de las causas.

Pareto fue un filósofo italiano del siglo XVIII, que se dió cuenta que el 80 % de la riqueza de su país estaba distribuida entre solo el 20 % de la población.

Debido a esto, el método ABC indica que la minoría de los productos representa la mayoría del impacto (Adarme *et al.*, 2013), y dichos productos se pueden dividir en tres grandes grupos:

- Grupo A: Los artículos que representan el 80 % del aporte.
- Grupo B: Los que se encuentran entre el 80 % y el 95 %.
- Grupo C: El resto de los productos.

López y Méndez (2014) proponen una metodología de clasificación de inventarios en dos criterios, uno que representa la rotación y otro que representa el costo,

volumen y peso. Como resultado se obtiene una clasificación ABC en distintas categorías para identificar los más importantes.

Por su parte, Bastidas y Toro (2011) en su estudio consideran una clasificación simple ABC, basándose principalmente en el costo de venta y la rotación.

En una clasificación que represente la variabilidad o la rotación, los artículos pueden requerir de otras políticas de inventarios o almacenamiento, como las que se explican en los apartados siguientes.

2.5.2 ORDENAR A S

En este sistema de control de inventarios, se tiene un nivel máximo de existencias S . Una vez que se cae debajo de él, se ordena la cantidad necesaria para volver a dicho nivel de existencias (Barlas y Gunduz, 2011).

Una manera de obtener el valor deseado de S , es mediante la fórmula (2.1)

$$S = D + k\sigma \quad (2.1)$$

Donde S representa el nivel deseado de inventario, D es la demanda durante el periodo, y $k\sigma$ es el inventario de seguridad, donde σ es la desviación estándar de la demanda k es una constante establecida de acuerdo al nivel de servicio deseado.

2.5.3 POLÍTICA (s, S)

En este sistema de control continuo, cada vez que el inventario efectivo cae al punto de reorden s , o por debajo de él, se ordena una cantidad tal que se incremente el inventario efectivo hasta el nivel de inventario máximo S (Vidal, 2010).

Por ser muy fácil de comprender y lógico intuitivamente, este método se encuentra a menudo en la práctica, pero los parámetros de control se fijan usualmente de forma arbitraria. Una desventaja potencial del sistema (s, S) es su susceptibilidad de errores debido a que los tamaños de orden son variables. En la política (s, S) , cuando hay una discrepancia esta es inmediatamente ordenada.

Ren y Sun (2005) proponen el método de inventarios (s, S) como el mejor, debido a que permite controlar mejor las consecuencias del efecto látigo.

2.5.4 POLÍTICA (s, Q)

Cuando el nivel de existencias cae por debajo de cierto punto predeterminado s , se debe colocar un pedido por una nueva cantidad de producto Q , que es fija (Rodríguez, 2011).

Como esta cantidad es fija, el tiempo entre pedido será en función de la demanda, que es aleatoria. Además, el nivel de inventario al cual debe colocarse un nuevo pedido, suele ser especificado como punto para un nuevo pedido.

A este método de control de inventarios, también se le conoce como sistema de cantidad fija de reorden.

La cantidad Q a ordenar, está dado por la fórmula de la cantidad económica de pedido (*Economic Order Quantity, EOQ*) 2.2.

$$EOQ = \sqrt{\frac{2dk}{h}} \quad (2.2)$$

Donde d representa a la demanda, k al costo por colocar un pedido, y h al costo por inventariar por unidad de tiempo.

2.5.5 POLÍTICA (R, S)

Comenta Vidal (2010) que este sistema se conoce también como el sistema del ciclo de reposición y se encuentra en organizaciones que no utilizan control sistematizado de los inventarios. Aquí, cada R unidades de tiempo, se revisa el inventario, y se ordena una cantidad tal que este inventario suba al valor máximo S .

La fórmula con la que se puede obtener R es la 2.3:

$$R = \frac{EOQ}{D} \quad (2.3)$$

Donde EOQ es la cantidad económica de pedido y D es la demanda promedio.

2.5.6 POLÍTICA (R, s, Q)

De acuerdo a Bastidas y Toro (2011), el modelo (R, s, Q) es una variación del modelo (s, Q) y nace de la necesidad de revisar periódicamente R el inventario. Así, si al revisarlo se obtiene que las existencias se encuentran por debajo del nivel s , entonces se ordena la cantidad Q .

Como resultado de su estudio, se arroja que el modelo (R, s, Q) es el sistema de control de inventarios que representa el menor costo relevante total, ya que se conoce el costo en el que se incurre por faltante, y hay un periodo R de revisión establecido.

2.5.7 POLÍTICA (R, s, S)

Este sistema es una combinación de los sistemas (s, S) y (R, S) y se le considera como un sistema híbrido. Consiste en que cada R unidades de tiempo, se revisa el

inventario. Si es menor o igual que el punto de reorden s , entonces se emite un pedido por una cantidad tal que el inventario se recupere hasta un nivel máximo S . Si el nivel de inventario es mayor que s , no se ordena cantidad alguna hasta la próxima revisión que tendrá lugar en R unidades de tiempo (Vidal, 2010).

2.5.8 POLÍTICA DE AJUSTE

De acuerdo a Barlas y Gunduz (2011), se busca mantener el inventario siempre a un mismo nivel, previamente determinado. Es decir, se recibe inventario constantemente, de manera que nunca se permita bajar de ese nivel que ya ha sido establecido.

2.6 ESTRATEGIAS UTILIZADAS

A continuación, se presentan las tablas 2.1 y 2.2, donde se comparan los distintos métodos de pronóstico y de control de inventarios utilizados en los casos de estudio mencionados anteriormente.

Tabla 2.1: Tabla comparativa de métodos de pronóstico utilizados (elaboración propia)

	Promedio móvil	Suavización exponencial	Error cuadrático medio	Análisis de series de tiempo	Descomposición multiplicativa
Barlas y Gunduz (2011)		x			
Ren y Sun (2005)	x	x	x		
López y Méndez (2014)	x	x			
Bastidas y Toro (2011)				x	x

Tabla 2.2: Tabla comparativa de métodos de inventarios utilizados (elaboración propia)

	ABC	S	Inventario ajustado	(s,S)	(s,Q)	(R,s,S)	(R,s,Q)
Barlas y Gunduz (2011)		x	x	x			
Ren y Sun (2005)				x			
López y Méndez (2014)	x						
Bastidas y Toro (2011)	x			x	x	x	x

2.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Al haber sido investigados y revisados los mejores métodos que los autores proponen en la literatura, tanto para pronósticos de demanda como políticas de inventarios, se procedió a generar una metodología propuesta, que incluye dichos métodos ya mencionados, y que será explicada en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

En este capítulo se desarrolla la metodología a utilizar para la resolución del proyecto, para que apoyados en ésta sea posible determinar y definir, mediante una serie de consideraciones, a los modelos de pronósticos y de inventarios que mejor se adapten al problema de la demanda de arneses automotrices. Se pretende así obtener los métodos adecuados que han de ser utilizados en el cálculo de dicho pronóstico de la demanda de la empresa y de niveles de inventarios, que serán evaluados durante el capítulo 4.

La propuesta de esta metodología tiene su base en la revisión de literatura que ya se ha visto durante el capítulo 2, en el cual se explicaron casos en que fueron utilizados los distintos métodos tanto de pronóstico de demanda como de políticas de inventarios.

En una primera fase se definirá el modelo de pronóstico a utilizar. Para definirlo se debe considerar que cada serie de datos posee su propio comportamiento, por lo que es importante entender que con el método y los pasos resultantes de este proyecto se llegará a la metodología para elegir el mejor modelo que ayude a pronosticar la demanda de arneses automotrices, pero se debe ser consciente que el modelo no será único para todas las situaciones, ya que el tratamiento de los datos se debe realizar bajo diferentes factores. En otras palabras, la metodología que se propone

está enfocada en la elección del mejor modelo y no en encontrar un modelo único.

De la misma manera, en una segunda fase se definirá la política de inventarios, misma que también dependerá de ciertos criterios que deberán ser establecidos por quien realiza el análisis. El objetivo, en otras palabras, es encontrar las herramientas cuantitativas que, como se mencionó anteriormente, se adapten de mejor manera a la naturaleza del problema bajo estudio.

En la figura 3.1 se muestran de una manera sencilla los pasos propuestos, y que serán explicados posteriormente.

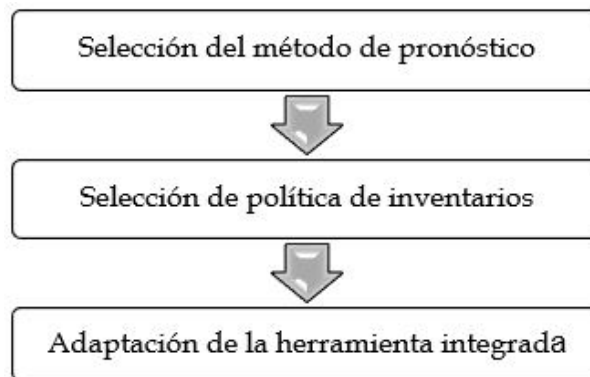


Figura 3.1: Metodología propuesta (elaboración propia)

3.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE PRONÓSTICO

Para la selección de la técnica de pronóstico adecuada, el pronosticador deberá poder hacer lo siguiente:

- Definir la naturaleza del problema de pronóstico.
- Explicar la naturaleza de los datos bajo investigación.
- Describir las capacidades y limitaciones de las técnicas de pronóstico potencialmente útiles.

- Desarrollar algunos criterios predeterminados sobre los cuales se pueda tomar la decisión de la selección.

Los modelos de pronósticos de demanda seleccionados tras la revisión de la literatura, y de entre los cuales se recomienda elegir aquellos que se pondrán a prueba, se mencionan a continuación en la tabla 3.1. Con base en el comportamiento del pronóstico actualmente observado, se propone dicha tabla comparativa, en la que se indican las características más relevantes de cada uno de los métodos que han sido seleccionados.

Tabla 3.1: Criterios de elección de método de pronósticos (elaboración propia)

Características	Métodos de pronóstico		
	Promedio móvil	Suavización exponencial	Holt-Winters
Se da mayor importancia a datos más recientes	x	x	
Demanda estable	x		
Se eliminan datos irregulares	x	x	x
Considera tendencia		x	x
Considera estacionalidad			x
Se adapta a cambios			x
No requiere gran cantidad de datos	x	x	x

Es importante recordar que, al trabajar en un pronóstico de demanda, se recomienda probar al menos dos métodos, de manera que exista la posibilidad de hacer una comparación entre ellos que permita elegir el más adecuado.

3.2 SELECCIÓN DE POLÍTICA DE INVENTARIOS

La determinación del sistema de gestión de inventarios debe estar enfocado en responder tres preguntas (Vidal, 2010):

- ¿Con qué frecuencia debe revisarse el nivel de inventario?
- ¿Cuánto debe ordenarse?
- ¿Qué cantidad debe ordenarse en cada pedido?

Para responder estas preguntas, los sistemas de control propuestos son los que se mencionan a continuación en la tabla 3.2, que ya fueron previamente explicados en el capítulo anterior, y cuya selección dependerá del objetivo que se esté persiguiendo. En el caso del problema de los arneses automotrices, el objetivo es disminuir el desabasto.

Al igual que en el paso 1, se recomienda probar al menos dos métodos de control de inventarios, de manera que exista la posibilidad de hacer una comparación entre ellos que permita elegir el mejor.

3.3 ADAPTACIÓN DE LA HERRAMIENTA INTEGRADA

Una vez que se han determinado tanto el método de pronóstico como la política de inventarios, el último paso consiste en ponerlos a prueba para lograr una comparación y ser capaces de determinar cuál es el que más se adecúa a las necesidades.

En el caso de este proyecto, estas experimentaciones serán explicadas en el capítulo 4. El objetivo es medir la precisión de cada uno de los métodos de acuerdo a datos históricos tanto para pronósticos como para políticas de inventarios, en las etapas 1 y 2 de esta metodología.

Tabla 3.2: Criterios de elección de política de inventarios (elaboración propia)

Política de inventarios	S	(s, S)	(s, Q)	(R, S)	(R, s, Q)	(R, s, S)	Política de ajuste
Mantener siempre un nivel máximo de inventario, pero se permite caer debajo de él	x	x		x		x	
Ordenar al caer debajo del punto de reorden		x	x		x	x	
Colocar pedidos por una cantidad fija			x		x		
Revisar el inventario cada cierto tiempo				x	x	x	
Mantener siempre un nivel máximo de inventario, pero no se permite caer debajo de él							x

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se encontrará el detalle de la manera en que fue aplicada metodología propuesta en el caso de estudio real de la empresa fabricante de arneses automotrices Yazaki.

Se explicarán, para los pasos 1 y 2, las razones por las cuales fueron elegidos los métodos de pronóstico de demanda y las políticas de inventarios, basados en los criterios de elección mencionados en dichos pasos del capítulo de Metodología.

En el paso 3, se indicará la manera en que se hizo el análisis de los datos los métodos propuestos, ya que fueron realizadas varias pruebas para cada uno de ellos.

Finalmente, se incluirá un apartado con resultados, donde se mencionará cual es el método de pronóstico y la política de inventarios que se adaptan de mejor manera a la variabilidad del problema.

4.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE PRONÓSTICO

Tomando como referencia la tabla 3.1, que a su vez toma como base la revisión de literatura abordada en el capítulo 2, se decidieron los métodos de pronóstico a probar para buscar la resolución del problema.

Por las características de los datos con los que se cuenta actualmente, se decidió utilizar los métodos de suavización exponencial y el de Holt-Winters o suavización exponencial doble, principalmente porque no se considera una demanda regular para ellos. Además, son estos los que, por sus formulaciones, son más fácilmente adaptables a cambios.

Sin embargo, y a pesar de que la naturaleza de los datos no se adapta del todo al método, se decidió probar también el promedio móvil, debido a que se cuenta con la información para ello y no hay ninguna restricción o limitante que lo impida para efectos de la realización del proyecto. Se incluyó también el promedio móvil ponderado, que es una variante del promedio móvil, en la que se asignan porcentajes de ponderación a los datos con los que se genera el valor pronosticado.

De esta forma, se decidieron probar los cuatro métodos de pronóstico, en el siguiente orden:

1. Promedio móvil.
2. Promedio móvil ponderado.
3. Suavización exponencial.
4. Holt-Winters (suavización exponencial doble).

4.2 SELECCIÓN DE POLÍTICA DE INVENTARIOS

Siguiendo el tenor del punto 1 para la referencia, para seleccionar la política de inventarios se utilizó la tabla 3.2, perteneciente al paso 2 de la metodología propuesta.

Actualmente la empresa cuenta con una política de inventarios (R, s, S) , en donde R es la frecuencia de revisión del inventario, s es el punto de reorden, y S es el inventario máximo que se puede mantener, y se permite caer debajo de él.

De esta manera, en el método de trabajo actual, estos parámetros toman los siguientes valores:

- R : Se tiene una frecuencia de revisión de 1 día, es decir, se revisa diariamente.
- S : Se tiene un nivel máximo de inventario permitido de 5 días.
- s : El punto de reorden es inmediatamente debajo de S . En el momento en que se tiene una unidad debajo de los 5 días, se tiene que reordenar el inventario.

Por política de la empresa, la frecuencia de revisión R tiene que continuar siendo de 1 día. No puede reducirse a 0 ni incrementarse a 2 o más por las siguientes razones:

- 0: Implicaría una revisión continua, lo cual no es factible ni eficiente.
- 2 o más: Implicaría que la planta de producción almacenaría producto terminado más de un día sin estar habilitada para funcionar como almacén. Debido a que no cuentan con espacio de almacenamiento y el centro de distribución sí, tienen que hacerse envíos diariamente de la planta de producción a dicho centro de distribución.

De esta manera, considerando las políticas de inventarios entre las cuales se puede elegir, se tienen las siguientes opciones:

- (R, S)
- (R, s, S)

Dado que en el caso específico actual de la empresa s y S toman prácticamente el mismo valor de 5 días, se decidió probar la política de inventarios (R, s, S) , para cual se buscará el mejor valor de estos dos parámetros. Se descarta la opción de la política (R, S) , debido a que esta no considera un punto de reorden.

4.3 ADAPTACIÓN DE LA HERRAMIENTA INTEGRADA

Es importante mencionar que con la finalidad de hacer el pronóstico lo más exacto posible, fueron eliminados los datos irregulares. Si bien una característica de la demanda actual es precisamente la irregularidad, sí se encontraban datos que al estar demasiado arriba o debajo de los demás, podrían causar que el pronóstico arrojara errores muy elevados.

Para la ejecución de estos métodos de pronóstico fue consultado el manual de series de tiempo del Departamento de Matemáticas de la Universidad de Sonora (Figuroa y Larios, 2018), el cual puede ser consultado en las referencias de este proyecto. Además, también se consultó paralelamente a Makridakis *et al.* (1998), para los métodos de pronóstico y sus aplicaciones.

Las tablas con los datos reales de las demandas de arneses automotrices utilizadas para los cálculos que se mencionan a continuación pueden ser encontradas en el Apéndice A.

Es importante mencionar que se contaba con 68 datos disponibles. Como se mencionó con anterioridad, de estos fueron eliminados aquellos que presentaban una irregularidad marcada, por lo que el análisis final de cada método de pronóstico se hizo con sólo 65 datos.

4.3.1 PRONÓSTICO DE DEMANDA: PROMEDIO MÓVIL

Para la aplicación del promedio móvil, se utilizó una n con valores de 2 a 6. El valor de n indica la cantidad de datos previos que serán utilizados para calcular el siguiente. Es decir, con una $n=2$, se toman los dos datos previos para calcular el tercero. Con $n=3$ se toman los tres datos previos para calcular el cuarto, y así sucesivamente para los demás valores de n .

La fórmula utilizada para dichos cálculos fue la (4.1):

$$P_{n+i} = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^{n+1-i} D_j \quad (4.1)$$

Donde P es el pronóstico del periodo deseado, D_j es la demanda real de los n periodos anteriores, n es la cantidad de periodos anteriores considerados, i indica el periodo que se está pronosticando y j indica los periodos anteriores que están siendo considerados.

Una vez obtenidos los valores pronosticados para cada uno de los periodos, se obtuvo el error, es decir la diferencia entre el valor real y el valor obtenido mediante el pronóstico. Este error fue calculado para cada uno de los periodos. Para ello, la fórmula utilizada fue la (4.2):

$$E = D_i + P_i \quad (4.2)$$

En la cual E es el error, D_i es la demanda real del periodo actual y P_i es el pronóstico del periodo actual.

El siguiente paso fue calcular el error absoluto para cada uno de los periodos. Dado que el error puede tomar valores positivos o negativos, es necesario que todos estos valores sean considerados como absolutos, mediante la fórmula (4.3):

$$\text{Error absoluto} = |E| \quad (4.3)$$

Tras obtener el error absoluto, se obtuvo el error porcentual absoluto, que representa la diferencia en porcentaje entre el valor obtenido mediante el pronóstico y el valor real, y para el cual se utilizó la fórmula (4.4):

$$\text{EPA} = \frac{|E_i|}{D_i} \times 100 \quad (4.4)$$

En ella, EPA es el error porcentual absoluto, E_i es el error absoluto de cada periodo i y D_i es la demanda real de cada periodo i .

De este modo, se obtuvo un error porcentual absoluto para cada uno de los periodos considerados. Por lo que el siguiente paso fue obtener el error porcentual medio absoluto, es decir, el error medio considerando todos los periodos analizados, y cuyo valor fue obtenido mediante la fórmula (4.5):

$$EMA = \frac{\sum EPA}{T_i} \quad (4.5)$$

Donde EMA es el error medio absoluto, EPA es la suma de los errores porcentuales absolutos de los periodos analizados y T_i es el total de periodos i analizados.

Los errores porcentuales medios absolutos obtenidos mediante el método de promedio móvil se encuentran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Errores porcentuales medios absolutos: Promedio móvil (elaboración propia)

Error promedio móvil	
$n=2$	20.32 %
$n=3$	21.74 %
$n=4$	22.51 %
$n=5$	22.30 %
$n=6$	22.96 %

En las figuras 4.1 a 4.5 se encuentran de manera gráfica las comparaciones entre los valores reales y los valores obtenidos mediante el promedio móvil.

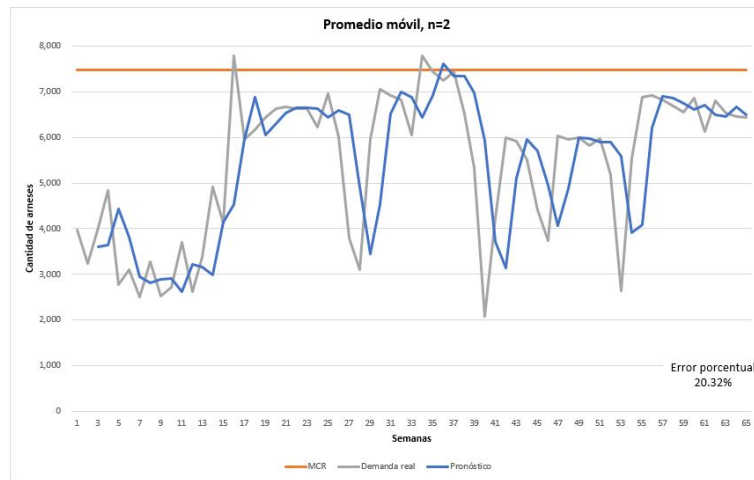


Figura 4.1: Promedio móvil, $n=2$ (elaboración propia)

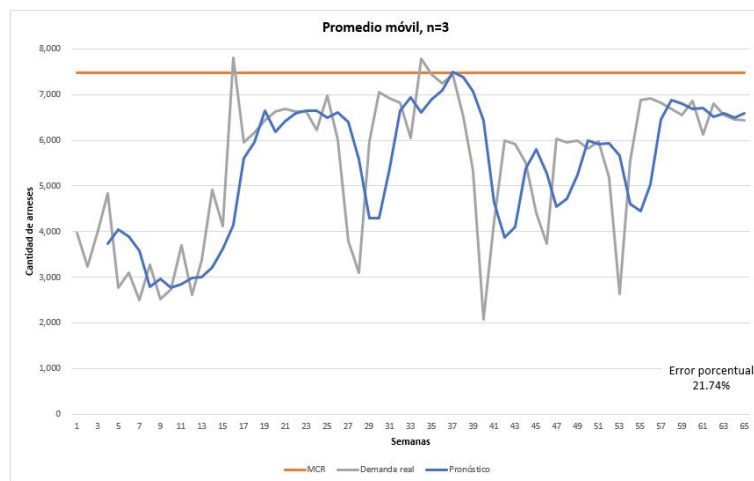


Figura 4.2: Promedio móvil, $n=3$ (elaboración propia)

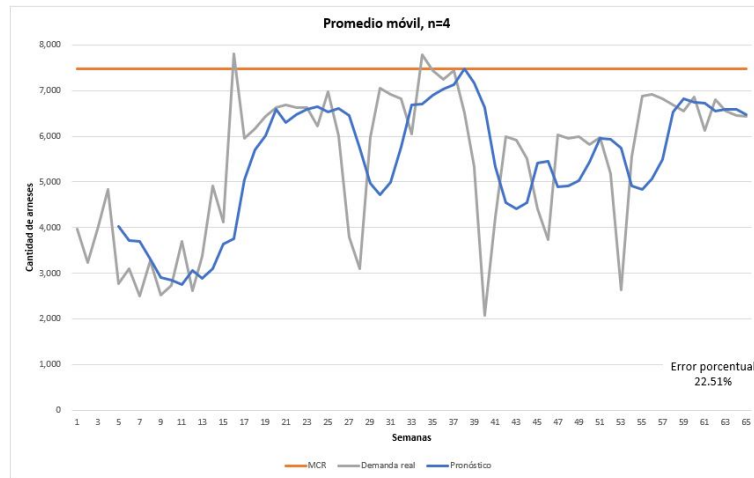


Figura 4.3: Promedio móvil, $n=4$ (elaboración propia)

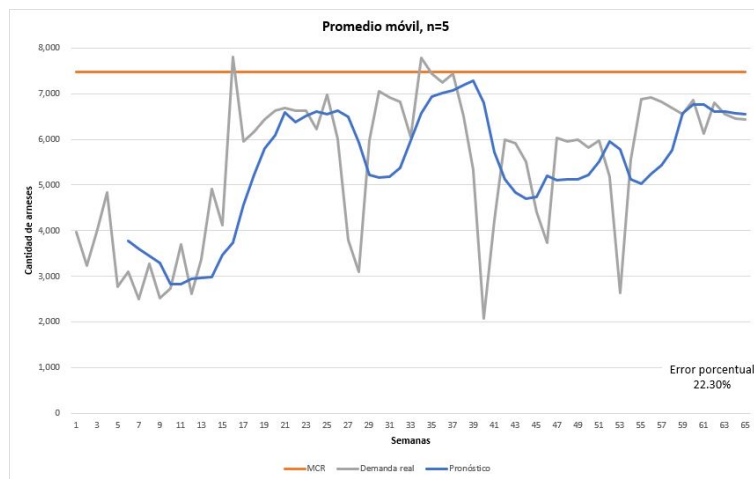


Figura 4.4: Promedio móvil, $n=5$ (elaboración propia)

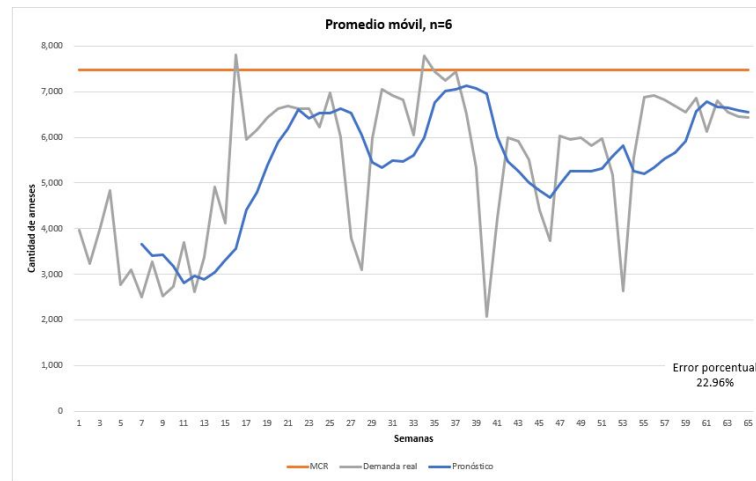


Figura 4.5: Promedio móvil, $n=6$ (elaboración propia)

4.3.2 PRONÓSTICO DE DEMANDA: PROMEDIO MÓVIL PONDERADO

Para la aplicación del promedio móvil ponderado, se utilizó, al igual que en el promedio móvil, una n con valores de 2 a 6. El valor de n indica la cantidad de datos previos que serán utilizados para calcular el siguiente. Es decir, con una $n=2$, se toman los dos datos previos para calcular el tercero. Con $n=3$ se toman los tres datos previos para calcular el cuarto, y así sucesivamente para los demás valores de n .

La diferencia entre el promedio móvil y el promedio móvil ponderado radica en que para este último se le asignaron porcentajes de ponderación a cada uno de los datos considerados. Estos valores fueron asignados en base al criterio de quien realizó el análisis, e indican la importancia que se le da a cada uno de dichos datos. El criterio aplicado fue una razón lineal, de manera que las ponderaciones sumaran un total de 1.

En la tabla 4.2 se indican las ponderaciones asignadas a cada dato, dependiendo de la n que fue utilizada. Para asignar dichas ponderaciones se utilizó la progresión aritmética, de manera que el n -ésimo dato valiera n veces más que los anteriores, y

la suma de todas las ponderaciones diera como resultado 1.

Tabla 4.2: Ponderaciones: Promedio móvil ponderado (elaboración propia)

n	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Dato 5	Dato 6
2	0.33	0.67				
3	0.17	0.33	0.50			
4	0.10	0.20	0.30	0.40		
5	0.07	0.13	0.20	0.27	0.33	
6	0.05	0.10	0.14	0.19	0.24	0.29

La fórmula utilizada para calcular el pronóstico de cada periodo fue la (4.6):

$$P_{n+i} = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^{n+1-i} D_j W_j \quad (4.6)$$

Como se puede ver, es la misma fórmula aplicada para el promedio móvil, con una nueva variable W , que indica la ponderación que se le da a cada valor D .

Una vez obtenidos los valores pronosticados para cada uno de los periodos, se obtuvo el error, es decir la diferencia entre el valor real y el valor obtenido mediante el pronóstico. Este error fue calculado para cada uno de los periodos. Para ello, la fórmula utilizada fue la (4.2).

El siguiente paso fue calcular el error absoluto para cada uno de los periodos. Dado que el error puede tomar valores positivos o negativos, es necesario que todos estos valores sean considerados como absolutos, mediante la fórmula (4.3).

Tras obtener el error absoluto, se obtuvo el error porcentual absoluto, que representa la diferencia en porcentaje entre el valor obtenido mediante el pronóstico y el valor real, y para el cual se utilizó la fórmula (4.4).

De este modo, se obtuvo un error porcentual absoluto para cada uno de los periodos considerados. Por lo que el siguiente paso fue obtener el error porcentual

medio absoluto, es decir, el error medio considerando todos los periodos analizados, y cuyo valor fue obtenido con la fórmula (4.5).

Los errores porcentuales medios absolutos obtenidos mediante el método de promedio móvil ponderado se encuentran en la tabla 4.3:

Tabla 4.3: Errores porcentuales medios absolutos: Promedio móvil ponderado (elaboración propia)

Error promedio móvil ponderado	
$n=2$	19.83 %
$n=3$	20.22 %
$n=4$	20.72 %
$n=5$	20.83 %
$n=6$	21.17 %

En las figuras 4.6 a 4.10 se encuentran de manera gráfica las comparaciones entre los valores reales y los valores obtenidos mediante el promedio móvil ponderado.

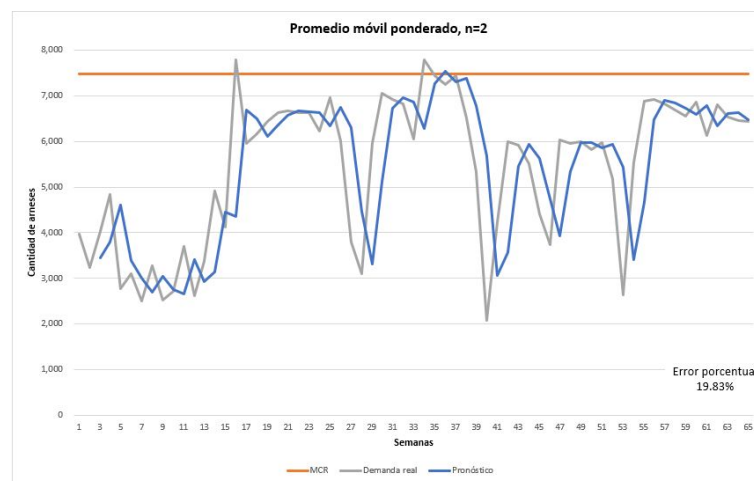


Figura 4.6: Promedio móvil ponderado, $n=2$ (elaboración propia)

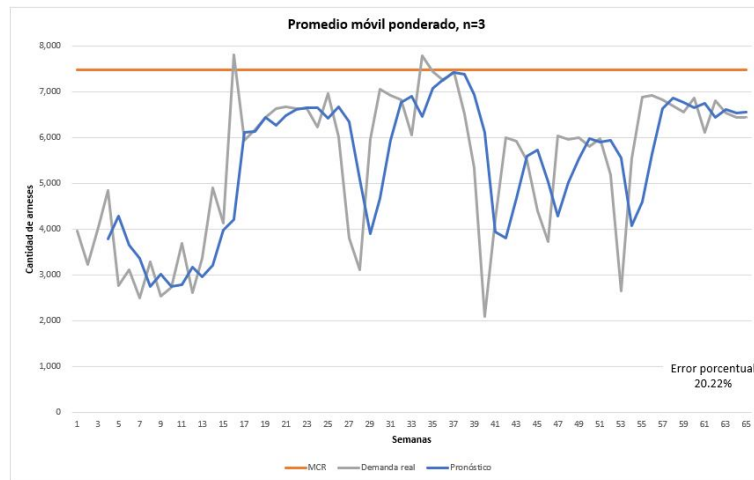


Figura 4.7: Promedio móvil ponderado, $n=3$ (elaboración propia)

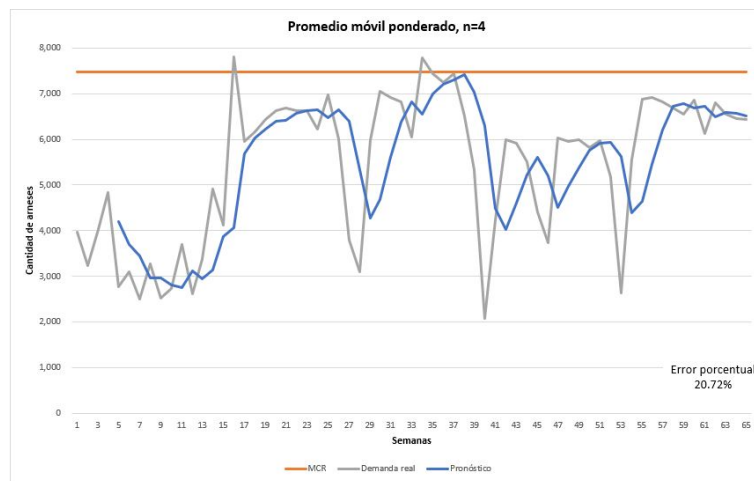


Figura 4.8: Promedio móvil ponderado, $n=4$ (elaboración propia)

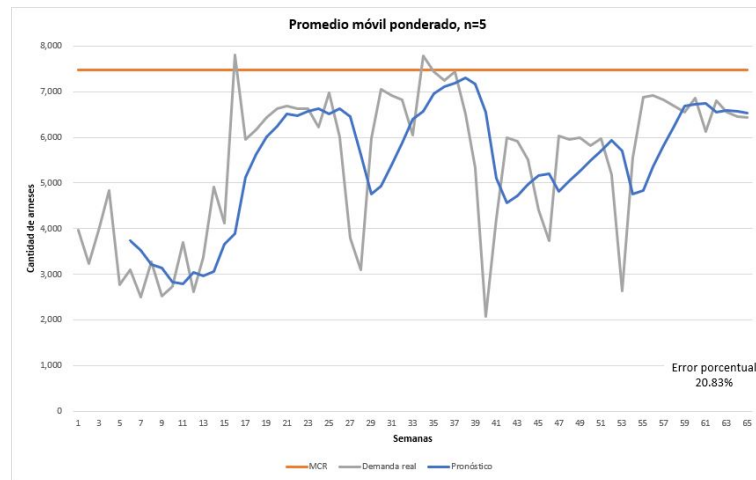


Figura 4.9: Promedio móvil ponderado, $n=5$ (elaboración propia)

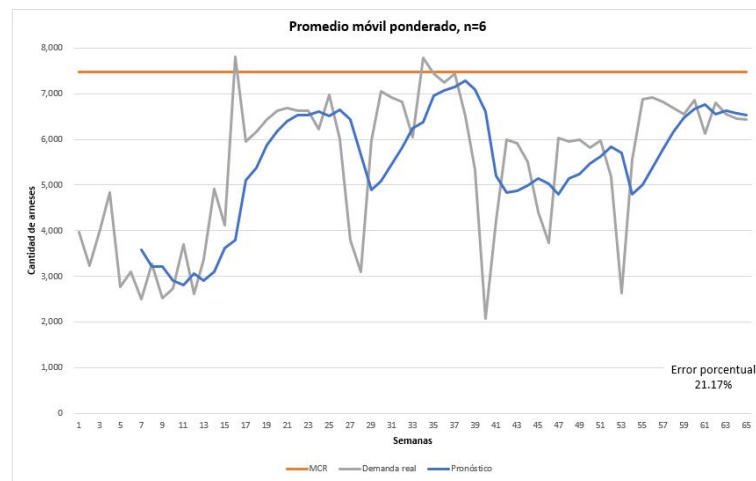


Figura 4.10: Promedio móvil ponderado, $n=6$ (elaboración propia)

4.3.3 PRONÓSTICO DE DEMANDA: SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL

Para la aplicación de la suavización exponencial se asignó un valor de α , que indica el peso que se le da al dato anterior disponible para ser aplicado en el pronóstico del dato actual. Mientras mayor sea el valor de α se indica que los datos más recientes tienen más peso. Para este fin se hicieron cuatro análisis con cuatro valores distintos de α : 0.35, 0.5, 0.8 y 0.9.

Para obtener el primer valor pronosticado, se utilizó la fórmula (4.7)

$$P_1 + \alpha(D_1 - P_1) \quad (4.7)$$

Donde P_1 es el pronóstico del primer periodo y D_1 es la demanda real del primer periodo.

Es importante mencionar que al ser el primer dato y no contar aún con un pronóstico obtenido mediante esta herramienta para el primer periodo, se consideró el pronóstico recibido por parte de cliente.

Una vez obtenido el primer dato, la fórmula para obtener los valores para los pronósticos de los periodos consecuentes, fue la (4.8).

$$P_i = P_{i-1} + \alpha(D_{i-1} - P_{i-1}) \quad (4.8)$$

Al igual que con el promedio móvil y el promedio móvil ponderado, una vez obtenidos los valores pronosticados para cada uno de los periodos, se obtuvo el error, es decir la diferencia entre el valor real y el valor obtenido mediante el pronóstico, para cada uno de los periodos. La fórmula que se utilizó fue la (4.2).

El siguiente paso fue calcular el error absoluto para cada uno de los periodos. Dado que el error puede tomar valores positivos o negativos, es necesario que todos estos valores sean considerados como absolutos, mediante la fórmula (4.3).

Tras obtener el error absoluto, se obtuvo el error porcentual absoluto, que representa la diferencia en porcentaje entre el valor obtenido mediante el pronóstico y el valor real, y para el cual se utilizó la fórmula (4.4).

De este modo, se obtuvo un error porcentual absoluto para cada uno de los periodos considerados. Por lo que el siguiente paso fue obtener el error porcentual medio absoluto, es decir, el error medio considerando todos los periodos analizados, y cuyo valor fue obtenido mediante la fórmula (4.5).

Los errores porcentuales medios absolutos obtenidos mediante el método de suavización exponencial se encuentran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Errores porcentuales medios absolutos: Suavización exponencial (elaboración propia)

Error suavización exponencial	
$\alpha=0.35$	20.62 %
$\alpha=0.50$	19.31 %
$\alpha=0.80$	19.18 %
$\alpha=0.90$	19.34 %

En las figuras 4.11 a 4.14 se encuentran de manera gráfica las comparaciones entre los valores reales y los valores obtenidos mediante la suavización exponencial.

4.3.4 PRONÓSTICO DE DEMANDA: HOLT-WINTERS

Para la aplicación del método de Holt-Winters, también conocido como suavización exponencial doble, se asignó un valor de α , que indica el peso que se le da al dato anterior disponible para ser aplicado en el pronóstico del dato actual, al igual que se realizó en la suavización exponencial. Para este fin se hicieron igualmente cuatro análisis con cuatro valores distintos de α : 0.35, 0.5, 0.8 y 0.9.

La diferencia entre este método y la suavización exponencial es que se cuenta

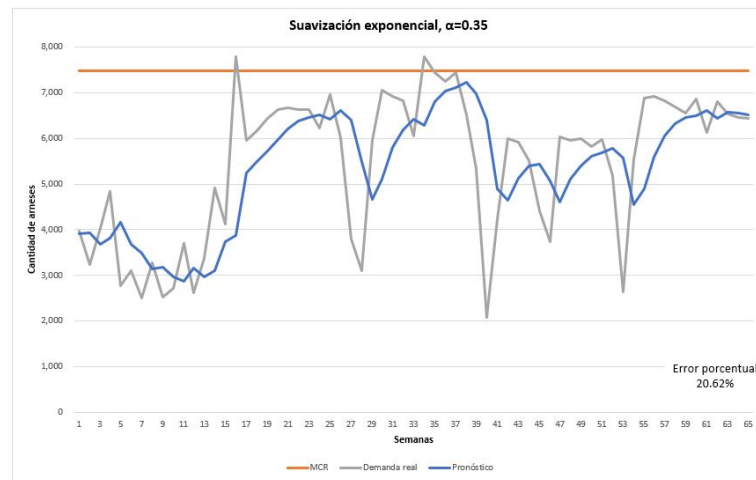


Figura 4.11: Suavización exponencial, $\alpha=0.35$ (elaboración propia)

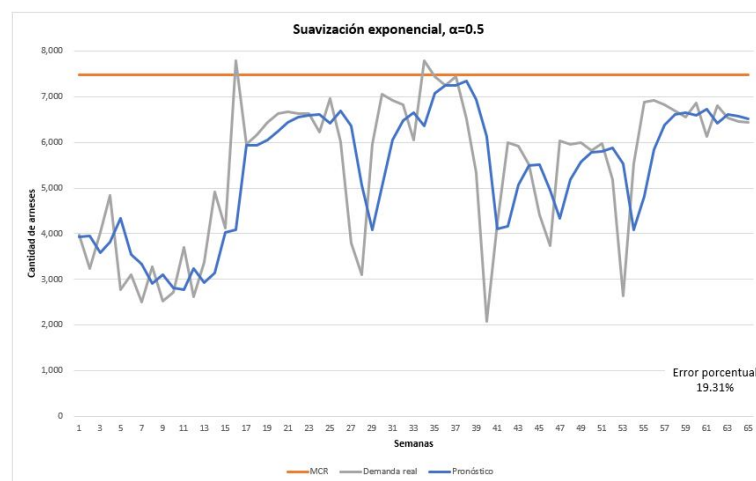
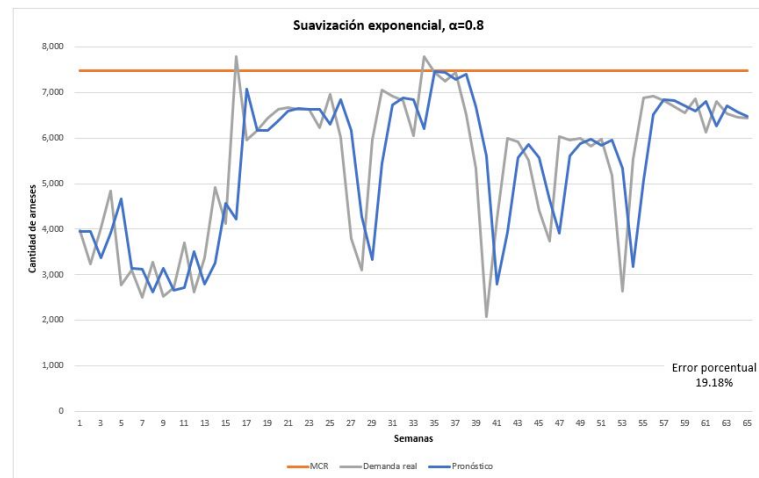
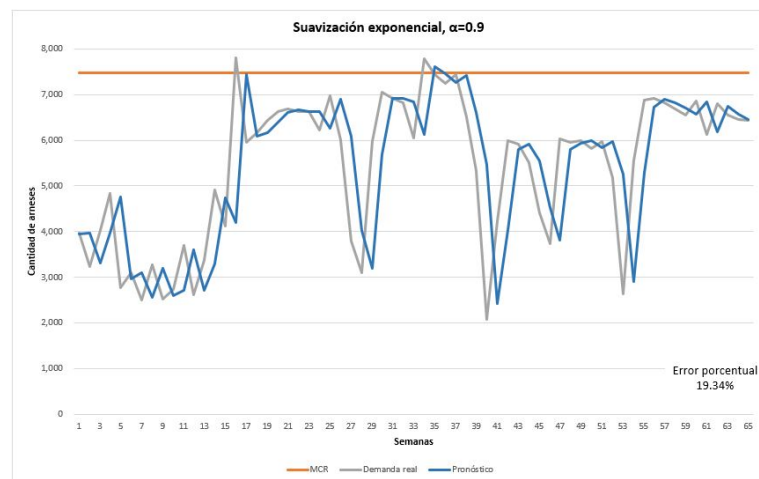


Figura 4.12: Suavización exponencial, $\alpha=0.50$ (elaboración propia)

Figura 4.13: Suavización exponencial, $\alpha=0.80$ (elaboración propia)Figura 4.14: Suavización exponencial, $\alpha=0.90$ (elaboración propia)

con un factor de tendencia, que se calcula asignando un parámetro δ . El valor δ indica qué tanto el pronóstico puede reaccionar ante la tendencia. Mientras mayor sea δ , mayor es la reacción. Dado que se tiene un problema con tanta variabilidad, se utilizó un valor relativamente bajo de $\delta=0.3$. La asignación de este parámetro depende del criterio de quien realiza el pronóstico.

La fórmula para calcular el suavizado exponencial doble es la (4.9).

$$P_i = SE_i + T_i \quad (4.9)$$

En la cual SE es el suavizado exponencial y T la tendencia suavizada.

A su vez, el suavizado exponencial y la tendencia suavizada fueron calculadas mediante las fórmulas (4.10) y (4.11) respectivamente.

$$SE_i = (\alpha \times D_{i-1}) + (1 - \alpha)(P_{i-1}) \quad (4.10)$$

$$T_i = \delta(SE_i - SE_{i-1}) + (1 - \delta)(T_{i-1}) \quad (4.11)$$

Para obtener el primer valor pronosticado, se utilizó la fórmula (4.7).

Es importante mencionar que al ser el primer dato y no contar aún con un pronóstico obtenido mediante esta herramienta para el primer periodo, se consideró el pronóstico recibido por parte de cliente.

Así mismo, para obtener la tendencia del primer periodo, al no contar con datos anteriores, se hizo uso de la herramienta TREND en Microsoft Excel, para lo cual se tomaron los datos reales disponibles, y se aplicó la tendencia para el primero de ellos. A partir del segundo periodo, se hizo uso de la formula antes mencionada de tendencia suavizada.

Al igual que con el promedio móvil, el promedio móvil ponderado y la suavización exponencial, una vez obtenidos los valores pronosticados para cada uno de los periodos, se obtuvo el error para cada uno de los periodos. La fórmula que se utilizó fue la (4.2).

El siguiente paso fue calcular el error absoluto para cada uno de los periodos. Dado que el error puede tomar valores positivos o negativos, es necesario que todos estos valores sean considerados como absolutos, mediante la fórmula (4.3).

Tras obtener el error absoluto, se obtuvo el error porcentual absoluto, que representa la diferencia en porcentaje entre el valor obtenido mediante el pronóstico y el valor real, y para el cual se utilizó la fórmula (4.4).

De este modo, se obtuvo un error porcentual absoluto para cada uno de los periodos considerados. Por lo que el siguiente paso fue obtener el error porcentual medio absoluto, es decir, el error medio considerando todos los periodos analizados, y cuyo valor fue obtenido mediante la fórmula (4.5).

Los errores porcentuales medios absolutos obtenidos mediante el método de promedio móvil ponderado se encuentran en la tabla 4.5.

Tabla 4.5: Errores porcentuales medios absolutos: Holt-Winters (elaboración propia)

Error Holt-Winters	
$\alpha=0.35$	22.86 %
$\alpha=0.50$	22.27 %
$\alpha=0.80$	21.62 %
$\alpha=0.90$	21.74 %

En las figuras 4.15 a 4.18 se encuentran de manera gráfica las comparaciones entre los valores reales y los valores obtenidos mediante la suavización exponencial doble.

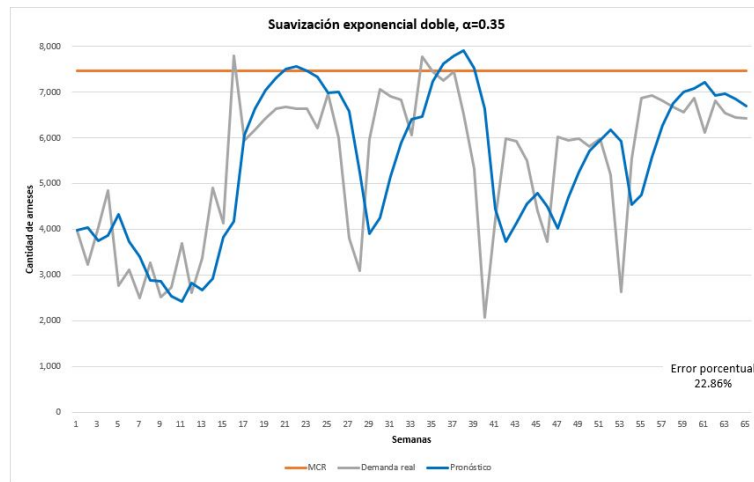


Figura 4.15: Holt-Winters, $\alpha=0.35$ (elaboración propia)

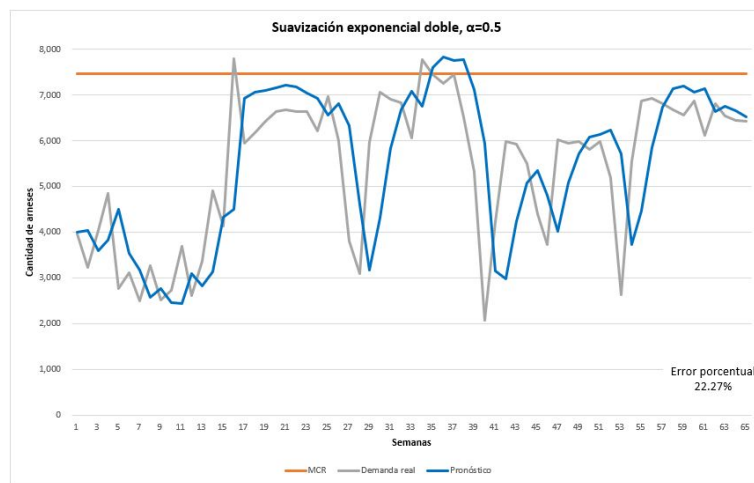


Figura 4.16: Holt-Winters, $\alpha=0.50$ (elaboración propia)

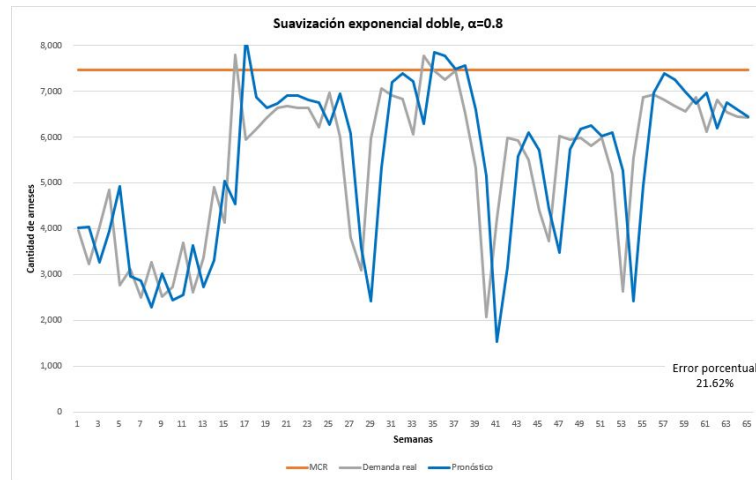


Figura 4.17: Holt-Winters, $\alpha=0.80$ (elaboración propia)

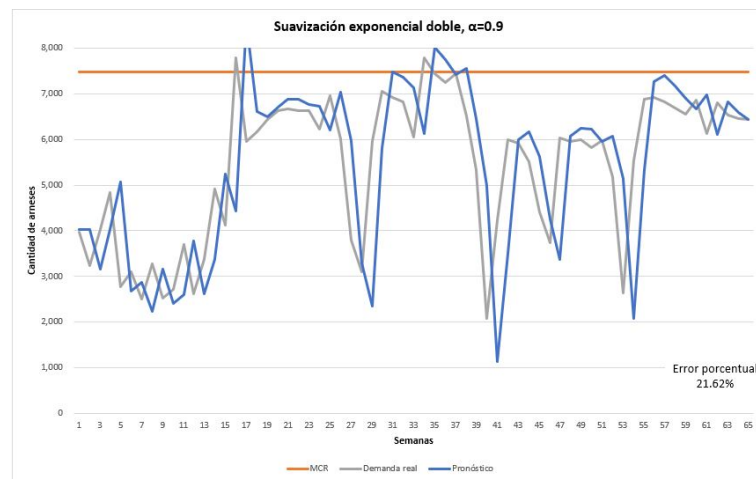


Figura 4.18: Holt-Winters, $\alpha=0.90$ (elaboración propia)

4.3.5 POLÍTICA DE INVENTARIOS

Para la aplicación de la política de inventarios (R, s, S) , se probaron valores de S entre 5 y 10, que representan los días que se pueden tener como máximo de inventario. Es importante recordar que 5 días es la meta actual que se considera en la empresa.

Con la finalidad de encontrar el valor ideal del inventario de seguridad, que a su vez nos permitiera establecer el valor de S para la proyección de inventarios, se hizo uso de la fórmula (2.1), enunciada en el apartado 2.5.2 «Ordenar a S », del capítulo 2.

Como se mencionó, en esta ecuación S representa el nivel deseado de inventario, D es la demanda durante el periodo, y $k\sigma$ es el inventario de seguridad, donde σ es la desviación estándar de la demanda y k es una constante establecida de acuerdo con el nivel de servicio deseado. El parámetro k tomó los valores obtenidos de la tabla T de Student (Mendenhall *et al.*, 2009) para confianzas de 0.95, 0.975 y 0.99, es decir, 1.645, 1.960 y 2.326.

Para el caso real, estos parámetros tomaron los siguientes valores:

- D : Demanda promedio de las 65 semanas = 5,437
- σ : Desviación estándar de las 65 semanas = 1,576
- k : Valor de tabla T de Student = 1.645, 1.960 y 2.326

Aplicando la fórmula, se obtienen tres niveles de inventario S : 7,940, 8,436 y 9,013 unidades. Considerando que la demanda promedio de 5,437 unidades representa 5 días, los valores de S de 7,940, 8,436 y 9,013 unidades representan 7.30, 7.76 y 8.29 días respectivamente. Además, de acuerdo con esto, hay tres inventarios de seguridad propuestos, de 2,593, 3,089 y 3,666 unidades, que representan 2.38, 2.84 y 3.37 días.

Por consiguiente, se decidió proyectar el desabasto aplicando los siguientes niveles de inventario:

- 5 días (política actual)
- 6 días
- 7 días
- 7.30 días
- 7.76 días
- 8 días
- 8.29 días

En las tablas del Apéndice B se encuentran las proyecciones de inventario considerando cada uno de los valores de S . Se agrega una fila correspondiente a la demanda real neta, que si bien, en teoría no sería conocida, sí se debe considerar para la proyección al ser la real. La fila de pronóstico de demanda se utilizó para la proyección del plan de producción.

Cabe mencionar que el pronóstico utilizado para esta proyección es el obtenido mediante la suavización exponencial con un valor α de 0.8, al haber presentado el menor error absoluto medio.

En la tabla 4.6 se pueden encontrar los porcentajes de desabasto estimados con cada nivel de inventario. Además se encuentra el nivel de confianza, el cual fue obtenido al despejar la variable k de la fórmula ya mencionada, y buscando dichos valores en la tabla T de Student antes mencionada.

De este modo, se puede estimar la cantidad de arneses que corresponde a cada uno de los niveles de días de inventario, de manera que, tomando en cuenta el costo promedio de un arnés de \$259.71 dólares (dato obtenido de la base de datos de la

Tabla 4.6: Porcentajes de desabasto (elaboración propia)

Meta de inventario (días)	Nivel de confianza	Porcentaje de desabasto
5	0.0	38.03 %
6	0.75	21.59 %
7	0.914	6.70 %
7.30	0.95	3.16 %
7.76	0.975	0.28 %
8	0.98	0.0 %
8.29	0.99	0.0 %

empresa), se puede estimar el costo promedio de mantener cada uno de dichos niveles de inventario, al multiplicar el número de arneses por el costo individual del arnés. Además, se utilizó la interpolación para obtener el valor k de la tabla T de student, para los casos en los que los niveles de confianza no vienen explícitos en dicha tabla. Esto se puede ver en la tabla 4.7.

Tabla 4.7: Costos promedio de mantener inventario (elaboración propia)

Meta de inventario (días)	Cantidad promedio de arneses	Costo promedio total de mantener inventario (dólares)
5	5,437	\$1,412,043.27
6	6,500	\$1,688,115.00
7	7,754	\$2,013,791.34
7.3	7,940	\$2,062,097.40
7.76	8,436	\$2,190,913.56
8	8,718	\$2,264,151.78
8.29	9,013	\$2,340,766.23

Además, utilizando las tablas de proyecciones de inventario del Apéndice B, se puede estimar la cantidad de envíos expeditados que se tendrían que hacer en las semanas en que se presenta desabasto, para de esta manera calcular el costo

de expeditaciones. Tomando en cuenta el requerimiento real de cada semana, se puede estimar el requerimiento promedio diario dividiendo dicho requerimiento entre cinco días. Considerando este requerimiento diario, se toma la cantidad negativa o desabastecida y se estima el número de envíos expeditados de cada semana que presente inventarios negativos. Esto se puede ver en la tabla 4.8.

Tabla 4.8: Costos estimados de expeditaciones (elaboración propia)

Meta de inventario (días)	Cantidad estimada de envíos expeditados	Costo estimado de expeditar (dólares)
5	125	\$125,000
6	77	\$77,000
7	35	\$35,000
7.3	26	\$26,000
7.76	5	\$5,000
8	0	\$0
8.29	0	\$0

De esta manera, se tienen los costos totales considerando tantos los costos de mantener inventario como los costos estimados de expeditaciones, que se pueden ver en la tabla 4.9. Así mismo, fue calculado el nivel de servicio, dividiendo la cantidad de arneses bajo embarcados entre en total de arneses requeridos, y restando este resultado de 1.

Como se puede ver, mientras mayor sea el nivel de inventario, el costo de mantenerlo aumenta, a la vez que el costo de expeditar disminuye. Sin embargo, el costo total no deja de aumentar a medida que lo hace el nivel de inventario. Por tanto, para tomar la decisión de cuál es la meta de inventario que la empresa debe mantener, debe considerar cuánto dinero está dispuesta a tener inventariado, y tomar en cuenta el nivel de servicio que desea ofrecer a sus clientes, el cual aumenta mientras más existencias se tengan disponibles.

Tabla 4.9: Costos estimados totales (elaboración propia)

Meta de inventario (días)	Costo promedio total de mantener inventario (dólares)	Costo estimado de expeditar (dólares)	Costo estimado total (dólares)	Nivel de servicio
5	\$1,412,043.27	\$125,000	\$1,537,043.27	62.65 %
6	\$1,688,115.00	\$77,000	\$1,765,115.00	78.79 %
7	\$2,013,791.34	\$35,000	\$2,048,791.34	93.42 %
7.3	\$2,062,097.40	\$26,000	\$2,088,097.74	96.89 %
7.76	\$2,190,913.56	\$5,000	\$2,195,913.56	99.72 %
8	\$2,264,151.78	\$0	\$2,264,151.78	100 %
8.29	\$2,340,766.23	\$0	\$2,340,766.23	100 %

4.4 RESULTADOS

Una vez realizados los análisis tanto para pronóstico de demanda como de política de inventarios, se obtuvieron los siguientes resultados:

- El mejor resultado para pronóstico de demanda se obtuvo utilizando el método de suavización exponencial y un valor α de 0.8. Dicho resultado se puede encontrar en la tabla 4.4, con un error de 19.18 %
- En cuanto a la proyección de inventarios, en la tabla 4.6 se puede ver que, considerando un nivel de existencias de 5 días - la política actual -, se proyecta un 38.03 % de desabasto.
- Considerando 6 y 7 días, se proyecta un desabasto de 21.59 % y 6.70 %, respectivamente.
- Considerando los niveles de inventario obtenidos matemáticamente de 7.30, 7.76 y 8.29 días, se proyecta tener un 3.16 %, 0.28 % y 0.00 % de desabasto respectivamente.

Se recomienda a la empresa mantener un nivel de inventario de 7.30 días, por las siguientes razones:

- La diferencia en inversión respecto al mínimo de 5 días es de \$551,054.47 dólares. Si bien puede parecer una cantidad alta, lo cierto es que tardaría sólo dos días más en retornar como venta, pues el producto tardaría dos días más en ser enviado al cliente.
- El número de envíos expeditados disminuiría drásticamente de 125 actuales a aproximadamente 26 en un año y medio, lo cual representa una reducción de un 80 %. Esto es un factor importante para los indicadores internos.
- El nivel de servicio alcanzado sería de casi 97 %. Es decir, de cada 100 envíos al cliente, 97 de ellos serían completos. Esto mejora el margen de maniobra para aquellos envíos que no logren ser completados, y se reduce el riesgo de que dichos bajo embarques impacten en la producción del cliente.

Si bien un pronóstico de demanda correctamente realizado puede dictar la pauta para la planeación de una producción, es de suma importancia que esté soportado con la política de inventarios adecuada. Un pronóstico bien hecho, sin una política de inventarios correcta, da el mismo resultado que no contar con él. Aun y cuando se tenga una correcta planeación de la demanda, el no inventariar adecuadamente impedirá cubrir de la manera deseada los requerimientos del cliente, especialmente aquellos drásticos o inesperados.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este último capítulo se presentan las conclusiones derivadas de la realización del proyecto, así como las recomendaciones que se plantean para todo aquel que desee utilizarlo como referencia. De acuerdo a objetivo planteado, se puede concluir que este se cumplió satisfactoriamente tras la finalización de la investigación y aplicación del caso, pues como se vió en el capítulo anterior, se incrementó el servicio al cliente, en tanto que el desabasto se vio reducido.

Para el correcto funcionamiento de la cadena de suministro, es de suma importancia contar con un pronóstico de demanda confiable. Dado que para el caso real aplicado actualmente no existe tal, se propuso una metodología de tres pasos que pretende ayudar a encontrar el método de pronóstico que mejor se adapte a la naturaleza de los datos con los que se cuenta, la política de inventarios que soporte apropiadamente dicho pronóstico y un último paso que consiste en ponerlos a prueba.

En el paso consistente en la selección del método de pronóstico se hicieron experimentaciones diversas buscando los mejores parámetros, encontrando cual arrojaba el menor error porcentual, y por lo cual fue seleccionado.

Una vez obtenido el mejor método de pronóstico, se procedió a utilizarlo para proyectar los niveles de inventario. Este fue el paso más importante en la búsqueda

de la reducción del desabasto, el cual era el objetivo principal del proyecto. Aun y cuando se pueda contar con un pronóstico cercano a lo real, si no se tiene una política de inventarios apropiada, las fallas se pueden seguir presentando, pues en escenarios reales las variaciones en la demanda siempre existirán.

Tanto los métodos de pronóstico como las políticas de inventario que se presentaron como posibles elecciones fueron resultado de la revisión de literatura que se puede encontrar en el segundo capítulo, al ser aquellos que los autores mencionaban con mayor frecuencia y demostrando que arrojaban mejores resultados.

5.1 CONTRIBUCIONES A LA CADENA DE SUMINISTRO

Entre las contribuciones que este proyecto brinda a la cadena de suministro podemos encontrar las siguientes:

- Lograr anticiparse a las variaciones en los requerimientos del cliente.
- Reducción del desabasto de producto terminado.
- Reducción de operaciones y costos extraordinarios, como tiempo extra en la planta de producción o transportes expeditados.
- Mejor planeación de la producción y por consiguiente mejor planeación de los componentes.

5.2 LÍNEAS DE CONTINUIDAD

Es importante mencionar que se continuará trabajando en la aplicación de esta misma metodología propuesta en otros proyectos que se tienen dentro de la empresa

con el mismo cliente, al presentar comportamientos similares en sus demandas. También se recomienda aplicarlo en proyectos de clientes distintos, buscando, como se ha mencionado, aquellos métodos que se adapten de mejor manera a la variabilidad de cada cliente y cada proyecto.

Como punto importante cabe decir que siempre la mejor opción que se debe elegir es aquella que represente el menor costo total, siempre y cuando no afecte el funcionamiento y las operaciones de los clientes. Además de la reducción del desabasto, que en el caso de este proyecto era el principal objetivo, también deben tomarse en cuenta factores como el costo de mantener el inventario, así como la potencial obsolescencia y el espacio físicamente disponible en el almacén, en caso de que se decida incrementar los niveles de inventario.

APÉNDICE A

TABLAS DE PRONÓSTICOS

Tabla A.1: Promedio móvil, $n=2$

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962				
2	3,235				
3	4,035	3,599	437	437	11 %
4	4,844	3,635	1,209	1,209	25 %
5	2,769	4,440	(1,671)	1,671	60 %
6	3,110	3,807	(697)	697	22 %
7	2,506	2,940	(434)	434	17 %
8	3,277	2,808	469	469	14 %
9	2,528	2,892	(364)	364	14 %
10	2,725	2,903	(178)	178	7 %
11	3,694	2,627	1,068	1,068	29 %
12	2,612	3,210	(598)	598	23 %
13	3,367	3,153	214	214	6 %
14	4,906	2,990	1,917	1,917	39 %
15	4,132	4,137	(5)	5	0 %
16	7,797	4,519	3,278	3,278	42 %
17	5,947	5,965	(18)	18	0 %
18	6,176	6,872	(696)	696	11 %
19	6,432	6,062	371	371	6 %
20	6,638	6,304	334	334	5 %
21	6,678	6,535	143	143	2 %
22	6,631	6,658	(27)	27	0 %
23	6,638	6,655	(17)	17	0 %
24	6,221	6,635	(414)	414	7 %
25	6,968	6,430	539	539	8 %
26	6,010	6,595	(585)	585	10 %
27	3,801	6,489	(2,688)	2,688	71 %
28	3,105	4,906	(1,801)	1,801	58 %
29	5,965	3,453	2,512	2,512	42 %
30	7,058	4,535	2,523	2,523	36 %
31	6,918	6,512	407	407	6 %
32	6,827	6,988	(161)	161	2 %
33	6,059	6,873	(814)	814	13 %

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	6,443	1,340	1,340	17 %
35	7,440	6,921	519	519	7 %
36	7,254	7,612	(358)	358	5 %
37	7,440	7,347	93	93	1 %
38	6,516	7,347	(831)	831	13 %
39	5,340	6,978	(1,638)	1,638	31 %
40	2,083	5,928	(3,845)	3,845	185 %
41	4,212	3,712	501	501	12 %
42	5,991	3,148	2,844	2,844	47 %
43	5,923	5,102	822	822	14 %
44	5,506	5,957	(451)	451	8 %
45	4,408	5,715	(1,307)	1,307	30 %
46	3,731	4,957	(1,226)	1,226	33 %
47	6,027	4,070	1,958	1,958	32 %
48	5,954	4,879	1,075	1,075	18 %
49	5,991	5,991	1	1	0 %
50	5,814	5,973	(159)	159	3 %
51	5,979	5,903	77	77	1 %
52	5,192	5,897	(705)	705	14 %
53	2,642	5,586	(2,944)	2,944	111 %
54	5,540	3,917	1,623	1,623	29 %
55	6,878	4,091	2,787	2,787	41 %
56	6,921	6,209	712	712	10 %
57	6,821	6,900	(79)	79	1 %
58	6,684	6,871	(187)	187	3 %
59	6,558	6,753	(195)	195	3 %
60	6,869	6,621	248	248	4 %
61	6,120	6,714	(594)	594	10 %
62	6,809	6,495	315	315	5 %
63	6,544	6,465	80	80	1 %
64	6,448	6,677	(229)	229	4 %
65	6,433	6,496	(63)	63	1 %

Tabla A.2: Promedio móvil, $n=3$

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962				
2	3,235				
3	4,035				
4	4,844	3,744	1,100	1,100	23 %
5	2,769	4,038	(1,269)	1,269	46 %
6	3,110	3,883	(773)	773	25 %
7	2,506	3,574	(1,068)	1,068	43 %
8	3,277	2,795	482	482	15 %
9	2,528	2,964	(436)	436	17 %
10	2,725	2,770	(45)	45	2 %
11	3,694	2,843	851	851	23 %
12	2,612	2,982	(370)	370	14 %
13	3,367	3,010	357	357	11 %
14	4,906	3,224	1,682	1,682	34 %
15	4,132	3,628	504	504	12 %
16	7,797	4,135	3,662	3,662	47 %
17	5,947	5,612	335	335	6 %
18	6,176	5,959	217	217	4 %
19	6,432	6,640	(208)	208	3 %
20	6,638	6,185	453	453	7 %
21	6,678	6,415	263	263	4 %
22	6,631	6,583	48	48	1 %
23	6,638	6,649	(11)	11	0 %
24	6,221	6,649	(428)	428	7 %
25	6,968	6,497	471	471	7 %
26	6,010	6,609	(599)	599	10 %
27	3,801	6,400	(2,599)	2,599	68 %
28	3,105	5,593	(2,488)	2,488	80 %
29	5,965	4,305	1,660	1,660	28 %
30	7,058	4,290	2,768	2,768	39 %
31	6,918	5,376	1,542	1,542	22 %
32	6,827	6,647	180	180	3 %
33	6,059	6,934	(875)	875	14 %

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	6,601	1,182	1,182	15 %
35	7,440	6,890	550	550	7 %
36	7,254	7,094	160	160	2 %
37	7,440	7,492	(52)	52	1 %
38	6,516	7,378	(862)	862	13 %
39	5,340	7,070	(1,730)	1,730	32 %
40	2,083	6,432	(4,349)	4,349	209 %
41	4,212	4,646	(434)	434	10 %
42	5,991	3,878	2,113	2,113	35 %
43	5,923	4,095	1,828	1,828	31 %
44	5,506	5,375	131	131	2 %
45	4,408	5,807	(1,399)	1,399	32 %
46	3,731	5,279	(1,548)	1,548	41 %
47	6,027	4,548	1,479	1,479	25 %
48	5,954	4,722	1,232	1,232	21 %
49	5,991	5,237	754	754	13 %
50	5,814	5,991	(177)	177	3 %
51	5,979	5,920	59	59	1 %
52	5,192	5,928	(736)	736	14 %
53	2,642	5,662	(3,020)	3,020	114 %
54	5,540	4,604	936	936	17 %
55	6,878	4,458	2,420	2,420	35 %
56	6,921	5,020	1,901	1,901	27 %
57	6,821	6,446	375	375	5 %
58	6,684	6,873	(189)	189	3 %
59	6,558	6,809	(251)	251	4 %
60	6,869	6,688	181	181	3 %
61	6,120	6,704	(584)	584	10 %
62	6,809	6,516	293	293	4 %
63	6,544	6,599	(55)	55	1 %
64	6,448	6,491	(43)	43	1 %
65	6,433	6,600	(167)	167	3 %

Tabla A.3: Promedio móvil, $n=4$

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962				
2	3,235				
3	4,035				
4	4,844				
5	2,769	4,019	(1,250)	1,250	45 %
6	3,110	3,721	(611)	611	20 %
7	2,506	3,690	(1,184)	1,184	47 %
8	3,277	3,307	(30)	30	1 %
9	2,528	2,916	(388)	388	15 %
10	2,725	2,855	(130)	130	5 %
11	3,694	2,759	935	935	25 %
12	2,612	3,056	(444)	444	17 %
13	3,367	2,890	477	477	14 %
14	4,906	3,100	1,807	1,807	37 %
15	4,132	3,645	487	487	12 %
16	7,797	3,754	4,043	4,043	52 %
17	5,947	5,051	897	897	15 %
18	6,176	5,696	481	481	8 %
19	6,432	6,013	419	419	7 %
20	6,638	6,588	50	50	1 %
21	6,678	6,298	380	380	6 %
22	6,631	6,481	150	150	2 %
23	6,638	6,595	43	43	1 %
24	6,221	6,646	(425)	425	7 %
25	6,968	6,542	426	426	6 %
26	6,010	6,615	(605)	605	10 %
27	3,801	6,459	(2,658)	2,658	70 %
28	3,105	5,750	(2,645)	2,645	85 %
29	5,965	4,971	994	994	17 %
30	7,058	4,720	2,338	2,338	33 %
31	6,918	4,982	1,936	1,936	28 %
32	6,827	5,762	1,066	1,066	16 %
33	6,059	6,692	(633)	633	10 %

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	6,716	1,068	1,068	14 %
35	7,440	6,897	543	543	7 %
36	7,254	7,027	227	227	3 %
37	7,440	7,134	306	306	4 %
38	6,516	7,479	(963)	963	15 %
39	5,340	7,163	(1,823)	1,823	34 %
40	2,083	6,638	(4,555)	4,555	219 %
41	4,212	5,345	(1,133)	1,133	27 %
42	5,991	4,538	1,453	1,453	24 %
43	5,923	4,407	1,517	1,517	26 %
44	5,506	4,552	954	954	17 %
45	4,408	5,408	(1,000)	1,000	23 %
46	3,731	5,457	(1,726)	1,726	46 %
47	6,027	4,892	1,135	1,135	19 %
48	5,954	4,918	1,036	1,036	17 %
49	5,991	5,030	961	961	16 %
50	5,814	5,426	388	388	7 %
51	5,979	5,947	33	33	1 %
52	5,192	5,935	(743)	743	14 %
53	2,642	5,744	(3,102)	3,102	117 %
54	5,540	4,907	633	633	11 %
55	6,878	4,838	2,040	2,040	30 %
56	6,921	5,063	1,858	1,858	27 %
57	6,821	5,495	1,326	1,326	19 %
58	6,684	6,540	144	144	2 %
59	6,558	6,826	(268)	268	4 %
60	6,869	6,746	123	123	2 %
61	6,120	6,733	(613)	613	10 %
62	6,809	6,558	251	251	4 %
63	6,544	6,589	(45)	45	1 %
64	6,448	6,586	(138)	138	2 %
65	6,433	6,480	(47)	47	1 %

Tabla A.4: Promedio móvil, $n=5$

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962				
2	3,235				
3	4,035				
4	4,844				
5	2,769				
6	3,110	3,769	(659)	659	21 %
7	2,506	3,599	(1,093)	1,093	44 %
8	3,277	3,453	(176)	176	5 %
9	2,528	3,301	(773)	773	31 %
10	2,725	2,838	(113)	113	4 %
11	3,694	2,829	865	865	23 %
12	2,612	2,946	(334)	334	13 %
13	3,367	2,967	400	400	12 %
14	4,906	2,985	1,921	1,921	39 %
15	4,132	3,461	671	671	16 %
16	7,797	3,742	4,055	4,055	52 %
17	5,947	4,563	1,384	1,384	23 %
18	6,176	5,230	946	946	15 %
19	6,432	5,792	640	640	10 %
20	6,638	6,097	541	541	8 %
21	6,678	6,598	80	80	1 %
22	6,631	6,374	257	257	4 %
23	6,638	6,511	127	127	2 %
24	6,221	6,603	(382)	382	6 %
25	6,968	6,561	407	407	6 %
26	6,010	6,627	(617)	617	10 %
27	3,801	6,494	(2,693)	2,693	71 %
28	3,105	5,928	(2,823)	2,823	91 %
29	5,965	5,221	744	744	12 %
30	7,058	5,170	1,888	1,888	27 %
31	6,918	5,188	1,730	1,730	25 %
32	6,827	5,369	1,458	1,458	21 %
33	6,059	5,975	84	84	1 %

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	6,565	1,218	1,218	16 %
35	7,440	6,929	511	511	7 %
36	7,254	7,005	249	249	3 %
37	7,440	7,073	367	367	5 %
38	6,516	7,195	(679)	679	10 %
39	5,340	7,287	(1,947)	1,947	36 %
40	2,083	6,798	(4,715)	4,715	226 %
41	4,212	5,727	(1,515)	1,515	36 %
42	5,991	5,118	873	873	15 %
43	5,923	4,828	1,095	1,095	18 %
44	5,506	4,710	796	796	14 %
45	4,408	4,743	(335)	335	8 %
46	3,731	5,208	(1,477)	1,477	40 %
47	6,027	5,112	915	915	15 %
48	5,954	5,119	835	835	14 %
49	5,991	5,125	866	866	14 %
50	5,814	5,222	592	592	10 %
51	5,979	5,503	476	476	8 %
52	5,192	5,953	(761)	761	15 %
53	2,642	5,786	(3,144)	3,144	119 %
54	5,540	5,124	416	416	8 %
55	6,878	5,033	1,845	1,845	27 %
56	6,921	5,246	1,675	1,675	24 %
57	6,821	5,435	1,386	1,386	20 %
58	6,684	5,760	924	924	14 %
59	6,558	6,569	(11)	11	0 %
60	6,869	6,772	97	97	1 %
61	6,120	6,771	(651)	651	11 %
62	6,809	6,610	199	199	3 %
63	6,544	6,608	(64)	64	1 %
64	6,448	6,580	(132)	132	2 %
65	6,433	6,558	(125)	125	2 %

Tabla A.5: Promedio móvil, $n=6$

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962				
2	3,235				
3	4,035				
4	4,844				
5	2,769				
6	3,110				
7	2,506	3,659	(1,153)	1,153	46 %
8	3,277	3,417	(140)	140	4 %
9	2,528	3,424	(896)	896	35 %
10	2,725	3,172	(447)	447	16 %
11	3,694	2,819	875	875	24 %
12	2,612	2,973	(361)	361	14 %
13	3,367	2,890	477	477	14 %
14	4,906	3,034	1,872	1,872	38 %
15	4,132	3,305	827	827	20 %
16	7,797	3,573	4,224	4,224	54 %
17	5,947	4,418	1,529	1,529	26 %
18	6,176	4,794	1,383	1,383	22 %
19	6,432	5,388	1,045	1,045	16 %
20	6,638	5,898	740	740	11 %
21	6,678	6,187	491	491	7 %
22	6,631	6,611	20	20	0 %
23	6,638	6,417	221	221	3 %
24	6,221	6,532	(311)	311	5 %
25	6,968	6,540	428	428	6 %
26	6,010	6,629	(619)	619	10 %
27	3,801	6,524	(2,723)	2,723	72 %
28	3,105	6,045	(2,940)	2,940	95 %
29	5,965	5,457	508	508	9 %
30	7,058	5,345	1,713	1,713	24 %
31	6,918	5,485	1,434	1,434	21 %
32	6,827	5,476	1,351	1,351	20 %
33	6,059	5,612	447	447	7 %

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	5,989	1,794	1,794	23 %
35	7,440	6,768	672	672	9 %
36	7,254	7,014	240	240	3 %
37	7,440	7,047	393	393	5 %
38	6,516	7,134	(618)	618	9 %
39	5,340	7,082	(1,742)	1,742	33 %
40	2,083	6,962	(4,879)	4,879	234 %
41	4,212	6,012	(1,800)	1,800	43 %
42	5,991	5,474	517	517	9 %
43	5,923	5,264	659	659	11 %
44	5,506	5,011	495	495	9 %
45	4,408	4,843	(435)	435	10 %
46	3,731	4,687	(956)	956	26 %
47	6,027	4,962	1,065	1,065	18 %
48	5,954	5,264	690	690	12 %
49	5,991	5,258	733	733	12 %
50	5,814	5,270	545	545	9 %
51	5,979	5,321	658	658	11 %
52	5,192	5,583	(391)	391	8 %
53	2,642	5,826	(3,184)	3,184	121 %
54	5,540	5,262	278	278	5 %
55	6,878	5,193	1,685	1,685	24 %
56	6,921	5,341	1,580	1,580	23 %
57	6,821	5,525	1,296	1,296	19 %
58	6,684	5,666	1,018	1,018	15 %
59	6,558	5,914	644	644	10 %
60	6,869	6,567	302	302	4 %
61	6,120	6,789	(669)	669	11 %
62	6,809	6,662	147	147	2 %
63	6,544	6,644	(100)	100	2 %
64	6,448	6,597	(149)	149	2 %
65	6,433	6,558	(125)	125	2 %

Tabla A.6: Promedio móvil ponderado, $n=2$

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962				
2	3,235				
3	4,035	3,475	560	560	14 %
4	4,844	3,771	1,073	1,073	22 %
5	2,769	4,577	(1,808)	1,808	65 %
6	3,110	3,454	(344)	344	11 %
7	2,506	2,997	(491)	491	20 %
8	3,277	2,705	572	572	17 %
9	2,528	3,023	(495)	495	20 %
10	2,725	2,775	(50)	50	2 %
11	3,694	2,660	1,034	1,034	28 %
12	2,612	3,374	(762)	762	29 %
13	3,367	2,969	398	398	12 %
14	4,906	3,118	1,788	1,788	36 %
15	4,132	4,398	(266)	266	6 %
16	7,797	4,387	3,410	3,410	44 %
17	5,947	6,588	(641)	641	11 %
18	6,176	6,558	(382)	382	6 %
19	6,432	6,100	332	332	5 %
20	6,638	6,348	290	290	4 %
21	6,678	6,570	108	108	2 %
22	6,631	6,665	(34)	34	1 %
23	6,638	6,647	(9)	9	0 %
24	6,221	6,636	(415)	415	7 %
25	6,968	6,359	609	609	9 %
26	6,010	6,721	(711)	711	12 %
27	3,801	6,326	(2,525)	2,525	66 %
28	3,105	4,530	(1,425)	1,425	46 %
29	5,965	3,335	2,630	2,630	44 %
30	7,058	5,021	2,037	2,037	29 %
31	6,918	6,697	221	221	3 %
32	6,827	6,964	(137)	137	2 %
33	6,059	6,857	(798)	798	13 %

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	6,312	1,471	1,471	19 %
35	7,440	7,214	226	226	3 %
36	7,254	7,553	(299)	299	4 %
37	7,440	7,315	125	125	2 %
38	6,516	7,379	(863)	863	13 %
39	5,340	6,821	(1,481)	1,481	28 %
40	2,083	5,728	(3,645)	3,645	175 %
41	4,212	3,158	1,054	1,054	25 %
42	5,991	3,509	2,482	2,482	41 %
43	5,923	5,404	519	519	9 %
44	5,506	5,945	(439)	439	8 %
45	4,408	5,644	(1,236)	1,236	28 %
46	3,731	4,770	(1,039)	1,039	28 %
47	6,027	3,954	2,073	2,073	34 %
48	5,954	5,269	685	685	11 %
49	5,991	5,978	13	13	0 %
50	5,814	5,979	(165)	165	3 %
51	5,979	5,872	107	107	2 %
52	5,192	5,925	(733)	733	14 %
53	2,642	5,452	(2,810)	2,810	106 %
54	5,540	3,484	2,057	2,057	37 %
55	6,878	4,584	2,294	2,294	33 %
56	6,921	6,436	485	485	7 %
57	6,821	6,907	(86)	86	1 %
58	6,684	6,854	(170)	170	3 %
59	6,558	6,729	(171)	171	3 %
60	6,869	6,600	269	269	4 %
61	6,120	6,766	(646)	646	11 %
62	6,809	6,367	442	442	6 %
63	6,544	6,582	(38)	38	1 %
64	6,448	6,631	(183)	183	3 %
65	6,433	6,480	(47)	47	1 %

Tabla A.7: Promedio móvil ponderado, $n=3$

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962				
2	3,235				
3	4,035				
4	4,844	3,759	1,085	1,085	22 %
5	2,769	4,304	(1,535)	1,535	55 %
6	3,110	3,669	(559)	559	18 %
7	2,506	3,292	(786)	786	31 %
8	3,277	2,750	527	527	16 %
9	2,528	2,994	(466)	466	18 %
10	2,725	2,771	(46)	46	2 %
11	3,694	2,754	940	940	25 %
12	2,612	3,176	(564)	564	22 %
13	3,367	2,988	379	379	11 %
14	4,906	3,173	1,733	1,733	35 %
15	4,132	4,008	124	124	3 %
16	7,797	4,257	3,540	3,540	45 %
17	5,947	6,096	(149)	149	3 %
18	6,176	6,249	(73)	73	1 %
19	6,432	6,376	56	56	1 %
20	6,638	6,265	373	373	6 %
21	6,678	6,491	187	187	3 %
22	6,631	6,623	8	8	0 %
23	6,638	6,648	(10)	10	0 %
24	6,221	6,642	(421)	421	7 %
25	6,968	6,428	540	540	8 %
26	6,010	6,665	(655)	655	11 %
27	3,801	6,362	(2,561)	2,561	67 %
28	3,105	5,068	(1,963)	1,963	63 %
29	5,965	3,829	2,136	2,136	36 %
30	7,058	4,653	2,405	2,405	34 %
31	6,918	6,025	893	893	13 %
32	6,827	6,802	25	25	0 %
33	6,059	6,896	(837)	837	14 %

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	6,458	1,325	1,325	17 %
35	7,440	7,052	388	388	5 %
36	7,254	7,318	(64)	64	1 %
37	7,440	7,405	35	35	0 %
38	6,516	7,379	(863)	863	13 %
39	5,340	6,946	(1,606)	1,606	30 %
40	2,083	6,085	(4,002)	4,002	192 %
41	4,212	3,911	301	301	7 %
42	5,991	3,701	2,290	2,290	38 %
43	5,923	4,740	1,183	1,183	20 %
44	5,506	5,655	(149)	149	3 %
45	4,408	5,726	(1,318)	1,318	30 %
46	3,731	5,028	(1,297)	1,297	35 %
47	6,027	4,256	1,771	1,771	29 %
48	5,954	4,994	960	960	16 %
49	5,991	5,600	391	391	7 %
50	5,814	5,985	(171)	171	3 %
51	5,979	5,896	83	83	1 %
52	5,192	5,927	(735)	735	14 %
53	2,642	5,557	(2,915)	2,915	110 %
54	5,540	4,051	1,489	1,489	27 %
55	6,878	4,525	2,354	2,354	34 %
56	6,921	5,716	1,205	1,205	17 %
57	6,821	6,672	149	149	2 %
58	6,684	6,864	(180)	180	3 %
59	6,558	6,770	(212)	212	3 %
60	6,869	6,644	225	225	3 %
61	6,120	6,735	(615)	615	10 %
62	6,809	6,442	367	367	5 %
63	6,544	6,592	(48)	48	1 %
64	6,448	6,559	(111)	111	2 %
65	6,433	6,541	(108)	108	2 %

Tabla A.8: Promedio móvil ponderado, $n=4$

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962				
2	3,235				
3	4,035				
4	4,844				
5	2,769	4,191	(1,422)	1,422	51 %
6	3,110	3,691	(581)	581	19 %
7	2,506	3,447	(941)	941	38 %
8	3,277	2,974	303	303	9 %
9	2,528	2,962	(434)	434	17 %
10	2,725	2,807	(82)	82	3 %
11	3,694	2,754	940	940	25 %
12	2,612	3,128	(516)	516	20 %
13	3,367	2,951	416	416	12 %
14	4,906	3,142	1,764	1,764	36 %
15	4,132	3,864	268	268	6 %
16	7,797	4,059	3,738	3,738	48 %
17	5,947	5,676	271	271	5 %
18	6,176	6,035	141	141	2 %
19	6,432	6,227	205	205	3 %
20	6,638	6,395	243	243	4 %
21	6,678	6,415	263	263	4 %
22	6,631	6,567	64	64	1 %
23	6,638	6,627	11	11	0 %
24	6,221	6,644	(423)	423	7 %
25	6,968	6,474	494	494	7 %
26	6,010	6,644	(634)	634	11 %
27	3,801	6,402	(2,601)	2,601	68 %
28	3,105	5,339	(2,234)	2,234	72 %
29	5,965	4,281	1,684	1,684	28 %
30	7,058	4,679	2,379	2,379	34 %
31	6,918	5,614	1,304	1,304	19 %
32	6,827	6,388	439	439	6 %
33	6,059	6,814	(755)	755	12 %

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	6,561	1,222	1,222	16 %
35	7,440	6,988	452	452	6 %
36	7,254	7,205	49	49	1 %
37	7,440	7,296	144	144	2 %
38	6,516	7,419	(903)	903	14 %
39	5,340	7,033	(1,693)	1,693	32 %
40	2,083	6,304	(4,221)	4,221	203 %
41	4,212	4,482	(270)	270	6 %
42	5,991	4,029	1,962	1,962	33 %
43	5,923	4,611	1,312	1,312	22 %
44	5,506	5,217	289	289	5 %
45	4,408	5,599	(1,191)	1,191	27 %
46	3,731	5,199	(1,468)	1,468	39 %
47	6,027	4,508	1,519	1,519	25 %
48	5,954	4,962	992	992	17 %
49	5,991	5,377	614	614	10 %
50	5,814	5,761	53	53	1 %
51	5,979	5,916	63	63	1 %
52	5,192	5,929	(737)	737	14 %
53	2,642	5,632	(2,990)	2,990	113 %
54	5,540	4,392	1,148	1,148	21 %
55	6,878	4,645	2,233	2,233	32 %
56	6,921	5,461	1,460	1,460	21 %
57	6,821	6,204	617	617	9 %
58	6,684	6,734	(50)	50	1 %
59	6,558	6,792	(234)	234	4 %
60	6,869	6,685	184	184	3 %
61	6,120	6,734	(614)	614	10 %
62	6,809	6,489	320	320	5 %
63	6,544	6,589	(45)	45	1 %
64	6,448	6,571	(123)	123	2 %
65	6,433	6,516	(83)	83	1 %

Tabla A.9: Promedio móvil ponderado, $n=5$

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962				
2	3,235				
3	4,035				
4	4,844				
5	2,769				
6	3,110	3,727	(617)	617	20 %
7	2,506	3,494	(988)	988	39 %
8	3,277	3,133	144	144	4 %
9	2,528	3,079	(551)	551	22 %
10	2,725	2,818	(93)	93	3 %
11	3,694	2,781	913	913	25 %
12	2,612	3,062	(450)	450	17 %
13	3,367	2,962	405	405	12 %
14	4,906	3,086	1,820	1,820	37 %
15	4,132	3,721	411	411	10 %
16	7,797	3,960	3,837	3,837	49 %
17	5,947	5,290	657	657	11 %
18	6,176	5,768	408	408	7 %
19	6,432	6,084	348	348	5 %
20	6,638	6,282	356	356	5 %
21	6,678	6,481	197	197	3 %
22	6,631	6,502	129	129	2 %
23	6,638	6,587	51	51	1 %
24	6,221	6,630	(409)	409	7 %
25	6,968	6,504	464	464	7 %
26	6,010	6,636	(626)	626	10 %
27	3,801	6,436	(2,635)	2,635	69 %
28	3,105	5,544	(2,439)	2,439	79 %
29	5,965	4,594	1,371	1,371	23 %
30	7,058	4,836	2,222	2,222	31 %
31	6,918	5,476	1,442	1,442	21 %
32	6,827	6,051	776	776	11 %
33	6,059	6,525	(466)	466	8 %

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	6,561	1,222	1,222	16 %
35	7,440	6,963	477	477	6 %
36	7,254	7,140	114	114	2 %
37	7,440	7,225	215	215	3 %
38	6,516	7,338	(822)	822	13 %
39	5,340	7,122	(1,782)	1,782	33 %
40	2,083	6,473	(4,390)	4,390	211 %
41	4,212	4,907	(695)	695	17 %
42	5,991	4,388	1,603	1,603	27 %
43	5,923	4,681	1,242	1,242	21 %
44	5,506	5,059	447	447	8 %
45	4,408	5,308	(900)	900	20 %
46	3,731	5,200	(1,469)	1,469	39 %
47	6,027	4,712	1,315	1,315	22 %
48	5,954	5,008	946	946	16 %
49	5,991	5,297	694	694	12 %
50	5,814	5,584	230	230	4 %
51	5,979	5,772	207	207	3 %
52	5,192	5,937	(745)	745	14 %
53	2,642	5,686	(3,044)	3,044	115 %
54	5,540	4,645	895	895	16 %
55	6,878	4,764	2,114	2,114	31 %
56	6,921	5,387	1,534	1,534	22 %
57	6,821	5,956	865	865	13 %
58	6,684	6,400	284	284	4 %
59	6,558	6,714	(156)	156	2 %
60	6,869	6,714	155	155	2 %
61	6,120	6,745	(625)	625	10 %
62	6,809	6,532	277	277	4 %
63	6,544	6,594	(50)	50	1 %
64	6,448	6,574	(126)	126	2 %
65	6,433	6,533	(100)	100	2 %

Tabla A.10: Promedio móvil ponderado, $n=6$

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962				
2	3,235				
3	4,035				
4	4,844				
5	2,769				
6	3,110				
7	2,506	3,573	(1,067)	1,067	43 %
8	3,277	3,243	34	34	1 %
9	2,528	3,216	(688)	688	27 %
10	2,725	2,950	(225)	225	8 %
11	3,694	2,820	874	874	24 %
12	2,612	3,070	(458)	458	18 %
13	3,367	2,969	398	398	12 %
14	4,906	3,103	1,803	1,803	37 %
15	4,132	3,643	489	489	12 %
16	7,797	3,887	3,910	3,910	50 %
17	5,947	5,102	845	845	14 %
18	6,176	5,535	641	641	10 %
19	6,432	5,937	495	495	8 %
20	6,638	6,228	410	410	6 %
21	6,678	6,461	217	217	3 %
22	6,631	6,601	30	30	0 %
23	6,638	6,602	36	36	1 %
24	6,221	6,667	(446)	446	7 %
25	6,968	6,577	391	391	6 %
26	6,010	6,703	(693)	693	12 %
27	3,801	6,524	(2,723)	2,723	72 %
28	3,105	5,735	(2,630)	2,630	85 %
29	5,965	4,884	1,081	1,081	18 %
30	7,058	5,046	2,012	2,012	28 %
31	6,918	5,550	1,368	1,368	20 %
32	6,827	5,949	878	878	13 %
33	6,059	6,317	(258)	258	4 %

Semanas	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	6,450	1,333	1,333	17 %
35	7,440	6,981	459	459	6 %
36	7,254	7,177	77	77	1 %
37	7,440	7,245	195	195	3 %
38	6,516	7,349	(833)	833	13 %
39	5,340	7,176	(1,836)	1,836	34 %
40	2,083	6,675	(4,592)	4,592	220 %
41	4,212	5,263	(1,051)	1,051	25 %
42	5,991	4,755	1,236	1,236	21 %
43	5,923	4,915	1,008	1,008	17 %
44	5,506	5,107	399	399	7 %
45	4,408	5,222	(814)	814	18 %
46	3,731	5,089	(1,358)	1,358	36 %
47	6,027	4,825	1,202	1,202	20 %
48	5,954	5,143	811	811	14 %
49	5,991	5,346	645	645	11 %
50	5,814	5,550	264	264	5 %
51	5,979	5,692	287	287	5 %
52	5,192	5,890	(698)	698	13 %
53	2,642	5,781	(3,139)	3,139	119 %
54	5,540	4,859	681	681	12 %
55	6,878	4,945	1,933	1,933	28 %
56	6,921	5,442	1,479	1,479	21 %
57	6,821	5,898	923	923	14 %
58	6,684	6,245	439	439	7 %
59	6,558	6,539	19	19	0 %
60	6,869	6,736	133	133	2 %
61	6,120	6,827	(707)	707	12 %
62	6,809	6,633	176	176	3 %
63	6,544	6,676	(132)	132	2 %
64	6,448	6,646	(198)	198	3 %
65	6,433	6,606	(173)	173	3 %

Tabla A.11: Suavización exponencial, $\alpha=0.35$

Semanas	Pronóstico 1	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,880	3,962	3,909	53	53	1 %
2		3,235	3,927	(692)	692	21 %
3		4,035	3,685	350	350	9 %
4		4,844	3,808	1,036	1,036	21 %
5		2,769	4,170	(1,401)	1,401	51 %
6		3,110	3,680	(570)	570	18 %
7		2,506	3,480	(974)	974	39 %
8		3,277	3,139	138	138	4 %
9		2,528	3,188	(660)	660	26 %
10		2,725	2,957	(232)	232	9 %
11		3,694	2,876	818	818	22 %
12		2,612	3,162	(550)	550	21 %
13		3,367	2,970	397	397	12 %
14		4,906	3,109	1,797	1,797	37 %
15		4,132	3,738	394	394	10 %
16		7,797	3,876	3,921	3,921	50 %
17		5,947	5,248	699	699	12 %
18		6,176	5,493	683	683	11 %
19		6,432	5,732	700	700	11 %
20		6,638	5,977	661	661	10 %
21		6,678	6,208	470	470	7 %
22		6,631	6,373	258	258	4 %
23		6,638	6,463	175	175	3 %
24		6,221	6,524	(303)	303	5 %
25		6,968	6,418	550	550	8 %
26		6,010	6,611	(601)	601	10 %
27		3,801	6,400	(2,599)	2,599	68 %
28		3,105	5,491	(2,386)	2,386	77 %
29		5,965	4,656	1,309	1,309	22 %
30		7,058	5,114	1,944	1,944	28 %
31		6,918	5,794	1,124	1,124	16 %
32		6,827	6,188	639	639	9 %
33		6,059	6,411	(352)	352	6 %

Semanas	Pronóstico 1	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34		7,783	6,288	1,495	1,495	19 %
35		7,440	6,811	629	629	8 %
36		7,254	7,031	223	223	3 %
37		7,440	7,109	331	331	4 %
38		6,516	7,225	(709)	709	11 %
39		5,340	6,977	(1,637)	1,637	31 %
40		2,083	6,404	(4,321)	4,321	207 %
41		4,212	4,892	(680)	680	16 %
42		5,991	4,654	1,337	1,337	22 %
43		5,923	5,122	801	801	14 %
44		5,506	5,402	104	104	2 %
45		4,408	5,439	(1,031)	1,031	23 %
46		3,731	5,078	(1,347)	1,347	36 %
47		6,027	4,606	1,421	1,421	24 %
48		5,954	5,104	850	850	14 %
49		5,991	5,401	590	590	10 %
50		5,814	5,608	206	206	4 %
51		5,979	5,680	299	299	5 %
52		5,192	5,785	(593)	593	11 %
53		2,642	5,577	(2,935)	2,935	111 %
54		5,540	4,550	990	990	18 %
55		6,878	4,896	1,982	1,982	29 %
56		6,921	5,590	1,331	1,331	19 %
57		6,821	6,056	765	765	11 %
58		6,684	6,324	360	360	5 %
59		6,558	6,450	108	108	2 %
60		6,869	6,488	381	381	6 %
61		6,120	6,621	(501)	501	8 %
62		6,809	6,446	363	363	5 %
63		6,544	6,573	(29)	29	0 %
64		6,448	6,563	(115)	115	2 %
65		6,433	6,523	(90)	90	1 %

Tabla A.12: Suavización exponencial, $\alpha=0.5$

Semanas	Pronóstico 1	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,880	3,962	3,921	41	41	1 %
2		3,235	3,942	(707)	707	22 %
3		4,035	3,588	447	447	11 %
4		4,844	3,812	1,032	1,032	21 %
5		2,769	4,328	(1,559)	1,559	56 %
6		3,110	3,548	(438)	438	14 %
7		2,506	3,329	(823)	823	33 %
8		3,277	2,918	359	359	11 %
9		2,528	3,097	(569)	569	23 %
10		2,725	2,813	(88)	88	3 %
11		3,694	2,769	925	925	25 %
12		2,612	3,231	(619)	619	24 %
13		3,367	2,922	445	445	13 %
14		4,906	3,144	1,762	1,762	36 %
15		4,132	4,025	107	107	3 %
16		7,797	4,079	3,718	3,718	48 %
17		5,947	5,938	9	9	0 %
18		6,176	5,942	234	234	4 %
19		6,432	6,059	373	373	6 %
20		6,638	6,246	392	392	6 %
21		6,678	6,442	236	236	4 %
22		6,631	6,560	71	71	1 %
23		6,638	6,595	43	43	1 %
24		6,221	6,617	(396)	396	6 %
25		6,968	6,419	549	549	8 %
26		6,010	6,693	(683)	683	11 %
27		3,801	6,352	(2,551)	2,551	67 %
28		3,105	5,076	(1,971)	1,971	63 %
29		5,965	4,091	1,874	1,874	31 %
30		7,058	5,028	2,030	2,030	29 %
31		6,918	6,043	875	875	13 %
32		6,827	6,480	347	347	5 %
33		6,059	6,654	(595)	595	10 %

Semanas	Pronóstico 1	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34		7,783	6,356	1,427	1,427	18 %
35		7,440	7,070	370	370	5 %
36		7,254	7,255	(1)	1	0 %
37		7,440	7,254	186	186	2 %
38		6,516	7,347	(831)	831	13 %
39		5,340	6,932	(1,592)	1,592	30 %
40		2,083	6,136	(4,053)	4,053	195 %
41		4,212	4,109	103	103	2 %
42		5,991	4,161	1,830	1,830	31 %
43		5,923	5,076	847	847	14 %
44		5,506	5,499	7	7	0 %
45		4,408	5,503	(1,095)	1,095	25 %
46		3,731	4,955	(1,224)	1,224	33 %
47		6,027	4,343	1,684	1,684	28 %
48		5,954	5,185	769	769	13 %
49		5,991	5,570	421	421	7 %
50		5,814	5,780	34	34	1 %
51		5,979	5,797	182	182	3 %
52		5,192	5,888	(696)	696	13 %
53		2,642	5,540	(2,898)	2,898	110 %
54		5,540	4,091	1,449	1,449	26 %
55		6,878	4,816	2,062	2,062	30 %
56		6,921	5,847	1,074	1,074	16 %
57		6,821	6,384	437	437	6 %
58		6,684	6,602	82	82	1 %
59		6,558	6,643	(85)	85	1 %
60		6,869	6,601	268	268	4 %
61		6,120	6,735	(615)	615	10 %
62		6,809	6,427	382	382	6 %
63		6,544	6,618	(74)	74	1 %
64		6,448	6,581	(133)	133	2 %
65		6,433	6,515	(82)	82	1 %

Tabla A.13: Suavización exponencial, $\alpha=0.8$

Semanas	Pronóstico 1	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,880	3,962	3,946	16	16	0 %
2		3,235	3,959	(724)	724	22 %
3		4,035	3,380	655	655	16 %
4		4,844	3,904	940	940	19 %
5		2,769	4,656	(1,887)	1,887	68 %
6		3,110	3,146	(36)	36	1 %
7		2,506	3,117	(611)	611	24 %
8		3,277	2,628	649	649	20 %
9		2,528	3,147	(619)	619	24 %
10		2,725	2,652	73	73	3 %
11		3,694	2,710	984	984	27 %
12		2,612	3,497	(885)	885	34 %
13		3,367	2,789	578	578	17 %
14		4,906	3,251	1,655	1,655	34 %
15		4,132	4,575	(443)	443	11 %
16		7,797	4,221	3,576	3,576	46 %
17		5,947	7,082	(1,135)	1,135	19 %
18		6,176	6,174	2	2	0 %
19		6,432	6,176	256	256	4 %
20		6,638	6,381	257	257	4 %
21		6,678	6,587	91	91	1 %
22		6,631	6,660	(29)	29	0 %
23		6,638	6,637	1	1	0 %
24		6,221	6,638	(417)	417	7 %
25		6,968	6,304	664	664	10 %
26		6,010	6,835	(825)	825	14 %
27		3,801	6,175	(2,374)	2,374	62 %
28		3,105	4,276	(1,171)	1,171	38 %
29		5,965	3,339	2,626	2,626	44 %
30		7,058	5,440	1,618	1,618	23 %
31		6,918	6,734	184	184	3 %
32		6,827	6,881	(54)	54	1 %
33		6,059	6,838	(779)	779	13 %

Semanas	Pronóstico 1	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34		7,783	6,215	1,568	1,568	20 %
35		7,440	7,469	(29)	29	0 %
36		7,254	7,446	(192)	192	3 %
37		7,440	7,292	148	148	2 %
38		6,516	7,410	(894)	894	14 %
39		5,340	6,695	(1,355)	1,355	25 %
40		2,083	5,611	(3,528)	3,528	169 %
41		4,212	2,789	1,423	1,423	34 %
42		5,991	3,927	2,064	2,064	34 %
43		5,923	5,578	345	345	6 %
44		5,506	5,854	(348)	348	6 %
45		4,408	5,576	(1,168)	1,168	26 %
46		3,731	4,642	(911)	911	24 %
47		6,027	3,913	2,114	2,114	35 %
48		5,954	5,604	350	350	6 %
49		5,991	5,884	107	107	2 %
50		5,814	5,970	(156)	156	3 %
51		5,979	5,845	134	134	2 %
52		5,192	5,952	(760)	760	15 %
53		2,642	5,344	(2,702)	2,702	102 %
54		5,540	3,182	2,358	2,358	43 %
55		6,878	5,068	1,810	1,810	26 %
56		6,921	6,516	405	405	6 %
57		6,821	6,840	(19)	19	0 %
58		6,684	6,825	(141)	141	2 %
59		6,558	6,712	(154)	154	2 %
60		6,869	6,589	280	280	4 %
61		6,120	6,813	(693)	693	11 %
62		6,809	6,259	550	550	8 %
63		6,544	6,699	(155)	155	2 %
64		6,448	6,575	(127)	127	2 %
65		6,433	6,473	(40)	40	1 %

Tabla A.14: Suavización exponencial, $\alpha=0.9$

Semanas	Pronóstico 1	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,880	3,962	3,954	8	8	0 %
2		3,235	3,961	(726)	726	22 %
3		4,035	3,308	727	727	18 %
4		4,844	3,962	882	882	18 %
5		2,769	4,756	(1,987)	1,987	72 %
6		3,110	2,968	142	142	5 %
7		2,506	3,096	(590)	590	24 %
8		3,277	2,565	712	712	22 %
9		2,528	3,206	(678)	678	27 %
10		2,725	2,596	129	129	5 %
11		3,694	2,712	982	982	27 %
12		2,612	3,596	(984)	984	38 %
13		3,367	2,710	657	657	20 %
14		4,906	3,301	1,605	1,605	33 %
15		4,132	4,746	(614)	614	15 %
16		7,797	4,193	3,604	3,604	46 %
17		5,947	7,437	(1,490)	1,490	25 %
18		6,176	6,096	80	80	1 %
19		6,432	6,168	264	264	4 %
20		6,638	6,406	232	232	4 %
21		6,678	6,615	63	63	1 %
22		6,631	6,672	(41)	41	1 %
23		6,638	6,635	3	3	0 %
24		6,221	6,638	(417)	417	7 %
25		6,968	6,263	705	705	10 %
26		6,010	6,897	(887)	887	15 %
27		3,801	6,099	(2,298)	2,298	60 %
28		3,105	4,031	(926)	926	30 %
29		5,965	3,198	2,767	2,767	46 %
30		7,058	5,688	1,370	1,370	19 %
31		6,918	6,921	(3)	3	0 %
32		6,827	6,918	(91)	91	1 %
33		6,059	6,836	(777)	777	13 %

Semanas	Pronóstico 1	Demanda real	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34		7,783	6,137	1,646	1,646	21 %
35		7,440	7,618	(178)	178	2 %
36		7,254	7,458	(204)	204	3 %
37		7,440	7,274	166	166	2 %
38		6,516	7,423	(907)	907	14 %
39		5,340	6,607	(1,267)	1,267	24 %
40		2,083	5,467	(3,384)	3,384	162 %
41		4,212	2,421	1,791	1,791	43 %
42		5,991	4,033	1,958	1,958	33 %
43		5,923	5,795	128	128	2 %
44		5,506	5,910	(404)	404	7 %
45		4,408	5,546	(1,138)	1,138	26 %
46		3,731	4,522	(791)	791	21 %
47		6,027	3,810	2,217	2,217	37 %
48		5,954	5,805	149	149	2 %
49		5,991	5,939	52	52	1 %
50		5,814	5,986	(172)	172	3 %
51		5,979	5,831	148	148	2 %
52		5,192	5,964	(772)	772	15 %
53		2,642	5,269	(2,627)	2,627	99 %
54		5,540	2,905	2,635	2,635	48 %
55		6,878	5,276	1,602	1,602	23 %
56		6,921	6,718	203	203	3 %
57		6,821	6,901	(80)	80	1 %
58		6,684	6,829	(145)	145	2 %
59		6,558	6,698	(140)	140	2 %
60		6,869	6,572	297	297	4 %
61		6,120	6,839	(719)	719	12 %
62		6,809	6,192	617	617	9 %
63		6,544	6,747	(203)	203	3 %
64		6,448	6,564	(116)	116	2 %
65		6,433	6,460	(27)	27	0 %

Tabla A.15: Holt-Winters, $\alpha=0.35$

Semanas	Demanda real	Suavizado exponencial	Tendencia suavizada	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962	3,909	75	3,984	(22)	22	1 %
2	3,235	3,976	73	4,049	(814)	814	25 %
3	4,035	3,764	(13)	3,752	283	283	7 %
4	4,844	3,851	17	3,868	976	976	20 %
5	2,769	4,210	120	4,329	(1,560)	1,560	56 %
6	3,110	3,783	(44)	3,739	(629)	629	20 %
7	2,506	3,519	(110)	3,409	(903)	903	36 %
8	3,277	3,093	(205)	2,888	389	389	12 %
9	2,528	3,024	(164)	2,860	(332)	332	13 %
10	2,725	2,744	(199)	2,545	180	180	7 %
11	3,694	2,608	(180)	2,428	1,266	1,266	34 %
12	2,612	2,871	(47)	2,824	(212)	212	8 %
13	3,367	2,750	(69)	2,680	687	687	20 %
14	4,906	2,921	3	2,923	1,983	1,983	40 %
15	4,132	3,617	211	3,828	304	304	7 %
16	7,797	3,935	243	4,177	3,620	3,620	46 %
17	5,947	5,444	623	6,067	(120)	120	2 %
18	6,176	6,025	610	6,635	(459)	459	7 %
19	6,432	6,475	562	7,037	(605)	605	9 %
20	6,638	6,825	499	7,324	(686)	686	10 %
21	6,678	7,084	427	7,510	(832)	832	12 %
22	6,631	7,219	339	7,558	(927)	927	14 %
23	6,638	7,234	242	7,475	(837)	837	13 %
24	6,221	7,182	154	7,336	(1,115)	1,115	18 %
25	6,968	6,946	37	6,983	(15)	15	0 %
26	6,010	6,978	35	7,013	(1,003)	1,003	17 %
27	3,801	6,662	(70)	6,592	(2,791)	2,791	73 %
28	3,105	5,615	(363)	5,252	(2,147)	2,147	69 %
29	5,965	4,501	(589)	3,912	2,053	2,053	34 %
30	7,058	4,631	(373)	4,258	2,800	2,800	40 %
31	6,918	5,238	(79)	5,159	1,759	1,759	25 %
32	6,827	5,775	106	5,880	947	947	14 %
33	6,059	6,212	205	6,417	(358)	358	6 %

Semanas	Demanda real	Suavizado exponencial	Tendencia suavizada	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	6,292	168	6,459	1,324	1,324	17 %
35	7,440	6,923	307	7,229	211	211	3 %
36	7,254	7,303	329	7,632	(378)	378	5 %
37	7,440	7,500	289	7,789	(349)	349	5 %
38	6,516	7,667	252	7,919	(1,403)	1,403	22 %
39	5,340	7,428	105	7,533	(2,193)	2,193	41 %
40	2,083	6,766	(125)	6,640	(4,557)	4,557	219 %
41	4,212	5,045	(604)	4,442	(230)	230	5 %
42	5,991	4,361	(628)	3,734	2,257	2,257	38 %
43	5,923	4,524	(391)	4,133	1,790	1,790	30 %
44	5,506	4,759	(203)	4,557	949	949	17 %
45	4,408	4,889	(103)	4,786	(378)	378	9 %
46	3,731	4,654	(143)	4,511	(780)	780	21 %
47	6,027	4,238	(225)	4,013	2,014	2,014	33 %
48	5,954	4,718	(13)	4,705	1,249	1,249	21 %
49	5,991	5,142	118	5,260	731	731	12 %
50	5,814	5,516	195	5,711	103	103	2 %
51	5,979	5,747	206	5,952	27	27	0 %
52	5,192	5,962	208	6,170	(978)	978	19 %
53	2,642	5,828	106	5,933	(3,291)	3,291	125 %
54	5,540	4,781	(240)	4,541	999	999	18 %
55	6,878	4,891	(135)	4,756	2,122	2,122	31 %
56	6,921	5,499	88	5,586	1,335	1,335	19 %
57	6,821	6,053	228	6,281	540	540	8 %
58	6,684	6,470	285	6,755	(71)	71	1 %
59	6,558	6,730	277	7,007	(449)	449	7 %
60	6,869	6,850	230	7,080	(211)	211	3 %
61	6,120	7,006	208	7,214	(1,094)	1,094	18 %
62	6,809	6,831	93	6,924	(115)	115	2 %
63	6,544	6,884	81	6,965	(421)	421	6 %
64	6,448	6,817	37	6,854	(406)	406	6 %
65	6,433	6,712	(6)	6,706	(273)	273	4 %

Tabla A.16: Holt-Winters, $\alpha=0.5$

Semanas	Demanda real	Suavizado exponencial	Tendencia suavizada	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962	3,921	75	3,996	(34)	34	1 %
2	3,235	3,979	70	4,049	(814)	814	25 %
3	4,035	3,642	(52)	3,590	445	445	11 %
4	4,844	3,813	15	3,827	1,017	1,017	21 %
5	2,769	4,336	167	4,503	(1,734)	1,734	63 %
6	3,110	3,636	(93)	3,543	(433)	433	14 %
7	2,506	3,327	(158)	3,169	(663)	663	26 %
8	3,277	2,837	(257)	2,580	697	697	21 %
9	2,528	2,929	(153)	2,776	(248)	248	10 %
10	2,725	2,652	(190)	2,462	263	263	10 %
11	3,694	2,594	(150)	2,443	1,251	1,251	34 %
12	2,612	3,069	37	3,106	(494)	494	19 %
13	3,367	2,859	(37)	2,822	545	545	16 %
14	4,906	3,095	45	3,139	1,767	1,767	36 %
15	4,132	4,023	310	4,333	(201)	201	5 %
16	7,797	4,232	280	4,512	3,285	3,285	42 %
17	5,947	6,155	773	6,927	(980)	980	16 %
18	6,176	6,437	626	7,063	(887)	887	14 %
19	6,432	6,619	493	7,112	(680)	680	11 %
20	6,638	6,772	391	7,162	(524)	524	8 %
21	6,678	6,900	312	7,212	(534)	534	8 %
22	6,631	6,945	232	7,177	(546)	546	8 %
23	6,638	6,904	150	7,054	(416)	416	6 %
24	6,221	6,846	88	6,933	(712)	712	11 %
25	6,968	6,577	(19)	6,558	410	410	6 %
26	6,010	6,763	42	6,805	(795)	795	13 %
27	3,801	6,408	(77)	6,330	(2,529)	2,529	67 %
28	3,105	5,066	(457)	4,609	(1,504)	1,504	48 %
29	5,965	3,857	(682)	3,175	2,790	2,790	47 %
30	7,058	4,570	(264)	4,306	2,752	2,752	39 %
31	6,918	5,682	149	5,831	1,087	1,087	16 %
32	6,827	6,375	312	6,687	140	140	2 %
33	6,059	6,757	333	7,090	(1,031)	1,031	17 %

Semanas	Demanda real	Suavizado exponencial	Tendencia suavizada	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	6,575	178	6,753	1,030	1,030	13 %
35	7,440	7,268	333	7,601	(161)	161	2 %
36	7,254	7,521	309	7,829	(575)	575	8 %
37	7,440	7,542	223	7,764	(324)	324	4 %
38	6,516	7,602	174	7,776	(1,260)	1,260	19 %
39	5,340	7,146	(15)	7,131	(1,791)	1,791	34 %
40	2,083	6,235	(284)	5,952	(3,869)	3,869	186 %
41	4,212	4,017	(864)	3,153	1,059	1,059	25 %
42	5,991	3,683	(705)	2,977	3,014	3,014	50 %
43	5,923	4,484	(253)	4,231	1,692	1,692	29 %
44	5,506	5,077	1	5,078	428	428	8 %
45	4,408	5,292	65	5,357	(949)	949	22 %
46	3,731	4,882	(77)	4,805	(1,074)	1,074	29 %
47	6,027	4,268	(239)	4,029	1,998	1,998	33 %
48	5,954	5,028	61	5,089	865	865	15 %
49	5,991	5,522	191	5,712	279	279	5 %
50	5,814	5,852	233	6,084	(270)	270	5 %
51	5,979	5,949	192	6,141	(162)	162	3 %
52	5,192	6,060	168	6,228	(1,036)	1,036	20 %
53	2,642	5,710	12	5,722	(3,080)	3,080	117 %
54	5,540	4,182	(450)	3,732	1,808	1,808	33 %
55	6,878	4,636	(179)	4,458	2,420	2,420	35 %
56	6,921	5,668	184	5,852	1,069	1,069	15 %
57	6,821	6,387	345	6,731	90	90	1 %
58	6,684	6,776	358	7,134	(450)	450	7 %
59	6,558	6,909	291	7,200	(642)	642	10 %
60	6,869	6,879	194	7,073	(204)	204	3 %
61	6,120	6,971	164	7,135	(1,015)	1,015	17 %
62	6,809	6,627	11	6,639	170	170	2 %
63	6,544	6,724	37	6,761	(217)	217	3 %
64	6,448	6,652	4	6,657	(209)	209	3 %
65	6,433	6,552	(27)	6,526	(93)	93	1 %

Tabla A.17: Holt-Winters, $\alpha=0.8$

Semanas	Demanda real	Suavizado exponencial	Tendencia suavizada	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962	3,946	75	4,021	(59)	59	1 %
2	3,235	3,974	61	4,035	(800)	800	25 %
3	4,035	3,395	(131)	3,264	771	771	19 %
4	4,844	3,881	54	3,935	909	909	19 %
5	2,769	4,662	272	4,935	(2,166)	2,166	78 %
6	3,110	3,202	(247)	2,955	155	155	5 %
7	2,506	3,079	(210)	2,869	(363)	363	14 %
8	3,277	2,579	(297)	2,281	996	996	30 %
9	2,528	3,078	(58)	3,020	(492)	492	19 %
10	2,725	2,626	(176)	2,450	275	275	10 %
11	3,694	2,670	(110)	2,560	1,134	1,134	31 %
12	2,612	3,467	162	3,629	(1,017)	1,017	39 %
13	3,367	2,815	(82)	2,733	634	634	19 %
14	4,906	3,240	70	3,310	1,596	1,596	33 %
15	4,132	4,587	453	5,040	(908)	908	22 %
16	7,797	4,314	235	4,549	3,248	3,248	42 %
17	5,947	7,147	1,015	8,162	(2,215)	2,215	37 %
18	6,176	6,390	483	6,873	(697)	697	11 %
19	6,432	6,315	316	6,631	(199)	199	3 %
20	6,638	6,472	268	6,740	(102)	102	2 %
21	6,678	6,658	244	6,902	(224)	224	3 %
22	6,631	6,723	190	6,913	(282)	282	4 %
23	6,638	6,687	122	6,810	(172)	172	3 %
24	6,221	6,672	81	6,753	(532)	532	9 %
25	6,968	6,327	(47)	6,281	687	687	10 %
26	6,010	6,831	118	6,949	(939)	939	16 %
27	3,801	6,198	(107)	6,091	(2,290)	2,290	60 %
28	3,105	4,259	(657)	3,602	(497)	497	16 %
29	5,965	3,204	(776)	2,429	3,536	3,536	59 %
30	7,058	5,258	73	5,330	1,728	1,728	24 %
31	6,918	6,712	487	7,200	(282)	282	4 %
32	6,827	6,974	420	7,394	(567)	567	8 %
33	6,059	6,940	284	7,224	(1,165)	1,165	19 %

Semanas	Demanda real	Suavizado exponencial	Tendencia suavizada	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	6,292	4	6,296	1,487	1,487	19 %
35	7,440	7,486	361	7,846	(406)	406	5 %
36	7,254	7,521	263	7,785	(531)	531	7 %
37	7,440	7,360	136	7,496	(56)	56	1 %
38	6,516	7,451	123	7,574	(1,058)	1,058	16 %
39	5,340	6,728	(131)	6,596	(1,256)	1,256	24 %
40	2,083	5,591	(433)	5,158	(3,075)	3,075	148 %
41	4,212	2,698	(1,171)	1,527	2,685	2,685	64 %
42	5,991	3,675	(527)	3,148	2,843	2,843	47 %
43	5,923	5,422	156	5,578	345	345	6 %
44	5,506	5,854	238	6,092	(586)	586	11 %
45	4,408	5,623	98	5,721	(1,313)	1,313	30 %
46	3,731	4,671	(217)	4,453	(722)	722	19 %
47	6,027	3,875	(391)	3,485	2,542	2,542	42 %
48	5,954	5,519	219	5,738	216	216	4 %
49	5,991	5,911	271	6,182	(191)	191	3 %
50	5,814	6,029	225	6,255	(441)	441	8 %
51	5,979	5,902	120	6,022	(43)	43	1 %
52	5,192	5,988	109	6,097	(905)	905	17 %
53	2,642	5,373	(108)	5,265	(2,623)	2,623	99 %
54	5,540	3,167	(737)	2,429	3,111	3,111	56 %
55	6,878	4,918	9	4,927	1,951	1,951	28 %
56	6,921	6,488	477	6,965	(44)	44	1 %
57	6,821	6,930	467	7,397	(576)	576	8 %
58	6,684	6,936	329	7,265	(581)	581	9 %
59	6,558	6,800	189	6,989	(431)	431	7 %
60	6,869	6,644	86	6,730	139	139	2 %
61	6,120	6,841	119	6,960	(840)	840	14 %
62	6,809	6,288	(83)	6,205	604	604	9 %
63	6,544	6,688	62	6,751	(207)	207	3 %
64	6,448	6,585	13	6,598	(150)	150	2 %
65	6,433	6,478	(23)	6,455	(22)	22	0 %

Tabla A.18: Holt-Winters, $\alpha=0.9$

Semanas	Demanda real	Suavizado exponencial	Tendencia suavizada	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
1	3,962	3,954	75	4,029	(67)	67	2 %
2	3,235	3,969	57	4,026	(791)	791	24 %
3	4,035	3,314	(156)	3,158	877	877	22 %
4	4,844	3,947	81	4,028	816	816	17 %
5	2,769	4,762	301	5,063	(2,294)	2,294	83 %
6	3,110	2,998	(319)	2,680	430	430	14 %
7	2,506	3,067	(202)	2,865	(359)	359	14 %
8	3,277	2,542	(299)	2,243	1,034	1,034	32 %
9	2,528	3,174	(20)	3,154	(626)	626	25 %
10	2,725	2,591	(189)	2,402	323	323	12 %
11	3,694	2,693	(102)	2,591	1,103	1,103	30 %
12	2,612	3,584	196	3,780	(1,168)	1,168	45 %
13	3,367	2,729	(119)	2,610	757	757	22 %
14	4,906	3,291	85	3,377	1,529	1,529	31 %
15	4,132	4,753	498	5,251	(1,119)	1,119	27 %
16	7,797	4,244	196	4,440	3,357	3,357	43 %
17	5,947	7,461	1,102	8,564	(2,617)	2,617	44 %
18	6,176	6,209	396	6,605	(429)	429	7 %
19	6,432	6,219	280	6,499	(67)	67	1 %
20	6,638	6,439	262	6,701	(63)	63	1 %
21	6,678	6,644	245	6,889	(211)	211	3 %
22	6,631	6,699	188	6,887	(256)	256	4 %
23	6,638	6,657	119	6,776	(138)	138	2 %
24	6,221	6,652	82	6,734	(513)	513	8 %
25	6,968	6,272	(57)	6,216	752	752	11 %
26	6,010	6,893	147	7,039	(1,029)	1,029	17 %
27	3,801	6,113	(131)	5,982	(2,181)	2,181	57 %
28	3,105	4,019	(720)	3,299	(194)	194	6 %
29	5,965	3,124	(772)	2,352	3,613	3,613	61 %
30	7,058	5,604	203	5,807	1,251	1,251	18 %
31	6,918	6,933	541	7,474	(556)	556	8 %
32	6,827	6,974	391	7,364	(537)	537	8 %
33	6,059	6,881	246	7,126	(1,067)	1,067	18 %

Semanas	Demanda real	Suavizado exponencial	Tendencia suavizada	Pronóstico	Error	Error absoluto	Error porcentual absoluto
34	7,783	6,166	(42)	6,123	1,660	1,660	21 %
35	7,440	7,617	406	8,023	(583)	583	8 %
36	7,254	7,498	248	7,747	(493)	493	7 %
37	7,440	7,303	115	7,419	21	21	0 %
38	6,516	7,438	121	7,559	(1,043)	1,043	16 %
39	5,340	6,620	(160)	6,460	(1,120)	1,120	21 %
40	2,083	5,452	(463)	4,989	(2,906)	2,906	140 %
41	4,212	2,374	(1,247)	1,126	3,086	3,086	73 %
42	5,991	3,903	(414)	3,489	2,502	2,502	42 %
43	5,923	5,741	261	6,002	(79)	79	1 %
44	5,506	5,931	240	6,171	(665)	665	12 %
45	4,408	5,572	60	5,633	(1,225)	1,225	28 %
46	3,731	4,530	(270)	4,260	(529)	529	14 %
47	6,027	3,784	(413)	3,371	2,656	2,656	44 %
48	5,954	5,761	304	6,065	(111)	111	2 %
49	5,991	5,965	274	6,239	(248)	248	4 %
50	5,814	6,016	207	6,223	(409)	409	7 %
51	5,979	5,855	97	5,951	28	28	0 %
52	5,192	5,976	104	6,080	(888)	888	17 %
53	2,642	5,281	(136)	5,145	(2,503)	2,503	95 %
54	5,540	2,892	(812)	2,081	3,459	3,459	62 %
55	6,878	5,194	122	5,316	1,562	1,562	23 %
56	6,921	6,722	544	7,266	(345)	345	5 %
57	6,821	6,955	451	7,406	(585)	585	9 %
58	6,684	6,880	293	7,172	(488)	488	7 %
59	6,558	6,733	161	6,894	(336)	336	5 %
60	6,869	6,592	70	6,662	207	207	3 %
61	6,120	6,848	126	6,975	(855)	855	14 %
62	6,809	6,205	(104)	6,101	708	708	10 %
63	6,544	6,738	87	6,825	(281)	281	4 %
64	6,448	6,572	11	6,583	(135)	135	2 %
65	6,433	6,461	(26)	6,436	(3)	3	0 %

APÉNDICE B

PROYECCIÓN DE INVENTARIOS

Tabla B.1: Proyección de inventarios, 5 días

Semanas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Demanda Neta		3962	3235	4035	4844	2769	3110	2506	3277	2528	2725	3694	2612	3367
Pronóstico		3946	3959	3380	3904	4656	3146	3117	2628	3147	2652	2710	3497	2789
Plan de Producción	3946	3959	3380	3904	4656	3146	3117	2628	3147	2652	2710	3497	2789	3251
Inventario Inicial		-16	707	52	-888	999	1035	1647	998	1617	1544	560	1446	868
Inventario Final	3946	3942	4087	3956	3768	4145	4153	4275	4145	4269	4254	4058	4235	4119

Semanas	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Demanda Neta	4906	4132	7797	5947	6176	6432	6638	6678	6631	6638	6221	6968	6010
Pronóstico	3251	4575	4221	7082	6174	6176	6381	6587	6660	6637	6638	6304	6835
Plan de Producción	4575	4221	7082	6174	6176	6381	6587	6660	6637	6638	6304	6835	6175
Inventario Inicial	-787	-344	-3920	-2785	-2787	-3044	-3301	-3393	-3364	-3365	-2948	-3612	-2787
Inventario Final	3788	3877	3162	3389	3388	3337	3285	3267	3273	3273	3356	3223	3388

Semanas	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Demanda Neta	3801	3105	5965	7058	6918	6827	6059	7783	7440	7254	7440	6516	5340
Pronóstico	6175	4276	3339	5440	6734	6881	6838	6215	7469	7446	7292	7410	6695
Plan de Producción	4276	3339	5440	6734	6881	6838	6215	7469	7446	7292	7410	6695	5611
Inventario Inicial	-413	758	-1868	-3486	-3670	-3615	-2836	-4405	-4375	-4183	-4331	-3437	-2082
Inventario Final	3863	4097	3572	3248	3212	3223	3378	3065	3071	3109	3079	3258	3529

Semanas	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Demanda Neta	2083	4212	5991	5923	5506	4408	3731	6027	5954	5991	5814	5979	5192
Pronóstico	5611	2789	3927	5578	5854	5576	4642	3913	5604	5884	5970	5845	5952
Plan de Producción	2789	3927	5578	5854	5576	4642	3913	5604	5884	5970	5845	5952	5344
Inventario Inicial	1446	23	-2041	-2386	-2038	-870	41	-2073	-2423	-2530	-2374	-2508	-1748
Inventario Final	4235	3950	3537	3468	3538	3772	3954	3531	3461	3440	3471	3444	3596

Semanas	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Demanda Neta	2642	5540	6878	6921	6821	6684	6558	6869	6120	6809	6544	6448	6433
Pronóstico	5344	3182	5068	6516	6840	6825	6712	6589	6813	6259	6699	6575	6473
Plan de Producción	3182	5068	6516	6840	6825	6712	6589	6813	6259	6699	6575	6473	
Inventario Inicial	954	-1404	-3213	-3618	-3599	-3458	-3304	-3584	-2891	-3442	-3287	-3160	-3119
Inventario Final	4136	3665	3303	3222	3226	3254	3285	3229	3367	3257	3288	3314	

Tabla B.2: Proyección de inventarios, 6 días

Semanas	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda Neta			3962	3235	4035	4844	2769	3110	2506	3277	2528	2725	3694	2612
Pronóstico			3946	3959	3380	3904	4656	3146	3117	2628	3147	2652	2710	3497
Plan de Producción	789	3948	3843	3485	4054	4354	3141	3019	2732	3048	2664	2868	3356	2882
Inventario Inicial		789	775	1383	833	43	1628	1659	2172	1627	2148	2086	1260	2003
Inventario Final	789	4737	4618	4868	4887	4397	4769	4678	4904	4676	4811	4954	4615	4885

Semanas	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Demanda Neta	3367	4906	4132	7797	5947	6176	6432	6638	6678	6631	6638	6221	6968	6010
Pronóstico	2789	3251	4575	4221	7082	6174	6176	6381	6587	6660	6637	6638	6304	6835
Plan de Producción	3516	4504	4793	6900	6174	6217	6422	6601	6655	6637	6571	6411	6703	5795
Inventario Inicial	1518	128	500	-2504	-1551	-1552	-1768	-1984	-2061	-2037	-2038	-1688	-2245	-1552
Inventario Final	5034	4632	5293	4396	4624	4664	4654	4617	4594	4600	4533	4723	4458	4243

Semanas	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Demanda Neta	3801	3105	5965	7058	6918	6827	6059	7783	7440	7254	7440	6516	5340
Pronóstico	6175	4276	3339	5440	6734	6881	6838	6215	7469	7446	7292	7410	6695
Plan de Producción	4088	3759	5699	6764	6873	6713	6466	7465	7415	7316	7267	6478	5047
Inventario Inicial	442	1426	-780	-2139	-2293	-2248	-1594	-2911	-2886	-2725	-2849	-2098	-960
Inventario Final	4531	5185	4919	4625	4579	4465	4872	4554	4529	4591	4418	4380	4087

Semanas	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Demanda Neta	2083	4212	5991	5923	5506	4408	3731	6027	5954	5991	5814	5979	5192
Pronóstico	5611	2789	3927	5578	5854	5576	4642	3913	5604	5884	5970	5845	5952
Plan de Producción	3016	4258	5633	5798	5389	4496	4251	5660	5901	5945	5867	5831	4912
Inventario Inicial	2004	808	-925	-1215	-922	58	823	-952	-1246	-1336	-1205	-1318	-679
Inventario Final	5020	5066	4708	4584	4466	4554	5075	4708	4655	4609	4661	4513	4232

Semanas	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Demanda Neta	2642	5540	6878	6921	6821	6684	6558	6869	6120	6809	6544	6448	6433
Pronóstico	5344	3182	5068	6516	6840	6825	6712	6589	6813	6259	6699	6575	6473
Plan de Producción	3560	5358	6581	6837	6802	6687	6634	6702	6347	6674	6555	5179	
Inventario Inicial	1590	-390	-1910	-2250	-2234	-2116	-1986	-2222	-1640	-2102	-1972	-1865	-3119
Inventario Final	5150	4968	4671	4587	4568	4572	4647	4480	4707	4572	4583	3314	

Tabla B.3: Proyección de inventarios, 7 días

Semanas	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda Neta			3962	3235	4035	4844	2769	3110	2506	3277	2528	2725	3694	2612
Pronóstico			3946	3959	3380	3904	4656	3146	3117	2628	3147	2652	2710	3497
Plan de Producción	1578	3951	3727	3589	4205	4052	3135	2922	2836	2949	2675	3025	3214	2974
Inventario Inicial		1578	1567	2059	1614	974	2258	2282	2698	2257	2678	2628	1959	2561
Inventario Final	1578	5529	5294	5649	5818	5027	5392	5204	5534	5206	5353	5653	5173	5535

Semanas	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Demanda Neta	3367	4906	4132	7797	5947	6176	6432	6638	6678	6631	6638	6221	6968	6010
Pronóstico	2789	3251	4575	4221	7082	6174	6176	6381	6587	6660	6637	6638	6304	6835
Plan de Producción	3781	4433	5365	6719	6175	6258	6463	6616	6651	6637	6504	6517	6571	5415
Inventario Inicial	2168	1043	1344	-1087	-316	-317	-492	-667	-729	-709	-710	-427	-878	-317
Inventario Final	5949	5476	6710	5631	5859	5940	5971	5949	5922	5928	5794	6090	5693	5099

Semanas	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Demanda Neta	3801	3105	5965	7058	6918	6827	6059	7783	7440	7254	7440	6516	5340
Pronóstico	6175	4276	3339	5440	6734	6881	6838	6215	7469	7446	7292	7410	6695
Plan de Producción	3901	4179	5958	6793	6864	6589	6717	7460	7384	7340	7124	6261	4482
Inventario Inicial	1298	2094	308	-792	-917	-880	-351	-1417	-1397	-1267	-1367	-759	163
Inventario Final	5199	6273	6266	6001	5947	5708	6366	6043	5987	6073	5757	5503	4645

Semanas	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Demanda Neta	2083	4212	5991	5923	5506	4408	3731	6027	5954	5991	5814	5979	5192
Pronóstico	5611	2789	3927	5578	5854	5576	4642	3913	5604	5884	5970	5845	5952
Plan de Producción	3244	4588	5689	5743	5202	4350	4590	5716	5918	5920	5888	5709	4479
Inventario Inicial	2562	1594	190	-44	193	987	1606	168	-69	-142	-36	-127	390
Inventario Final	5806	6181	5879	5699	5395	5337	6195	5885	5849	5778	5852	5582	4869

Semanas	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Demanda Neta	2642	5540	6878	6921	6821	6684	6558	6869	6120	6809	6544	6448	6433
Pronóstico	5344	3182	5068	6516	6840	6825	6712	6589	6813	6259	6699	6575	6473
Plan de Producción	3937	5648	6646	6834	6780	6663	6678	6591	6435	6649	6534	3884	
Inventario Inicial	2227	624	-607	-882	-869	-773	-669	-859	-388	-762	-657	-570	-3119
Inventario Final	6164	6271	6039	5952	5911	5889	6010	5732	6047	5887	5878	3314	

Tabla B.4: Proyección de inventarios, 7.30 días

Semanas	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda Neta			3962	3235	4035	4844	2769	3110	2506	3277	2528	2725	3694	2612
Pronóstico			3946	3959	3380	3904	4656	3146	3117	2628	3147	2652	2710	3497
Plan de Producción	1815	3952	3692	3621	4250	3962	3133	2892	2867	2919	2679	3072	3171	3002
Inventario Inicial		1815	1805	2262	1848	1254	2446	2469	2856	2446	2837	2791	2169	2729
Inventario Final	1815	5767	5497	5883	6098	5215	5579	5362	5723	5365	5516	5863	5341	5730

Semanas	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Demanda Neta	3367	4906	4132	7797	5947	6176	6432	6638	6678	6631	6638	6221	6968	6010
Pronóstico	2789	3251	4575	4221	7082	6174	6176	6381	6587	6660	6637	6638	6304	6835
Plan de Producción	3860	4412	5537	6664	6175	6270	6475	6620	6649	6637	6484	6549	6532	5301
Inventario Inicial	2363	1318	1598	-663	55	53	-109	-271	-329	-311	-312	-48	-468	54
Inventario Final	6224	5730	7134	6002	6229	6323	6367	6349	6320	6326	6173	6500	6064	5355

Semanas	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Demanda Neta	3801	3105	5965	7058	6918	6827	6059	7783	7440	7254	7440	6516	5340
Pronóstico	6175	4276	3339	5440	6734	6881	6838	6215	7469	7446	7292	7410	6695
Plan de Producción	3845	4305	6035	6802	6861	6551	6792	7459	7375	7347	7081	6196	4313
Inventario Inicial	1554	2294	635	-388	-504	-470	22	-969	-950	-829	-922	-357	499
Inventario Final	5399	6600	6670	6414	6357	6081	6814	6490	6425	6518	6159	5839	4812

Semanas	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Demanda Neta	2083	4212	5991	5923	5506	4408	3731	6027	5954	5991	5814	5979	5192
Pronóstico	5611	2789	3927	5578	5854	5576	4642	3913	5604	5884	5970	5845	5952
Plan de Producción	3312	4687	5705	5726	5146	4306	4691	5733	5923	5912	5894	5672	4350
Inventario Inicial	2729	1829	525	307	527	1265	1841	505	284	216	314	230	710
Inventario Final	6041	6516	6230	6033	5673	5572	6532	6238	6207	6128	6209	5902	5060

Semanas	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Demanda Neta	2642	5540	6878	6921	6821	6684	6558	6869	6120	6809	6544	6448	6433
Pronóstico	5344	3182	5068	6516	6840	6825	6712	6589	6813	6259	6699	6575	6473
Plan de Producción	4050	5734	6665	6833	6773	6655	6692	6558	6461	6642	6528	3496	
Inventario Inicial	2418	928	-216	-472	-460	-371	-273	-450	-12	-360	-262	-182	-3119
Inventario Final	6468	6662	6449	6361	6313	6285	6419	6108	6449	6282	6266	3314	

Tabla B.5: Proyección de inventarios, 7.76 días

Semanas	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda Neta			3962	3235	4035	4844	2769	3110	2506	3277	2528	2725	3694	2612
Pronóstico			3946	3959	3380	3904	4656	3146	3117	2628	3147	2652	2710	3497
Plan de Producción	2178	3953	3639	3669	4319	3823	3130	2847	2915	2874	2684	3145	3106	3044
Inventario Inicial		2178	2169	2573	2207	1682	2736	2756	3097	2735	3081	3040	2491	2985
Inventario Final	2178	6131	5808	6242	6526	5505	5866	5603	6012	5609	5765	6185	5597	6030

Semanas	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Demanda Neta	3367	4906	4132	7797	5947	6176	6432	6638	6678	6631	6638	6221	6968	6010
Pronóstico	2789	3251	4575	4221	7082	6174	6176	6381	6587	6660	6637	6638	6304	6835
Plan de Producción	3982	4379	5800	6581	6175	6289	6494	6627	6647	6637	6454	6597	6471	5127
Inventario Inicial	2663	1739	1986	-11	623	621	478	335	284	300	299	532	161	622
Inventario Final	6645	6118	7786	6570	6797	6910	6973	6962	6931	6937	6753	7129	6632	5748

Semanas	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Demanda Neta	3801	3105	5965	7058	6918	6827	6059	7783	7440	7254	7440	6516	5340
Pronóstico	6175	4276	3339	5440	6734	6881	6838	6215	7469	7446	7292	7410	6695
Plan de Producción	3759	4499	6154	6815	6857	6494	6907	7456	7361	7358	7015	6097	4053
Inventario Inicial	1947	2601	1135	231	129	159	594	-282	-265	-158	-241	259	1016
Inventario Final	5706	7100	7289	7047	6986	6653	7501	7175	7096	7199	6775	6356	5069

Semanas	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Demanda Neta	2083	4212	5991	5923	5506	4408	3731	6027	5954	5991	5814	5979	5192
Pronóstico	5611	2789	3927	5578	5854	5576	4642	3913	5604	5884	5970	5845	5952
Plan de Producción	3417	4839	5730	5700	5060	4239	4847	5759	5931	5901	5904	5617	4151
Inventario Inicial	2986	2191	1038	846	1040	1692	2201	1020	825	765	852	777	1202
Inventario Final	6403	7029	6769	6546	6100	5932	7047	6779	6756	6666	6756	6394	5353

Semanas	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Demanda Neta	2642	5540	6878	6921	6821	6684	6558	6869	6120	6809	6544	6448	6433
Pronóstico	5344	3182	5068	6516	6840	6825	6712	6589	6813	6259	6699	6575	6473
Plan de Producción	4224	5868	6695	6832	6763	6644	6713	6507	6502	6631	6519	2900	
Inventario Inicial	2711	1394	384	158	168	247	333	177	564	256	343	414	-3119
Inventario Final	6934	7262	7079	6989	6931	6891	7046	6684	7065	6887	6862	3314	

Tabla B.6: Proyección de inventarios, 8 días

Semanas	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda Neta			3962	3235	4035	4844	2769	3110	2506	3277	2528	2725	3694	2612
Pronóstico			3946	3959	3380	3904	4656	3146	3117	2628	3147	2652	2710	3497
Plan de Producción	2367	3953	3611	3694	4355	3750	3129	2824	2940	2850	2687	3183	3072	3066
Inventario Inicial		2367	2359	2735	2394	1906	2887	2906	3224	2886	3208	3170	2659	3119
Inventario Final	2367	6321	5970	6429	6750	5656	6016	5730	6163	5736	5895	6353	5731	6186

Semanas	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Demanda Neta	3367	4906	4132	7797	5947	6176	6432	6638	6678	6631	6638	6221	6968	6010
Pronóstico	2789	3251	4575	4221	7082	6174	6176	6381	6587	6660	6637	6638	6304	6835
Plan de Producción	4046	4362	5937	6537	6175	6299	6504	6630	6646	6637	6438	6623	6439	5036
Inventario Inicial	2819	1958	2189	329	919	918	785	651	603	618	617	834	489	918
Inventario Final	6864	6321	8126	6866	7094	7217	7289	7281	7249	7255	7055	7457	6928	5954

Semanas	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Demanda Neta	3801	3105	5965	7058	6918	6827	6059	7783	7440	7254	7440	6516	5340
Pronóstico	6175	4276	3339	5440	6734	6881	6838	6215	7469	7446	7292	7410	6695
Plan de Producción	3714	4600	6217	6823	6855	6464	6968	7455	7354	7363	6981	6045	3918
Inventario Inicial	2153	2762	1396	555	459	487	892	77	92	192	115	580	1285
Inventario Final	5867	7361	7613	7377	7314	6951	7860	7532	7446	7555	7096	6625	5202

Semanas	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Demanda Neta	2083	4212	5991	5923	5506	4408	3731	6027	5954	5991	5814	5979	5192
Pronóstico	5611	2789	3927	5578	5854	5576	4642	3913	5604	5884	5970	5845	5952
Plan de Producción	3472	4918	5744	5687	5015	4204	4928	5772	5935	5895	5909	5587	4047
Inventario Inicial	3119	2379	1306	1127	1308	1915	2388	1289	1107	1052	1133	1063	1458
Inventario Final	6591	7297	7050	6814	6323	6119	7316	7061	7043	6947	7042	6650	5505

Semanas	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Demanda Neta	2642	5540	6878	6921	6821	6684	6558	6869	6120	6809	6544	6448	6433
Pronóstico	5344	3182	5068	6516	6840	6825	6712	6589	6813	6259	6699	6575	6473
Plan de Producción	4314	5937	6710	6831	6757	6638	6723	6480	6523	6625	6514	2589	
Inventario Inicial	2863	1637	697	486	496	569	649	504	864	578	658	724	-3119
Inventario Final	7177	7575	7407	7317	7253	7207	7373	6984	7387	7202	7172	3314	

Tabla B.7: Proyección de inventarios, 8.29 días

Semanas	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda Neta			3962	3235	4035	4844	2769	3110	2506	3277	2528	2725	3694	2612
Pronóstico			3946	3959	3380	3904	4656	3146	3117	2628	3147	2652	2710	3497
Plan de Producción	2596	3954	3578	3725	4399	3663	3127	2796	2970	2821	2690	3228	3031	3093
Inventario Inicial		2596	2588	2931	2621	2176	3069	3087	3376	3069	3362	3327	2862	3281
Inventario Final	2596	6550	6166	6656	7020	5838	6197	5882	6346	5890	6052	6556	5893	6374

Semanas	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Demanda Neta	3367	4906	4132	7797	5947	6176	6432	6638	6678	6631	6638	6221	6968	6010
Pronóstico	2789	3251	4575	4221	7082	6174	6176	6381	6587	6660	6637	6638	6304	6835
Plan de Producción	4122	4342	6103	6484	6175	6311	6516	6635	6645	6637	6418	6654	6401	4925
Inventario Inicial	3007	2224	2433	740	1277	1276	1155	1033	989	1003	1002	1200	886	1276
Inventario Final	7130	6565	8537	7224	7452	7587	7671	7667	7634	7640	7421	7854	7286	6202

Semanas	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Demanda Neta	3801	3105	5965	7058	6918	6827	6059	7783	7440	7254	7440	6516	5340
Pronóstico	6175	4276	3339	5440	6734	6881	6838	6215	7469	7446	7292	7410	6695
Plan de Producción	3659	4721	6292	6831	6853	6428	7040	7454	7345	7370	6940	5982	3754
Inventario Inicial	2401	2955	1712	945	858	884	1253	510	524	615	545	969	1610
Inventario Final	6060	7677	8003	7776	7711	7312	8293	7964	7869	7985	7485	6950	5364

Semanas	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Demanda Neta	2083	4212	5991	5923	5506	4408	3731	6027	5954	5991	5814	5979	5192
Pronóstico	5611	2789	3927	5578	5854	5576	4642	3913	5604	5884	5970	5845	5952
Plan de Producción	3538	5014	5760	5671	4961	4162	5026	5788	5940	5888	5916	5552	3922
Inventario Inicial	3281	2607	1630	1466	1631	2184	2615	1614	1449	1398	1472	1408	1768
Inventario Final	6819	7621	7389	7137	6592	6346	7641	7403	7389	7286	7387	6960	5690

Semanas	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Demanda Neta	2642	5540	6878	6921	6821	6684	6558	6869	6120	6809	6544	6448	6433
Pronóstico	5344	3182	5068	6516	6840	6825	6712	6589	6813	6259	6699	6575	6473
Plan de Producción	4423	6021	6729	6830	6751	6631	6736	6448	6548	6617	6508	2214	
Inventario Inicial	3048	1931	1074	883	892	958	1031	899	1227	966	1040	1100	-3119
Inventario Final	7471	7952	7804	7713	7642	7589	7768	7347	7775	7584	7548	3314	

BIBLIOGRAFÍA

- ADARME, W., M. ARANGO y J. ZAPATA (2013), «Inventarios colaborativos en la optimización de la cadena de suministro», *Sistema de Información Científica*, **80**(181), págs. 71–80.
- ARIZA, A. (2013), «Métodos utilizados para el pronóstico de demanda de energía eléctrica en sistema de distribución», Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- BARLAS, Y. y B. GUNDUZ (2011), «Demand forecasting and sharing strategies to reduce fluctuations and the bullwhip effect in supply chains», *Journal of the Operational Research Society*, **62**, págs. 458–473.
- BASTIDAS, V. y L. TORO (2011), «Metodología para el control y la gestión de inventarios en una empresa minorista de electrodomésticos», *Scientia Et Technica*, **16**, págs. 85–91.
- BRAY, R. y H. MENDELSON (2012), «Transmisión de la información y el efecto látigo: Una investigación empírica», *Ciencia de la administración*, **58**(5), págs. 860–875.
- CHEN, F., Z. DREZNER, J. RYAN y D. SIMCHI (1998), *The bullwhip effect: Managerial insights on the impact of forecasting and information on variability in a supply chain*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- CHOU, Y. (1975), *Statistical analysis, with business and economic applications*, Rinehart and Winston, New York.

- ENGLERT, S., M. FALK, D. HOFMANN, M. MACKE, F. MAROHN, R. MICHEL y C. SPACHMANN (2012), *A first course on time series analysis*, GNE, Alemania.
- FIGUEROA, G. y N. LARIOS (2018), «Series de tiempo», Consultado en <http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/seriesdetiempo.pdf>.
- FORRESTER, J. (1961), *Industrial Dynamics*, Pegasus Communications, Estados Unidos.
- GOODWIN, P. (2010), «The Holt-Winter approach to exponential smoothing: 50 years old and going strong», *Hot New Research*, **1**, págs. 31–33.
- HAU, L., P. PADMANABHAN y S. WHANG (1997), «Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect», *Manage Sci*, **43**, págs. 546–558.
- HILLIER, F. y G. LIEBERMAN (1993), *Introducción a la investigación de operaciones*, McGraw Hill, México.
- LÓPEZ, E. y G. MÉNDEZ (2014), «Metodología para el pronóstico de la demanda en ambientes multiproducto y de alta variabilidad», *Tecnura*, **18**, págs. 89–102.
- MAKRIDAKIS, S., S. WHEELWRIGHT y R. HYNDMAN (1998), *Forecasting. Methods and applications*, John Wiley and Sons.
- MENDENHALL, W., R. SCHEAFFER y D. WACKERLY (2009), *Estadística matemática con aplicaciones*, CENGAGE Learning, México.
- MÉNDEZ, G. (2003), «Gerencia de manufactura: Función de planeación», Universidad Distrital Francisco José Caldas.
- PÉREZ-VERGARA, I. (2013), «Un modelo de gestión de inventarios para una empresa de productos alimenticios», *Ingeniería Industrial*, **34**, págs. 215–219.
- REN, T. y H. SUN (2005), «The impact of forecasting methods on bullwhip effect in supply chain management», *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, **1**(2).

REUTERS (2015), Consultado en <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/ford-busca-compartir-transporte-con-competidores-en-mexico-para-bajar-costos.html>.

RODRÍGUEZ, B. (2011), «Sistemas y modelos de inventarios», Bogotá, Colombia: Universidad Manuela Beltrán.

VIDAL, C. (2010), «Fundamentos de control y gestión de inventarios», Cali, Colombia: Universidad del Valle.



Junio 10, 2019

A quien corresponda.-

Por medio de la presente hago constar que el Ing. **Eduardo Rafael Gallegos Torres** llevó a cabo en Yazaki S. de R.L. de C.V. el proyecto **“Disminución de desabasto mediante un pronóstico de demanda y una política de inventarios”**, para el cual fungió como asesor por parte del programa de Posgrado en Logística y Cadena de Suministro de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León el Dr. Miguel Mata Pérez.

La implementación del proyecto antes mencionado se llevó a cabo de manera satisfactoria. Mediante el ajuste en la meta de inventario de los arneses automotrices, de 5 a 7 días, se han logrado beneficios en nuestra compañía como el incremento en el nivel de servicio, que ha sido de hasta 30%. Derivado de esto, se ha visto reflejada una reducción del desabasto y de los envíos expeditados hasta en un 80%, con lo cual se ve por añadidura una reducción de costos extraordinarios derivados de dichos envíos.

Extiendo la presente para los fines que al interesado convengan.

Atentamente



Lic. Vicente Javier Ballesteros Franco

Program Manager I

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Eduardo Rafael Gallegos Torres

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

DISMINUCIÓN DE DESABASTO MEDIANTE UN PRONÓSTICO DE
DEMANDA Y UNA POLÍTICA DE INVENTARIOS

Nací en San Luis Potosí, S.L.P., el 8 de diciembre de 1990. Mis padres son Ricardo Gallegos Ramos y Lilia Magdalena Torres Fernández.

Tengo el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas por el Instituto Tecnológico de Sonora. Actualmente cuento con 5 años de experiencia en el ramo de la industria automotriz, tras haber laborado durante este lapso en Yazaki, empresa fabricante de arneses automotrices, en el área de Planeación y Control de la Producción. Comencé en Yazaki en el año 2014 en Ciudad Obregón, Sonora, y desde 2016 y hasta la fecha me encuentro en la ciudad de Monterrey, N.L.