



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA  
INGENIERIA INDUSTRIAL**

**TITULO**

Propuesta de un sistema de administración de inventarios en la empresa distribuidora  
de medicamentos Los Paisas S.A.

**AUTORES**

Br. José Ernesto Díaz Camejo  
Br. Jorge Luis Chamorro Corea

**TUTOR**

Ing. Oscar Danilo Fuentes Espinoza

**ASESOR**

Ing. Horacio Yamil Lovo Gutiérrez

**Managua, 13 de abril de 2018**

## Resumen

La administración de los inventarios garantiza el cumplimiento de los *seis correctos* de la logística: los artículos correctos; en condiciones correctas; en las cantidades correctas; entregados en el lugar correcto; en el momento correcto y al costo correcto. De esta forma las empresas mejoran su relación con el cliente. Por otro lado, es importante también asegurar un nivel de operación rentable para la organización.

El presente trabajo de investigación gira en torno a la propuesta de un sistema de administración de inventarios para la empresa distribuidora de medicamentos Los Paisas S.A. basado en la política de pedidos estándar máximos y mínimos. El objetivo principal de este estudio fue evaluar el desempeño de dicho sistema mediante los indicadores de desempeño de nivel de servicio y rotación de inventario.

La investigación se realizó en base a la metodología de estudio de caso, tomando como unidad de análisis el producto con mayor nivel de ventas de la empresa. Se obtuvo información de diversas fuentes, como documentos históricos de venta, información de capacidad operativa y parámetros logísticos provistos por parte del departamento de logística, revisión literaria, etc. Se utilizaron las técnicas de pronósticos de series de tiempo, cuyas proyecciones fueron utilizadas como datos de entrada para el cálculo de la política de inventario propuesta.

Con el uso de la simulación se realizaron 2000 réplicas que permitieron realizar inferencias sobre el comportamiento del sistema propuesto. Para esto se utilizaron como datos de entrada el historial de ventas y los niveles de inventarios. Además, con la ayuda de herramientas meta heurísticas se pudo conocer cuáles son los niveles de inventario óptimos.

Los resultados de la investigación demostraron que la política de pedidos estándar máximos y mínimos garantiza un alto nivel de servicio, pero a la vez perjudica la eficiencia en la rotación de inventarios. Sus ventajas y desventajas fueron presentadas a detalle, además de un análisis de los resultados para evaluar la aplicabilidad de esta propuesta en sistemas logísticos con características similares. Se propusieron nuevas líneas de investigación derivadas de este estudio.

## Tabla de contenido

I.	Introducción .....	1
II.	Objetivos.....	2
	Objetivo general .....	2
	Objetivos específicos.....	2
III.	Justificación .....	3
IV.	Antecedentes.....	4
V.	Marco teórico .....	5
	1. La cadena de suministros .....	5
	1.1 Evolución de la cadena de suministros .....	5
	1.2 Definición de cadena de suministros y logística .....	6
	1.3 Diseño de la cadena de suministros .....	8
	1.3.1 Sistema de una bodega y múltiples puntos de venta .....	10
	2. Pronósticos de ventas .....	12
	2.1. Proceso de pronóstico .....	14
	2.2. Tipos de pronósticos .....	14
	2.3. Componentes de la demanda.....	15
	2.4. Limpieza del historial de ventas.....	17
	2.5. Elección de un modelo de pronóstico .....	18
	2.5.1. Medidas de precisión del pronóstico .....	18
	2.6. Modelos de pronóstico.....	20
	3. Sistemas de administración de inventarios.....	20
	3.1. Definiciones básicas de inventario .....	24
	3.2. Sistema de clasificación de inventarios ABC - XYZ.....	26
	3.2.1. Clasificación ABC.....	26
	3.2.2. Clasificación XYZ.....	28

3.3. Políticas de inventarios.....	29
3.3.1. Cantidad económica de pedido.....	31
3.3.2. Política de revisión periódica .....	35
3.3.3. Política de máximos y mínimos.....	36
3.3.4. Ventajas y desventajas de las políticas de inventario .....	38
4. Simulación.....	40
4.1. Análisis de datos de entrada para el modelo de simulación .....	41
4.2. Simulación de Monte Carlo.....	42
4.3. Optimización del modelo de simulación.....	43
VI. Planteamiento de hipótesis.....	45
VII. Marco metodológico .....	46
1. Tipo de investigación .....	46
2. Diseño de la investigación .....	46
3. Unidad de análisis .....	47
4. Recolección y análisis de datos.....	48
a. Operacionalización de variables .....	48
b. Análisis de datos.....	49
<b>Capítulo 1</b> .....	53
Clasificación ABC y selección de muestra de análisis .....	53
1. Aplicación de la técnica ABC .....	54
2. Selección de la muestra de análisis.....	55
<b>Capítulo 2</b> .....	56
Determinación del pronóstico de ventas .....	56
1. Formulación del problema.....	57
2. Limpieza de los datos .....	57
3. Selección del modelo de pronóstico .....	58

4. Generación de pronóstico .....	58
<b>Capítulo 3</b> .....	66
Diseño de la política de administración de inventarios .....	66
1. Definición de los parámetros logísticos .....	67
2. Aplicación de la técnica XYZ.....	68
3. Definición de la política de inventario.....	68
<b>Capítulo 4</b> .....	72
Evaluación del desempeño de la política de administración de inventarios .....	72
1. Formulación del problema.....	73
2. Especificaciones y características del sistema .....	73
3. Construcción del modelo de simulación.....	74
4. Optimización de la política de inventarios .....	79
VIII. Discusión de resultados .....	82
IX. Conclusiones .....	85
X. Recomendaciones .....	87
XI. Bibliografía .....	88
XII. Anexos .....	92

## **Índice de figuras**

- Figura 1.** Modelo generalizado de la cadena de suministros de Los Paisas
- Figura 2.** Canal de suministros multinivel
- Figura 3.** Componentes más comunes de la demanda
- Figura 4.** Formulación de hipótesis en estudios cuantitativos con diferentes alcances
- Figura 5.** Metodología desarrollada en esta investigación
- Figura 6.** Gráfico de la regla 80-20 para la clasificación ABC
- Figura 7.** Método de suavización exponencial simple para sucursal 1
- Figura 8.** Método de regresión lineal simple para sucursal 1
- Figura 9.** Método de suavización exponencial ajustada a la tendencia para sucursal 1
- Figura 10.** Método de regresión exponencial para sucursal 1
- Figura 11.** Método de regresión potencial para sucursal 1
- Figura 12.** Funcionamiento del sistema de pedidos estándar Max – Min
- Figura 13.** Modelación estructural lógica de la simulación
- Figura 14.** Comparación del nivel de servicio de la política de máximos y mínimos y la política optimizada
- Figura 15.** Comparación de los días de cobertura de inventario de la política de máximos y mínimos y la política optimizada

## **Índice de tablas**

- Tabla 1.** Matriz de nivel de servicio por tipo ABC XYZ
- Tabla 2.** Ventajas y desventajas de las políticas de inventario
- Tabla 3.** Resumen de clasificación ABC
- Tabla 4.** Generalidades de unidad de análisis
- Tabla 5.** Serie de tiempo ajustada para la sucursal 1
- Tabla 6.** Pronostico de ventas en sucursales para enero 2018
- Tabla 7.** Precisión de pronóstico para el centro de distribución
- Tabla 8.** Parámetros logísticos del sistema de abastecimiento
- Tabla 9.** Clasificación XYZ y fijación de nivel de servicio
- Tabla 10.** Determinación de inventario de seguridad por sucursal

**Tabla 11.** Estimación de ventas por día

**Tabla 12.** Política de pedidos estándar máximos y mínimos por sucursal

**Tabla 13.** Calendario de abastecimiento a sucursales

**Tabla 14.** Variables declaradas en el modelo de simulación de ARENA®

**Tabla 15.** Distribuciones teóricas de demanda sugeridas por input analyzer

**Tabla 16.** Distribuciones de demanda seleccionadas como datos de entrada

**Tabla 17.** Estructura del modelo de optimización meta heurística

**Tabla 18.** Valores óptimos para la política de inventarios

**Tabla 19.** Resultados de simulación con valores sugeridos por la política máximos y mínimos

**Tabla 20.** Resultados de simulación con valores optimizados por meta heurística

## **Índice de anexos**

**Anexo 1.** Ventas mensuales del producto muestra

**Anexo 2.** Modelos de pronóstico

**Anexo 3.** Distribuciones de probabilidad teóricas para demanda

**Anexo 4.** Distribuciones de probabilidad empíricas discretas para demanda

**Anexo 5.** Demanda diaria del producto muestra

**Anexo 6.** Resultados de simulación de política de inventarios propuesta

**Anexo 7.** Resultados de simulación de política de inventarios optimizada

## I. Introducción

La administración de los inventarios es una parte fundamental de la planeación estratégica y operativa de las empresas. El manejo inadecuado de los inventarios en una empresa se traduce en el aumento de costos de operaciones y una disminución considerable en el nivel de servicio que la empresa transmite a sus clientes.

Algunas de las causas por las cuales las empresas tienen inventarios son las siguientes: (1) la necesidad de inventarios de seguridad para responder rápidamente a las necesidades del mercado; (2) anticipación a los cambios de los niveles de demanda, disponibilidad de materia prima, etc., y; (3) desacoplar las decisiones en sistemas de inventario multinivel (Pyke & Silver, 2001).

El desarrollo de este estudio gira en torno al problema de *una bodega y N puntos de venta*. Este tipo de cadena de suministro es bastante común en empresas de distribución de consumo masivo, donde múltiples proveedores abastecen un centro de distribución, y este distribuye a distintos puntos de venta. Las complicaciones inherentes a este tipo de sistemas obligan a las empresas a diseñar modelos prácticos que garanticen el nivel de servicio en todos los niveles de la cadena de suministros.

Esta investigación se desarrolló bajo un estudio de caso de la empresa distribuidora de medicamentos Los Paisas S.A., donde el propósito central fue analizar el comportamiento de las ventas de los productos, para determinar un sistema de administración de inventarios basado en la política de pedidos estándar máximos y mínimos con un enfoque estadístico. El rendimiento de esta política fue valorado mediante la determinación del nivel de servicio y la rotación de inventarios a través de una simulación en el software Arena®. Los niveles máximos y mínimos se compararon con valores óptimos sugeridos mediante el paquete de optimización OptQuest®. En este trabajo se utilizó la planeación y administración de inventarios con demanda probabilística, utilizando pronósticos estadísticos de ventas y niveles de servicio diferenciados por clasificación ABC-XYZ.

## **II. Objetivos**

### **Objetivo general**

Proponer un sistema de administración de inventarios en la empresa distribuidora de medicamentos Los Paisas S.A., que permita la mejora del nivel de servicio y la rotación de inventario.

### **Objetivos específicos**

1. Conocer la importancia de los productos según los registros de ventas, mediante el uso de la técnica de clasificación ABC.
2. Determinar el pronóstico de ventas a través de un modelo que se ajuste al comportamiento histórico de los datos.
3. Diseñar una política de administración de inventarios que garantice un abastecimiento apropiado a las necesidades de la empresa.

Evaluar el desempeño del sistema de administración de inventarios propuesto mediante los indicadores de nivel de servicio y rotación de inventario.

### III. Justificación

En esta investigación se pretende desarrollar un sistema de administración de inventarios en la empresa distribuidora de medicamentos Los Paisas S.A. que tome en cuenta cada variable implícita en el comportamiento del producto seleccionado y darle solución al típico problema presente en la administración de inventarios: *cuándo y cuánto reabastecer*. Todo con el propósito de incrementar el nivel de servicio del centro de distribución hacia las sucursales y de estas mismas hacia los clientes, trayendo como resultado el aumento de las utilidades de la empresa.

En este estudio se utilizó la técnica ABC-XYZ, la cual permite clasificar los productos por su importancia y variabilidad en las ventas. Una de las principales ventajas de esta herramienta es diferenciar los niveles de servicio y en consecuencia los niveles de inventario, permitiendo que los productos más importantes y con demanda estable tengan mayor disponibilidad de inventario para su venta. Se aplicaron distintos métodos de pronósticos con el fin de escoger el que mejor se ajuste al comportamiento histórico de los datos, los modelos seleccionados han sido empleados en investigaciones similares. (Ver Acápite 2 en marco Teórico)

Por otro lado, también se empleó la política de administración de inventarios de máximos y mínimos, la cual es una combinación de los sistemas de revisión periódica y revisión continua. Este modelo consiste en revisar el inventario cada  $R$  periodos y ordenar solo cuando la posición del inventario esté igual o por debajo del nivel mínimo. Solo se tomó un producto como muestra, no obstante, la participación de este modelo en este estudio reside en la flexibilidad que posee ante un portafolio amplio de artículos, siendo el propósito a futuro que la empresa pueda tomar como referencia el producto modelado y aplicarlo a todo su portafolio.

#### **IV. Antecedentes**

La empresa distribuidora de medicamentos Los paisas S.A., ubicada en el antiguo cine Salinas en la capital, comercializa más de 2300 productos de consumo masivo en seis puestos de venta, localizados en los mercados más concurridos de Managua.

A lo largo de sus años de participación en el mercado la demanda se ha diversificado geográficamente. Esta situación ha obligado a flexibilizar las operaciones y responder eficientemente a la tendencia fluctuante de la demanda. Por otro lado, la desagregación de los clientes a lo largo de toda la red logística ha causado que los niveles de venta en las sucursales varíen según la fuerte demanda, siendo esta de carácter minorista y mayorista.

Con frecuencia, los productos con mayor rotación escasean más, y aquellos con menor nivel de ventas saturan los estantes, esta condición, en general se puede definir como un costo de oportunidad, donde la inversión en productos que no se venden, puede ser utilizada en productos que sí rotan. De igual manera, los gastos de operación también se ven afectados, puesto que el manejo de grandes cantidades de producto incrementa los costos de mantener inventario.

Las circunstancias mencionadas anteriormente, tomando en cuenta que la demanda posee un comportamiento ascendente y la cantidad de ítems que maneja la empresa incrementa debido al surgimiento de nuevos productos en el sector farmacéutico, podrían empeorar si no se emplea un sistema de control de inventarios eficiente, aumentando la cantidad de faltantes de los productos con mayor rotación y en consecuencia los márgenes de ganancia de la empresa comenzarían a decaer, así como el alza de los costos de mantener inventario innecesario de productos con bajo nivel de ventas.

Esta situación deja entrever la inexistencia de una política de administración de inventarios eficiente, la cual considere elementos tales como el tiempo de entrega, la frecuencia de revisión de la posición del inventario, el tamaño de los pedidos, la variabilidad de la demanda, la clasificación de productos según su importancia y la confiabilidad de los proveedores.

## V. Marco teórico

### 1. La cadena de suministros

#### 1.1 Evolución de la cadena de suministros

La administración de la cadena de suministros ha revolucionado la forma como se hacen las cosas dentro de las empresas, y su creación como un campo de estudio de la gerencia data de no más de 40 años atrás. (Neuschel como se citó en Gattorna, 2014) reconocía que “en la década de 1960 la logística de distribución se desempeñaba dispersa entre las diversas funciones de la empresa, y administrada por distintos departamentos” (p. 6). Además, considera que “fue hasta inicios de la década de 1980 que la función logística fue establecida como tal, enlazando proveedores y clientes con las operaciones internas de la organización” (Gattorna, 2014, p. 6), no obstante, según Ballou (2004) fue en 1961 que apareció el primer libro en proponer los beneficios de la gestión logística de forma integrada y coordinada” (p. 4).

Paralelamente, Ballou (2004) afirma:

La novedad de este campo estriba en el concepto de dirección coordinada de las actividades relacionadas, en vez de la práctica histórica de manejarlas de manera separada, además del concepto de que la logística añade valor a los productos o servicios esenciales para la satisfacción del cliente y para las ventas. (p. 3)

En el mismo orden de ideas, Gattorna (2014) sostiene que a finales de la década de 1980 sobresalían en las empresas tres subsistemas fundamentales en la cadena de suministros. El subsistema inbound, que se encargaba de cualquier operación hacia adentro de la empresa (compras, adquisición de materias primas, etc.), el subsistema outbound, el cual se dirigía hacia afuera de la empresa (productos terminados, distribución a clientes, centros de distribución, etc.) y en el medio se encontraba el subsistema de producción. Gattorna (2014) también menciona que la unión de dichos subsistemas es lo que hoy se conoce como “operaciones”, y la sincronización de estos es clave para el buen desempeño de la organización.

Los avances de internet a inicios de los años noventa han cambiado radicalmente como se administran las cadenas de suministro, esto ha permitido que los procesos se visualicen remotamente en tiempo real, por otro lado, los softwares han facilitado el esfuerzo de planeación considerablemente. La organización KPMG (2016) en su estudio de perspectivas globales de la industria de la manufactura 2016, basados en una encuesta realizada por Forbes a 360 ejecutivos de empresas a nivel mundial, muestran que en promedio más del 50% de las compañías invertirán o están interesadas en invertir en los próximos 12 a 24 meses en sistemas y tecnologías para emplearlas en la administración de la cadena de suministros, y en promedio un 30% de las empresas ya han realizado inversiones de este tipo.

Las cadenas de suministros a nivel mundial han evolucionado a tal punto que, según Bowersox, Closs y Cooper (2007) en la década de 1990 las empresas tardaban en promedio de 15 a 30 días en recibir, procesar y entregar un pedido a un cliente desde sus almacenes, hoy en día algunas compañías pueden entregar pedidos en cuestión de horas.

## **1.2 Definición de cadena de suministros y logística**

Para entender el marco en que se desarrolla esta investigación es necesario definir qué significa la cadena de suministros y logística, sus diferencias y comparar algunos puntos de vista de distintos autores.

El consejo de profesionales de la administración de la cadena de suministros (CSCMP, del inglés *council of supply chain management professionals*), considera que la logística es una parte de la cadena de suministros y no son conceptos idénticos. Su definición de la cadena de suministros es la siguiente:

La administración de la cadena de suministros abarca la planeación y dirección de todas las actividades involucradas en el abastecimiento y compras, transformación, y las operaciones de la administración logística. Es importante destacar que también incluye la coordinación y colaboración con los demás canales de la cadena, los cuales pueden ser proveedores, clientes intermedios, subcontrataciones y consumidores. En esencia, la administración de la cadena de

suministros integra la gestión de la oferta y demanda dentro y entre las empresas. (CSCMP, s.f., p. 187)

Mentzer *et al.* (Como se citó en Ballou, 2004) propone un concepto similar al anterior, pero de forma más clara y general. La definición propuesta sigue:

La administración de la cadena de suministros se define como la coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales del negocio y de las tácticas a través de estas funciones empresariales dentro de una compañía en particular, y a través de las empresas que participan en la cadena de suministros con el fin de mejorar el desempeño a largo plazo de las empresas individuales y de la cadena de suministros como un todo. (p. 5)

Ambos autores concluyen que la cadena de suministros es un proceso integral de gestión, y excede los límites de empresas individuales, coordinando y compartiendo información, productos, recursos financieros y operaciones con las demás empresas de la cadena. Bowersox *et al.* (2007) sostienen que las empresas en la cadena de suministros persiguen un posicionamiento estratégico común y buscan aumentar la eficiencia de sus operaciones, mediante un marco de dependencia y colaboración reconocidas.

En pocas palabras, y citando la definición clara y sencilla de Gattorna (2014) “la gerencia de *supply chain* significa que todas las partes involucradas aceptan trabajar juntas ensamblando sus respectivos sistemas logísticos” (p. 7). Cualquier parte implicada en la satisfacción del pedido de un cliente forma parte de la cadena de suministros, sin importar su ubicación geográfica y que esta tenga o no contacto directo con el cliente.

Teniendo una noción clara de lo que significa la cadena de suministros (o administración de la cadena de suministros), es válido ahora definir el concepto de logística (o administración de la logística), y para contrastar dicha definición con el término estudiado al inicio de esta sección, se ha citado el concepto de logística propuesto por el consejo de profesionales de la administración de la cadena de suministros:

La logística es aquella parte de la cadena de suministros que planea, implementa y controla la eficiencia y efectividad del flujo y almacenamiento de bienes, servicios e información entre el punto de origen y el punto de consumo, con el fin de satisfacer las necesidades de los clientes. (CSCMP, s.f., p. 117)

Por su parte, Bowersox *et al.* (2007) define la logística de forma más simple, en sus propias palabras: “la logística es el trabajo requerido para mover y colocar el inventario por toda la cadena de suministros” (p. 4). Este concepto permite identificar la función de los sistemas logísticos en la cadena de suministros, y cómo estos se unen a través de las empresas mediante un proceso de dependencia.

Los autores mencionados anteriormente consideran que la logística es solo un proceso, aunque importante, pero dentro del marco de la cadena de suministros. Sin embargo, otros consideran que en la práctica ambos conceptos son sinónimos, y que, aunque la administración de la cadena de suministros fomenta ver la red completa, la realidad es que las empresas limitan el alcance de esta idea a un nivel hacia arriba y uno hacia abajo (Fawcett y Magan, como se citó en Ballou, 2004).

La diferencia entre ambos conceptos en la práctica es tenue y existen diferentes opiniones de autores al respecto. Para efectos de esta investigación, nos referimos a logística o cadena de suministros de modo indiferente. El centro es analizar el manejo de la demanda e inventario de la forma más efectiva, sin necesidad de considerar bajo qué esquema se desarrolla, pues la demanda y el inventario son aspectos considerados, ya sea en la cadena de suministros, o en la logística.

### **1.3 Diseño de la cadena de suministros**

La cadena de suministros se integra dentro de una red de operaciones logísticas de proveedores, fábricas, distribuidores intermedios y finalmente los consumidores. Estas operaciones logísticas se repiten constantemente a lo largo de la cadena, con el fin de dar continuidad a los flujos principales que recorren la red. De acuerdo a la definición dispuesta en la sección anterior, el CSCMP (s.f.) plantea:

Las actividades logísticas generalmente incluyen: gestión de la flota y distribución inbound y outbound, almacenamiento, manejo de materiales, procesamiento de pedidos, diseño de redes logísticas, pronósticos de la demanda y coordinación con proveedores de servicios logísticos subcontratados. (p. 117)

Así mismo, Según Bowersox *et al.* (2007) “hay cinco flujos fundamentales en la cadena de suministros: de información, de producto, de servicio, financiero y de conocimiento” (p. 7). El canal principal del flujo de productos es la logística, y la integración de los sistemas logísticos de las empresas permite convertir los productos desde su estado inicial como materia prima, y entregarlos al consumidor final, y aún más allá, los flujos inversos cuando dichos productos resultan defectuosos o su ciclo de vida ha acabado y deben retornar a almacenes de proveedores o fábricas.

“Los costos asociados a la administración de la cadena de suministros suelen representar entre el 4% y el 30% del volúmen de ventas” (Lalonde y Zinszer, citado en Estrada, Restrepo, & Ballesteros, 2010, p. 272), dentro de estos, los costos de transporte y almacenamiento representan 50% a 66% de los costos logísticos totales (Ballou, 2004). La administración del inventario juega un papel fundamental en la logística, Tawfik afirma que el costo de almacenamiento expresado anualmente oscila entre el 14% y 36% del valor del inventario (Tawfik citado en Estrada *et al.*,2010).

La cadena de suministros está compuesta por diferentes niveles y etapas. Chopra y Meindl (2008) plantean un modelo de cadenas de suministros en forma de red, donde distintos proveedores abastecen a distintos fabricantes, y estos a varios proveedores conformando una *red de suministros*. Por otro lado, Ballou (2004) sugiere que “para una empresa individual, la cadena de suministros se divide en canal físico de suministros y canal físico de distribución” (p. 7). El modelo propuesto por Ballou (2004) fue considerado en esta investigación. En la Figura 1 se muestra un modelo generalizado de la cadena de suministros de Los Paisas S.A., basado en el propuesto por Ballou (2004), donde el sistema logístico interno de la empresa comienza desde el centro de distribución

centralizado, el cual distribuye el inventario a los puntos de venta, y posteriormente estos a los clientes<sup>1</sup>.

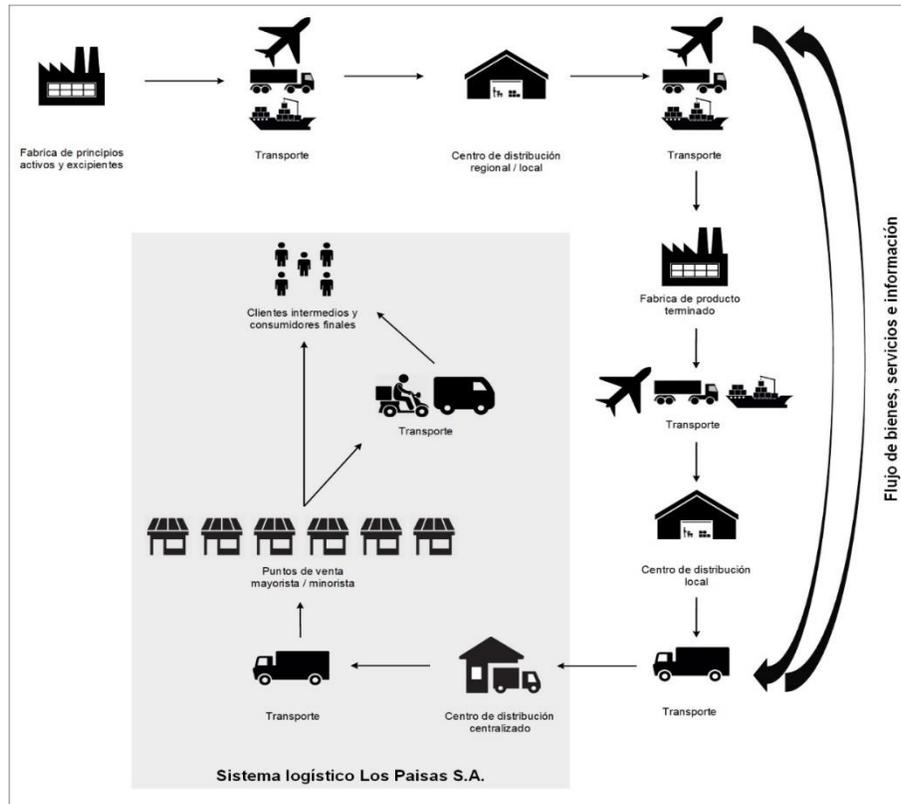


Figura 1. Modelo generalizado de la cadena de suministros de Los Paisas

### 1.3.1 Sistema de una bodega y múltiples puntos de venta

El sistema de una bodega de distribución y múltiples puntos de venta es un problema especial en el campo de la logística. Este tipo de cadena consiste en un almacén centralizado, el cual es suplido por muchos proveedores, o bien un único proveedor, y desde este es distribuido el inventario hacia los N puntos de venta para ser comercializados.

Este sistema es uno de los tipos más frecuentes de *canales de suministro de multinivel*. En la Figura 2 se muestra un canal de suministros multinivel similar al de Los Paisas S.A., dicha similitud demuestra la importancia de la definición de este tipo de sistema logístico en esta investigación.

<sup>1</sup> Los clientes pueden ser intermedios o consumidores finales. No se hace distinción en este término.

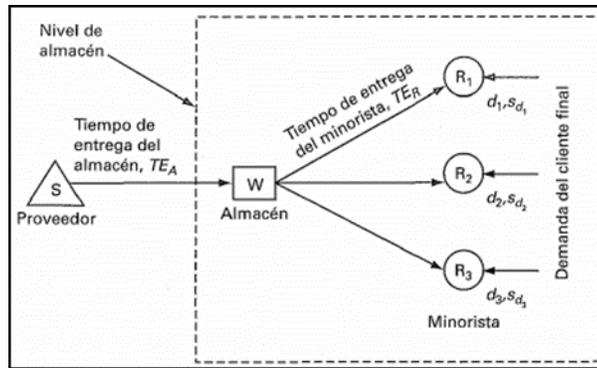


Figura 2. Canal de suministros multinivel

Fuente: (Ballou, 2004)

Este tipo de cadena de suministros presenta complejas particularidades, Vidal, Londoño Contreras (2011) sugieren que los problemas de inventarios más frecuentes en estos sistemas consisten en la determinación de las cantidades de mercadería a mantener en la bodega centralizada y en cada punto de venta, las políticas de control de inventario y la coordinación entre dichos eslabones. Otros aspectos prácticos que agregan complejidad a estructura son:

- Consideraciones de costos y nivel de servicio en cada eslabón de la cadena,
- La definición de tiempo de reposición entre un eslabón y otro de la cadena.
- Inventario insuficiente en la bodega para suplir las órdenes de abastecimiento de todos los puntos de venta y las políticas de asignación en estos casos.
- Traslados de inventarios entre puntos de venta y su respectiva coordinación con el sistema de distribución.
- Posibles despachos directos a clientes desde la bodega central. (Vidal *et al.*, 2011)

Otras investigaciones se han realizado en cadenas de suministro de este tipo, véase Vidal *et al.* (2011) donde aparece un compendio de estudios y trabajos relacionados a este sistema. Muchas de estas publicaciones fueron basadas en suposiciones teóricas y bajo simplificaciones que intentan asemejar la operación de un sistema real mediante un planteamiento más simple, sin embargo, las aplicaciones de estos modelos óptimos son cuestionables en la práctica, debido a la inmensa cantidad de aspectos complejos que no pueden ser modelados matemáticamente.

Por esta razón, los sistemas de inventarios para cadenas de este tipo hallados en la práctica generalmente son heurísticos, los cuales garantizan un buen desempeño a pesar de no ser métodos *óptimos*. De acuerdo con Vidal *et al.* (2011) con los modelos *desarrollados en casa* se pueden lograr resultados significativos en la mejora de la gestión de la cadena de suministros. Este enfoque heurístico fue tomado para el desarrollo de esta tesis, con el fin de diseñar un sistema de inventarios *a la medida* en la empresa y medir su desempeño.

## **2. Pronósticos de ventas**

La naturaleza incierta del mercado obliga a las empresas a utilizar métodos para predecir las tendencias de la demanda, con el fin de tomar decisiones e implementar planes estratégicos y operativos a un nivel rentable.

Para generar un pronóstico de demanda es importante utilizar los datos de venta real de los clientes finales, sin importar desde qué eslabón de la cadena se esté realizando el pronóstico. “Si los datos de consumo de los puntos de venta no están disponibles, se pueden utilizar los datos de distribución del nivel más bajo posible” (USAID, 2011, p. 51). Cuando los proveedores y fábricas en niveles superiores utilizan los datos de distribución a mayoristas y minoristas en niveles inmediatos, en lugar de los datos de venta a clientes finales, se exponen a mantener mayores volúmenes de inventario en todo el canal, esto debido al fenómeno conocido como *efecto látigo*, el cual ocurre por el aumento de la variabilidad de los pedidos al trasladarse del cliente al productor en la cadena de suministros (Chase & Jacobs, 2013).

Las organizaciones que carecen de un proceso estructurado de planificación de la demanda se ven afectadas, pues las consecuencias de no implementar dicho proceso terminan en exceso de inventario, o bien faltantes, en ambos casos, las utilidades de la compañía se ven comprometidas. De forma similar, Escobar (2013) describe una lista de consecuencias por no ejecutar un plan de demanda en las empresas, y afirma que la exactitud del mismo depende de dos factores fundamentales:

- La calidad de los datos disponibles para generar el plan: en este aspecto se considera si los registros de venta representan verazmente el comportamiento real de la demanda y cuáles son las variables que explican la demanda.
- Los métodos para procesar los datos y generar el plan: esta etapa es importante pues se analiza la técnica más adecuada de pronóstico, considerando las particularidades de la demanda de cada producto. (p. 116)

El pronóstico estadístico de las ventas es un paso importante en el proceso de planeación de la demanda mencionado en el acápite anterior. Utilizar modelos precisos de pronósticos es una buena estrategia para hacer una previsión realista de las necesidades futuras de inventarios (Arango, Castrillón & Giraldo, s.f.).

En la práctica, la mayoría de las organizaciones basan sus políticas de inventario y pronósticos en la demanda promedio, sin embargo, este enfoque se debe utilizar cuando la demanda tiene un nivel constante y variación aleatoria alrededor de la media (Schroeder,1992), en caso que la demanda tenga otros componentes, tales como tendencia, estacionalidad, ciclicidad, etc.; los cuales se estudiarán en la siguiente sección, se deben utilizar métodos de pronósticos estadísticos que consideren dichos componentes.

Algunos autores han publicado investigaciones relacionadas al uso de métodos de pronósticos estadísticos en sistemas de administración de inventarios. De esta forma, Arango *et al.*, (s.f.) desarrollan un sistema de gestión de compras mediante una política de inventarios considerando nivel de servicio y un modelo de pronósticos por el algoritmo Holt-Winters. Por su parte, Vidal *et al.* (2011) utilizan suavización exponencial doble (algoritmo de Holt) con constantes de suavización óptimas por producto en artículo tipo A y B en un sistema de control de inventarios. Así, Krajcovic y Plinta (2012) proponen utilizar análisis XYZ como herramienta para clasificar los ítems según sus patrones de demanda y definir la posibilidad de usar métodos cuantitativos de pronóstico, para posteriormente utilizar dicho pronóstico en la planificación del inventario. También, Dobrota y Vujosevic (2015) presenta un estudio de caso donde valida la aplicación del algoritmo de Holt-Winters como una forma para mejorar la administración del inventario en una cadena minorista de alimentos.

En esta investigación se aplicaron modelos de pronósticos estadísticos que consideren los elementos de la serie de tiempo, con el fin de mejorar la estimación de ventas y planificación de inventarios, la mayoría de los autores coinciden en que de esta forma se garantiza un mejor nivel de servicio, reduciendo los niveles de inventario.

## **2.1. Proceso de pronóstico**

Respecto al tema Hanke (2010) propone cinco pasos necesarios en el proceso de pronósticos. Estos son:

1. Formulación del problema y recolección de datos: se debe conocer para que servirá el pronóstico, y en base a esto identificar los datos necesarios.
2. Manipulación y limpieza de datos: algunos datos deben procesarse previo al procedimiento de pronóstico.
3. Construcción y evaluación del modelo: se selecciona un modelo de pronóstico según el comportamiento de los datos.
4. Aplicación del modelo: se genera el pronóstico real con el modelo seleccionado en el paso anterior.
5. Evaluación del pronóstico: una vez que el periodo pronosticado termina, se comparan los valores reales con los pronosticados mediante la obtención del error de pronóstico.

## **2.2. Tipos de pronósticos**

“Existen cuatro tipos básicos de pronósticos: Cualitativo, análisis de series de tiempo, relaciones causales y simulación” (Chase y Jacobs, 2013, p. 486). Estas técnicas de pronóstico generalmente disponen de dos tipos de datos, el primero son los datos de *corte transversal*, estos consisten en observaciones recolectadas en un solo punto del tiempo, con el fin de examinarlas y extrapolar las relaciones descubiertas hacia la población. El segundo tipo es conocido como *serie de tiempo*, estos son datos recopilados y observados a lo largo de incrementos sucesivos de tiempo (Hanke, 2010).

Los pronósticos cualitativos son basados en opiniones subjetivas y métodos cualitativos. Los análisis de series de tiempo utilizan la demanda pasada para pronosticar la demanda futura, considerando los componentes (patrón) que dicha demanda tenga. Los pronósticos causales parten del supuesto que la demanda es dependiente del comportamiento de otro factor, en este método generalmente se utiliza análisis de regresión lineal. La simulación es un método en el cual se permite manejar distintas suposiciones acerca de la condición del pronóstico (Chase y Jacobs, 2013).

De acuerdo a Chase y Jacobs (2013) los métodos más comunes en la administración de la cadena de suministros son los análisis de series de tiempo y los métodos cualitativos. Los pronósticos cualitativos tienen amplia aplicación práctica, sin embargo, estos métodos exceden los límites de esta investigación. El análisis de series de tiempo fue el método utilizado en este trabajo, pues los datos son recopilados y registrados a lo largo del tiempo a medida que existe demanda.

### **2.3. Componentes de la demanda**

Los datos de demanda poseen cuatro componentes fundamentales en su distribución. De esta manera, Hanke (2010) considera que identificar estos patrones es importante y los define de la siguiente forma:

1. Patrón horizontal: las observaciones poseen un nivel constante o medio, este tipo de distribución se conoce como *serie estacionaria*.

2. Patrón de tendencia: los datos presentan un crecimiento o decrecimiento a lo largo de un periodo extenso.

3. Patrón cíclico: las observaciones presentan aumentos y caídas que no se refieren a un periodo fijo, en general la ciclicidad es producto de las condiciones económicas generales, estos ciclos se conocen como *ciclo del negocio*.

4. Patrón estacional: las observaciones son influidas por factores temporales, este patrón de cambio se repite cada año.

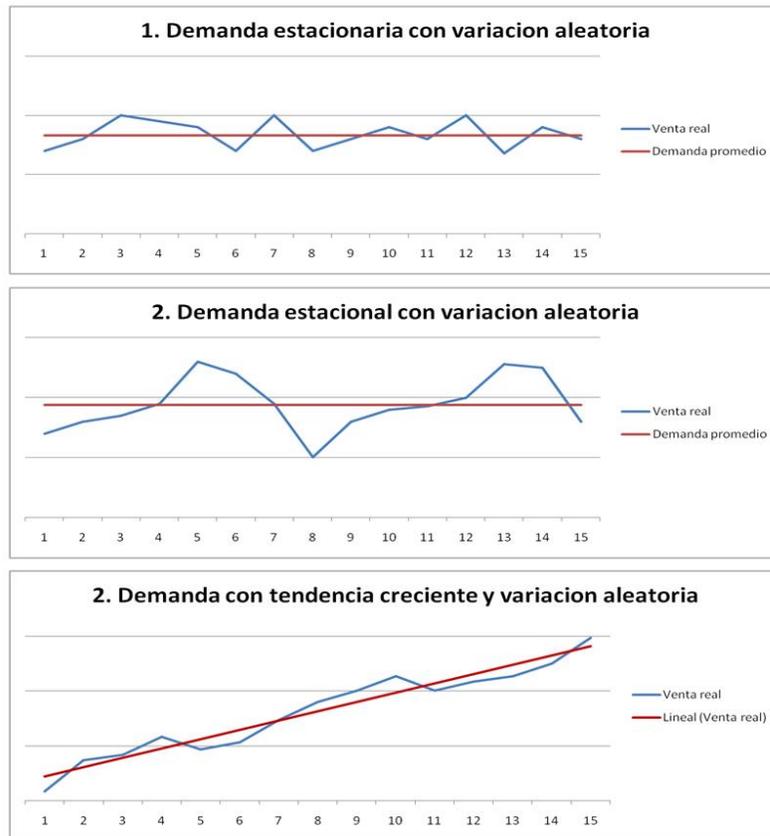


Figura 3. Componentes más comunes de la demanda

Fuente: elaboración propia

Otros componentes presentes en la demanda son mencionados por Chase y Jacobs (2013), estos son:

- Variación aleatoria: Los patrones aleatorios son ocasionados por eventos fortuitos. Si no es posible explicar algún comportamiento mediante los componentes conocidos de la demanda, o bien algún componente externo a la demanda<sup>2</sup>, el remanente inexplicable de la demanda se atribuye a variación aleatoria.
- Autocorrelación: Es la correlación existente entre la demanda en un momento dado y sus valores anteriores. O bien, como lo define Hanke (2010):

<sup>2</sup>Eventos de marketing, desabastecimientos, o cualquier otra atipicidad.

"Autocorrelación es la correlación que existe entre una variable retrasada uno o más periodos consigo misma". (p. 60)

La Figura 3 muestra algunos de los componentes de la demanda revisados en esta sección. El patrón cíclico es uno de los más complicados de interpretar, de acuerdo a Chase y Jacobs (2013) es porque quizás se desconoce el intervalo de tiempo o no se considera la razón de dicho ciclo.

#### **2.4. Limpieza del historial de ventas**

Después de identificar cada componente presente en la demanda de un producto, es necesario procesar los datos que serán utilizados como input en el modelo de pronóstico, esto con el fin de evitar que datos atípicos sesguen la efectividad del modelo de pronósticos.

En la investigación realizada por Arango *et al.* (s.f.) se sugiere utilizar límites de control a tres desviaciones estándar por encima y debajo de la media, para eliminar datos atípicos que puedan sesgar la estimación del pronóstico. Sin embargo, la experiencia ha dejado entrever que previo a esto se deben ajustar desviaciones estándar muy altas que puedan afectar la efectividad de los límites de control. Para identificar una variación excesiva en una serie de tiempo se puede utilizar el coeficiente de variabilidad, la cual se define así:

$$\text{Coeficiente de variabilidad} = \frac{\text{Desviación estándar}}{\text{Valor promedio}}$$

Por otro lado, la demanda de algunos artículos es genuinamente intermitente, debido a bajos niveles de demanda y una gran incertidumbre respecto a cuándo y cuánto será el nivel de demanda, estos tipos de productos generalmente incluyen aquellos que están empezando o concluyendo su ciclo de vida, con pocos clientes y divididos entre muchas ubicaciones de inventario (Ballou, 2004). El autor asegura que cuando dos o tres veces la desviación estándar de la información histórica excede el pronóstico, la demanda tiene un patrón irregular (Ballou, 2004).

## 2.5. Elección de un modelo de pronóstico

Para seleccionar un modelo de pronóstico es necesario definir algunos criterios de selección que ayuden a identificar qué modelo es más preciso que otro. La capacidad de un modelo matemático para ajustarse a los datos de una serie de tiempo no debe ser un criterio único de selección. Gálvez (2016) afirma que un modelo que se ajuste bien a los datos históricos, no necesariamente pronostica bien. Como alternativa a este problema, sugiere dividir los datos de entrada en dos grupos, los *datos de control* y los *datos de predicción*.

El primer conjunto de datos es utilizado para encontrar el modelo que mejor se ajuste a su distribución. Para esto se identifica el modelo que arroje el menor error, según las herramientas de medición adecuadas. También es necesario identificar patrones de datos (componentes de la demanda) para seleccionar técnicas capaces de extrapolarlos de manera eficaz (Hanke, 2010). Además, Hanke sugiere algunas preguntas que deben plantearse antes de decidir un modelo de pronóstico, así como algunas sugerencias de modelos de pronóstico según la existencia de patrones específicos de demanda (Hanke, 2010, pág. 74-77).

El segundo conjunto de datos es usado para probar la efectividad de un modelo para pronosticar, para esto Gálvez (2016) propone algunas medidas de precisión, las cuales serán abordadas en la siguiente sub-sección.

### 2.5.1. Medidas de precisión del pronóstico

La mayor parte de las medidas de precisión de pronóstico están basadas en la diferencia entre un valor real y el esperado (valor de pronóstico), estas diferencias son conocidas como *residuales* (Hanke, 2010). El error de pronóstico o residual se calcula así:

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t$$

Donde:

$e_t$  = Error de pronóstico en el periodo t

$Y_t$  = Valor real en el periodo t

$\hat{Y}_t$  = Valor de pronóstico para el periodo t

Las diferentes medidas de precisión para pronósticos se agrupan en tres categorías (Gálvez, 2016):

1. *Medidas de selección.* Estas son utilizadas en los datos de control, las principales herramientas de medición son:

- Error cuadrático medio (MSE, del inglés *mean square error*): es un promedio de cada error de pronóstico elevado al cuadrado. Este método penaliza los errores grandes de pronóstico debido a que los errores se elevan al cuadrado, esto es importante, pues una técnica que produce errores moderados podría ser preferible a una que, por lo general, tiene errores pequeños, pero que en ocasiones produce errores muy grandes (Hanke, 2010, p. 80). El MSE se define así:

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n}$$

- Raíz del error cuadrático medio (RMSE, del inglés *root mean square error*): se utiliza cuando se quiere conocer el error en las mismas unidades que los datos originales, se define como la raíz cuadrada del MSE:

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n}}$$

2. *Medidas de interpretación:* Estas medidas son utilizadas en los datos de control, con el fin de dar una proporción de cuan grandes son los errores de pronóstico en comparación al valor observado. Estos métodos también son utilizados para comparar la precisión de dos series de tiempo distintas, pues los errores se expresan en porcentajes.

- Error porcentual medio (MPE, del inglés *mean percentage error*): Se utiliza para conocer si el modelo de pronóstico tiene un sesgo positivo o negativo con respecto al valor real. Se calcula como el promedio de los errores en cada periodo dividido entre su valor real. Si el MPE tiene un valor

negativo, el pronóstico sobreestima el valor real, si el MPE es positivo, el pronóstico subestima su valor real.

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{(Y_t - \hat{Y}_t)}{Y_t}$$

- Error porcentual absoluto medio (MAPE, del inglés *mean absolute percentage error*): Es el promedio de cada error en valor absoluto, dividido entre su valor real.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t}$$

3. Medidas de precisión: Los datos de predicción son utilizados para este fin. Estas medidas son necesarias para probar la efectividad del modelo seleccionado para pronosticar los valores futuros.

- Precisión de pronóstico (FA, del inglés *Forecast accuracy*): Es una técnica que se utiliza para medir que tan cerca está el pronóstico de la demanda real en un periodo, en términos porcentuales. Se debe considerar que, si el error es mayor o igual al 100%, el FA será igual a cero, pues solo puede tomar valores entre 0 y 1.

$$FA_t = 100\% - \left( \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t} \times 100 \right)$$

## 2.6. Modelos de pronóstico

Las técnicas de pronóstico varían entre métodos sencillos, y aquellos muy elaborados y con un sinnúmero de parámetros. Gálvez (2016) afirma que a medida que el número de variables en un modelo aumentan, el error de pronóstico puede disminuir. Aunque esto es una posibilidad, Makridakis y Hibon (2000 como se citó en Hanke, 2010) sostienen que los métodos estadísticos más complejos no necesariamente pronostican con mayor precisión que aquellos modelos más simples. En esta sección se estudiarán

los modelos de pronósticos más utilizados y aceptados en la práctica. La mayoría de estos métodos son de sencilla formulación y aplicación.

1. Suavizamiento exponencial simple: el suavizamiento exponencial simple es un procedimiento para revisar de forma continua un pronóstico a la luz de experiencias más recientes (Hanke, 2010). Este modelo es utilizado cuando la tendencia no es determinable. En el suavizamiento exponencial se le otorga mayor peso ( $\alpha$ , siendo un valor entre cero y uno) al dato más reciente, el siguiente dato recibe menos peso que el primero, y así continúa hasta otorgar un peso exponencialmente decreciente a cada dato. Una expresión en forma matemática del suavizamiento exponencial es la siguiente:

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha) \hat{Y}_t$$

Donde:

$\hat{Y}_{t+1}$  = Valor de pronóstico para el siguiente periodo (periodo t+1)

$\alpha$  = Constante de suavizamiento ( $0 < \alpha < 1$ )

$Y_t$  = Valor real en el periodo t

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

2. Suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia: este método es conocido como *método de Holt*. Esta técnica fue desarrollada por Holt(1957), y consiste en un método de suavizamiento exponencial lineal, el cual toma en cuenta la tendencia lineales locales en evolución dentro de una serie de tiempo y puede usarse para generar pronósticos (como se citó en Hanke, 2010). En este modelo se suaviza el nivel y la tendencia, mediante la utilización de las constantes de suavización  $\alpha$  y  $\beta$ . Las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$\hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t$$

Donde:

$L_t$  = Nuevo valor suavizado (estimado del nivel actual)

$\beta$  = Constante de suavizamiento para el estimado de tendencia ( $0 < \beta < 1$ )

$T_t$  = Estimado de tendencia

$p$  = Periodo a pronosticarse en el futuro

$\hat{Y}_{t+p}$  = Pronostico para el periodo  $p$  en el futuro.

Los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  que se utilizan en las técnicas de suavizamiento pueden ser definidos de forma subjetiva o mediante optimización, es decir, minimizando una medida de error de pronostico (Hanke, 2010). Para optimizar dichas constantes, se puede utilizar la técnica de programación lineal, teniendo como función objetivo el valor mínimo del error.

3. Regresión lineal: Es un método estadístico que se define como una relación funcional entre dos o más variables correlacionadas (Chase & Jacobs, 2013), específicamente una correlación lineal. Este método se puede utilizar en modelos con relaciones causales, o bien en series de tiempo. No obstante, se debe verificar que los datos tienen una distribución lineal, y que estos están correlacionados, para esto se puede utilizar el *coeficiente de correlación*. La ecuación de regresión lineal mediante mínimos cuadrados es la siguiente:

$$Y = a + bX$$

En el método de mínimos cuadrados, las ecuaciones para  $a$  y  $b$  son:

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$b = \frac{\sum xy - n\bar{x} * \bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2}$$

Donde:

$a$  = Secante  $Y$

$b$  = Pendiente de la recta

$\bar{y}$  = Promedio de  $Y$

$\bar{x}$  = Promedio de  $X$

$x$  = Valor  $x$  de cada punto de datos

$y$  = Valor  $y$  de cada punto de datos

X = Valor de la variable independiente

Y = Valor de la variable dependiente calculada con la ecuación de regresión

Para medir el grado de correlación se utiliza la siguiente fórmula:

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n\sum y^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n\sum x^2 - (\sum y)^2}}$$

Donde:

r = coeficiente de correlación

4. Regresión exponencial: Este método se puede utilizar en modelos con relaciones causales, o bien en series de tiempo. La ecuación de ajuste proviene de una función exponencial como la siguiente:

$$Y = a \times b^x$$

5. Regresión potencial: Para este método se utiliza una ecuación de ajuste de tipo potencial, el cual se explica así:

$$Y = a \times X^b$$

### 3. Sistemas de administración de inventarios

Uno de los eslabones críticos en la cadena de suministros es el sistema de administración de inventarios, pues la rentabilidad de las empresas depende en gran medida de este factor.

La tendencia hoy en día es tener grandes cantidades de inventario para evitar ventas perdidas, sin embargo, las compañías se ven afectadas pues el capital es reducido a causa del costo del inventario, capital de trabajo que puede ser utilizado en otras actividades rentables. (Pyke & Silver, 2001, p. 1)

Una estrategia integrada de administración de inventario define las políticas y el proceso utilizado para determinar dónde poner el inventario y cuando iniciar embarques de re abasto, al igual que cuanto asignar (Bowersox *et al.*, 2007).

### 3.1. Definiciones básicas de inventario

Existen dos indicadores de desempeño importantes para un sistema de administración de inventario, estos son “el nivel de servicio y el inventario promedio” (Bowersox et al., 2007). Por otro lado, los sistemas están compuestos por políticas de inventario, los cuales también se conocen como *modelos de inventario* en otras bibliografías. Bowersox et al. (2007) definió estos conceptos de la siguiente manera:

- Política de inventario. Son los lineamientos acerca de que producto adquirir o fabricar, cuando y en qué cantidad. También se analiza el posicionamiento del inventario en la cadena de suministros. La administración centralizada o no centralizada de las existencias se define en la política de inventario.
- Nivel de servicio. Este define los objetivos de desempeño del inventario. El nivel de servicio se mide en términos de tiempo de ciclo de pedido, tasa de abastecimiento de contenidos, de líneas y de pedidos.

Cada uno presenta un enfoque distinto de la medición del nivel de servicio al cliente. En este estudio se medirá el nivel de servicio en términos de la tasa de abastecimiento de contenidos, este es el porcentaje de unidades de un pedido que se entregan según lo solicitado con el inventario disponible en un periodo de tiempo. Este se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Nivel de servicio} = \frac{\text{Unidades entregadas con el inventario disponible}}{\text{Unidades solicitadas}}$$

O bien,

$$\text{Nivel de servicio} = 1 - \frac{\text{Unidades faltantes}}{\text{Unidades solicitadas}}$$

Para ver más definiciones de nivel de servicio, consulte Schroeder (1992).

- Inventario promedio; está compuesto por todos los componentes, trabajo en proceso y producto terminado. Por otro lado, el inventario de seguridad en un sistema logístico existe como protección contra la incertidumbre de la demanda y

el tiempo de entrega de los proveedores. En una forma simple, el inventario promedio basado en la política de inventario es el siguiente:

$$\text{Inventario promedio} = \frac{\text{Cantidad de pedido}}{2} + \text{Inventario de seguridad}$$

- Rotación de inventario; es la razón en la cual el inventario debe ser renovado en un periodo de tiempo. Se expresa así:

$$\text{Rotacion de inventario} = \frac{\text{Ventas totales}}{\text{Inventario promedio}}$$

De esta forma

$$\text{Dias de cobertura} = \frac{\text{numero de dias por periodo}}{\text{rotacion de inventario}}$$

La relación entre nivel de servicio e inventario promedio es fundamental, dado que el inventario promedio depende del nivel máximo de existencias que la política disponga, en este caso, cuando se considera demanda probabilística se debe integrar en la política el valor  $z$  para determinar el inventario de seguridad (suponiendo demanda distribuida normalmente), el cual está en función del nivel de servicio. Por tanto, a mayor nivel de servicio, el valor  $z$  de la distribución normal es mayor, ocasionando más requerimientos de inventario. “Debido a la relación altamente no lineal, es crucial para el administrador comparar la gráfica del nivel de servicio con la del nivel de inventario antes de establecer un nivel de servicio” (Schroeder, 1992, p. 478).

Otros conceptos importantes referidos a la toma de decisiones en la administración de los inventarios son:

- Sistemas de asignación (push). En este tipo de sistemas, el nivel superior decide cuáles productos se deben *empujar* al nivel inferior, en qué cantidad y en qué momento (USAID, 2011). Ballou afirmó que “este método es apropiado cuando las cantidades de producción o de compra exceden los requerimientos a corto

plazo de los inventarios a los que tienen que enviarse dichas cantidades” (Ballou, 2004, p. 340).

- Sistemas de requisición (pull). A diferencia del anterior, el nivel inferior pide los productos a medida que se consumen y los *jala* a través de la cadena de suministros (USAID, 2011). En este sistema el inventario es posicionado en pocas cantidades, según la demanda, en cada nivel de la cadena de suministros.

La diferencia fundamental entre los sistemas push y pull radica en quien toma las decisiones sobre el abastecimiento del inventario (centralizado o descentralizado), no en los datos que se utilizan, pues la información debe ser la misma en toda la cadena de suministros (USAID, 2011).

### **3.2. Sistema de clasificación de inventarios ABC - XYZ**

“La clasificación del inventario ayuda a concentrar y refinar los esfuerzos de administración del inventario” (Bowersox et al., 2007, p. 162). Mediante las técnicas de clasificación de inventario se agrupan los artículos con características similares, con el fin de definir estrategias para cada grupo, en lugar de artículos individuales. Una estrategia integrada por grupo puede incluir nivel de servicio diferenciado, técnicas y precisión de pronóstico, política de inventario, etc.

Existen diversas mediciones mediante las cuales se pueden clasificar los productos en un portafolio. Generalmente se utilizan las ventas, valor del inventario y margen de utilidad. Sin embargo, se puede diseñar un índice que pondere distintos factores, como los mencionados anteriormente. Por ejemplo, es posible ponderar las ventas y el margen de utilidad con el fin de clasificar los productos según el movimiento de las ventas, y a la vez su nivel de participación en la obtención de utilidades.

#### **3.2.1. Clasificación ABC**

“El sistema de clasificación ABC es un sistema de clasificación de los productos para fijarles un determinado nivel de control de existencias” (Guerrero, 2009, p. 20). Esta clasificación está basada en la *Ley de Pareto*, la cual dicta que una pequeña parte de los elementos representa un gran porcentaje del volumen. En general, el 20% de los

productos de un portafolio genera el 80% de las ventas en una empresa, aunque este principio también es aplicable en otras situaciones. Por ejemplo, el 80% de los problemas son ocasionados por el 20% de las causas, el 80% de los ingresos representa el 20% de los clientes, etc.

Guerrero (2009) define la clasificación de los productos según su importancia y valor de la siguiente forma:

- Tipo A. Los artículos de costo elevado, alta inversión en el inventario, nivel de utilización y aporte a las utilidades. Estos necesitan un nivel de control de sus existencias del 100%.
- Tipo B, Los productos con menor costo e importancia. Estos necesitan un menor grado de control.
- Tipo C. Los productos con un costo muy bajo, y con poco margen de utilidad. Estos artículos son de poca importancia en el proceso, y no requieren de una supervisión exhaustiva sobre el nivel de sus existencias. (p. 21)

Para obtener esta clasificación los artículos se deben ordenar en forma descendente según el parámetro de medición dispuesto, y luego seleccionarlos según los porcentajes acumulados asignados por el analista. No existe un valor fijo que divida cada categoría.

Mallick, Dutta y Das (2012) sugirieron que los artículos A no exceden el 10% de los productos del portafolio, y representan entre 70%-80% de las ventas totales. Los productos B son aproximadamente el 20% de los productos, y estos alcanzan entre el 15% al 20% de las ventas, y el resto de los productos son categorizados como tipo C. Sin embargo, otros autores obtienen esta clasificación mediante la identificación del 80% acumulado de contribución (tipo A), 15% (tipo B) y 5% (tipo c) (Ver: Errasti, Chackelson, & Santos, 2010; Bulinsky, Waszkiewicz, & Buraczewski, 2013; Krajčovič & Plinta, 2012).

Para esta investigación se agruparon los productos identificando el 80-15-5% acumulado de contribución, para clasificar los productos en A-B-C respectivamente, tal y como es sugerido por los autores referidos en el párrafo anterior.

### 3.2.2. Clasificación XYZ

El análisis XYZ generalmente es utilizado para clasificar los productos según su patrón de demanda. En conjunto con el análisis ABC sirven como herramienta para desarrollar una estrategia de administración de inventarios diferenciada por cada grupo. Esta clasificación también se utiliza para definir modelos de pronóstico a cada grupo.

Krajčovič & Plinta (2012) dividieron los productos de la siguiente forma:

- Tipo X. Productos con patrón de demanda estacionaria. Estos artículos son pronosticados de forma sencilla y precisa.
- Tipo Y. Estos productos tienen patrones de tendencia y estacionalidad, así como un patrón de demanda variable. Los pronósticos de estos artículos son menos precisos y más complicados que los anteriores.
- Tipo Z. La demanda de estos productos es intermitente. Estos artículos no pueden ser pronosticados con los métodos estadísticos usuales, sino por métodos específicos y complejos.

Errasti et al. (2010) utilizaron los mismos criterios para clasificar los productos, pero considerando también la desviación estándar de los datos. Gálvez (2017) sugirió una forma más sencilla de clasificar los productos utilizando el coeficiente de variabilidad<sup>3</sup>. Según dicho índice, los productos se clasifican: X, aquellos con una variación menor al 30%; Y, aquellos con una variación entre 30 y 60%; Z, con una variación mayor al 60%.

Existen diferentes enfoques en el cual se puede utilizar la clasificación XYZ. Bulinsky et al. (2013) clasificó los productos en XYZ según el nivel de ventas en unidades, de la mano con el análisis ABC, en el cual los productos son ordenados según su nivel de ingresos. Por su parte, Mallick et al. (2012) utilizaron la clasificación XYZ en base al costo del inventario almacenado, siendo los artículos X de alto valor, Y de mediano valor, y Z de muy bajo valor.

Se utilizó el enfoque de Gálvez (2017) en este estudio, pues considera la variabilidad presente en la demanda, de una forma más objetiva y cuantitativa. De la mano con el

---

<sup>3</sup>Ver formula en sección 2.4

análisis ABC, en la Tabla 1 se propone una matriz de nivel de servicio diferenciado de acuerdo a su clasificación ABC XYZ (Gálvez, 2017, p. 72):

Tabla 1. *Matriz de nivel de servicio por tipo ABC XYZ*

		Volumen de ventas		
		A (80%)	B (15%)	C (5%)
Variabilidad de demanda	ABC / XYZ			
	X (<30%)	Ax98%	Bx85%	Cx65%
	Y (30% y 60%)	Ay95%	By80%	Cy60%
Z (>60%)		Az90%	Bz75%	Cz0%

Fuente: (Gálvez, 2017, p. 72)

Gálvez (2017) también sugirió lo siguiente respecto a cada tipo de producto:

1. Ax. De mucha importancia y fácil predicción. Pronóstico estadístico y revisión.
2. Bx. Importantes y de fácil predicción. Pronóstico estadístico y revisión.
3. Ay – Az. Importantes, pero menos predecibles. Colaboración proactiva con área comercial y marketing.
4. By – Bz. Pronóstico estadístico y revisión. Colaboración con área comercial para los clientes más importantes.
5. Cx - Cy. Solo pronóstico estadístico. No necesitan revisión.
6. Cz. De poco valor para la empresa y no predecibles. Descontinuar o cambiar a status "bajo pedido".

### 3.3. Políticas de inventarios

La política de inventario en un sistema multinivel es de vital importancia para las empresas, pues a pesar que los inventarios son independientes entre localizaciones, al momento de evaluar la disponibilidad de inventario en el canal de suministros, se debe hacer de forma general. Para esto, Ballou (2004) sugirió utilizar el *sistema de control base*, el cual consiste en lo siguiente:

- Las decisiones de compra y punto de reorden en un nivel deben considerar el inventario en dicho nivel, más el inventario en los niveles inferiores. Por ejemplo, en el caso de un almacén central y cuatro minoristas, la decisión de compra del

almacén está basada en el inventario disponible a *nivel de almacén*, es decir, el inventario en el almacén más el inventario en los minoristas. (p. 371)

La fórmula para el inventario disponible en un sistema de control base es la siguiente:

$$\text{Inventario disponible} = \text{Inventario de escalon} + \text{inventario en transito}$$

Donde:

Inventario de escalón = Suma del inventario en todos los niveles

Inventario en tránsito = Existencias en tránsito (transportación) entre los niveles

- Los niveles superiores deben considerar la demanda final de los consumidores, y no los pedidos realizados por el nivel inferior inmediato, esto para evitar el efecto látigo<sup>4</sup>.

Pyke y Silver (2001) sostuvieron que las políticas de control de inventario utilizadas para demanda no-determinística basan sus decisiones en tres variables de decisión, estas son:

1. Cada cuánto revisar el nivel de inventario de un producto (revisión continua o periódica, y en este último caso, que intervalo de revisión),
2. Cuándo hacer un pedido, y
3. Cuánto pedir.

Las tres políticas de control de inventario más comunes son:

1. Revisión continua (s, Q). Se ordena una cantidad fija Q<sup>5</sup> cuando el inventario llega al punto de reorden o menos.
2. Revisión periódica (R, S). Cada R periodos de tiempo se ordena una cantidad tal para elevar el inventario al nivel máximo S.
3. Máximos y mínimos (R, s, S). Cada R periodos de tiempo se revisa el nivel de inventario. Si la posición del inventario es igual o menor al punto de reorden, se

---

<sup>4</sup>Ver definición en acápite 2.

<sup>5</sup>Generalmente basado en modelo EOQ, ver sección 3.1.

realiza un pedido tal para elevar el inventario al nivel máximo  $S$  (Pyke & Silver, 2001).

“Los modelos estándar de inventarios agregan valor a las organizaciones, sin embargo, en muchas ocasiones estos modelos deben ser modificados considerando las complejidades de cada empresa” (Pyke & Silver, 2001, p. 1).

Existe una amplia gama de modelos de inventarios basados en distintos parámetros que deben ser considerados (Pyke & Silver, 2001). “Aunque muchos de estos parámetros han sido modelados en la literatura, algunas veces se deben hacer modelos *a la medida* para resolver un problema de inventario único en una empresa dada” (Pyke & Silver, 2001, p. 14).

Los modelos que se estudiarán en las siguientes secciones son conocidos como *modelos probabilísticos*, pues parten del supuesto que la demanda es conocida mediante una distribución de probabilidad.

### **3.3.1. Cantidad económica de pedido**

“La cantidad económica de pedido (EOQ, del inglés *Economic Order Quantity*) fue desarrollado por Ford W. Harris en 1913, y fue una de las primeras investigaciones en modelos de inventarios” (Pyke & Silver, 2001, p. 5). Este modelo considera el equilibrio entre los costos de preparación de pedidos y los costos de almacenamiento del inventario al momento de sugerir el tamaño del pedido de reabastecimiento.

Schwarz (2008) afirmó:

[Que] el EOQ consiste en escoger la cantidad de pedido  $Q$  que minimice el costo promedio de administración del inventario en una unidad de tiempo -donde "tiempo" puede ser un año, un mes, o una semana- para un producto con demanda infinita a una tasa que nunca cambia. (p. 137-138)

Pyke y Silver (2001) afirmaron que el EOQ está basado en ciertas suposiciones muy rígidas, las cuales son:

- La tasa de demanda es constante y conocida.

- No hay restricciones en el tamaño del pedido.
- No hay descuentos por cantidad.
- Los costos no cambian considerablemente con el tiempo.
- Cada producto es independiente de los otros (no es posible la coordinación).
- El tiempo de entrega es conocido.
- El pedido completo es entregado todo a la vez.
- No se permite inexistencias.
- El horizonte de planeación es largo, por lo tanto, los parámetros conservarán su valor en el futuro.

Solo hay dos tipos de costos que son afectados por el tamaño del pedido de reabastecimiento (Q), los costos fijos de ordenar y los costos variables de mantener el inventario. La expresión matemática del EOQ y los costos totales anuales de esta política se presentan a continuación:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2BD_{anual}}{H}}$$

$$CTA = \frac{EOQ}{2}H + \frac{D}{EOQ}B$$

Donde:

CTA = Costo total anual

$D_{anual}$  =Demanda anual

B=Costo de hacer un pedido

H=Costo de almacenar una unidad en el inventario por un año

La primera parte de la fórmula de costo total anual expresa el costo de mantener un nivel de inventario promedio expresado anualmente, la segunda parte es el costo anual de pedir.

Si bien es cierto, las suposiciones bajo las que trabajo este modelo son bien restrictivas, este modelo sigue jugando un papel fundamental en la gestión de inventarios por dos razones: (1) los costos tienden a ser insensibles a algunas de las suposiciones; (2) muchas de las suposiciones pueden ser ajustadas, llevando a resultados más complejos. (Pyke & Silver, 2001, p. 5)

Arango et al. (s.f.) sostuvieron que el EOQ requiere una revisión en sus postulados iniciales, pues las cadenas de suministros, la tecnología y las comunicaciones están cambiando la forma en cómo se administran los inventarios, muchas veces los costos de pedir tienden a cero (pedidos online o vía telefónica), y los costos de inventario han aumentado por las limitaciones de espacio y riesgos de obsolescencia de la mercancía.

El EOQ presenta un buen desempeño ante las incertidumbres de los parámetros del modelo. Por lo general, el costo asociado a los errores en la estimación del tamaño del pedido no es relevante. Sin embargo, cuando se manejan miles de productos, este error de estimación se amplía en gran medida. (Gaither & Frazier, 2000, pp. 384-385)

El supuesto de que cada producto es independiente de los otros es otro postulado irreal de la política EOQ. En palabras de Chopra y Meindl (2008): el reabastecimiento agregado de productos, minoristas o proveedores en un solo pedido permite una reducción en el tamaño del lote de productos individuales, dado que los costos fijos de ordenar y de transporte se reparten entre varios productos, minoristas o proveedores.

La aplicabilidad de este modelo en una u otra situación se define a criterio del evaluador, y las circunstancias propias de la empresa. O bien, en palabras de Ford Harris, el creador de la fórmula de EOQ, "Esto es un asunto que demanda, en cada caso, un juicio experto, para el cual no hay sustituto" (como se citó en Schwarz, 2008, p. 137).

#### **3.3.1.1. Punto de reorden**

El modelo EOQ supone que la demanda es constante y conocida, una suposición muy irreal. Sin embargo, este puede ser flexibilizado para trabajar con demanda desconocida, pero explicada mediante una distribución de probabilidad.

El *punto de reorden* se utiliza como referencia para determinar el momento y la cantidad del pedido en una política (s,Q). Dada la incertidumbre de la demanda, es necesario adicionar un *inventario de seguridad*, el cual sirve como protección ante los cambios abruptos y repentinos de la demanda durante el tiempo de entrega.

El cálculo del inventario de seguridad considera la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega. [Para estudiar el procedimiento de cálculo del inventario de seguridad y la desviación estándar durante el tiempo de entrega ver Ballou, 2004, pp. 349-350]. El inventario de seguridad está determinado por lo siguiente:

$$SS = Z\sigma_{LT}$$

$$\sigma_{LT} = \sigma\sqrt{LT}$$

Donde:

SS = Inventario de seguridad

Z = Valor Z de la distribución normal<sup>6</sup>

$\sigma$  = Desviación estándar de la demanda

$\sigma_{LT}$  = Desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega

LT = Tiempo de entrega

El cálculo del punto de reorden se deriva de la siguiente fórmula matemática:

$$s = (D \times LT) + SS$$

Donde:

s = punto de reorden (nivel mínimo)

D = Demanda promedio o pronóstico

Se debe considerar que la demanda, la desviación estándar y el tiempo de entrega, deben estar en las mismas unidades. Por ejemplo, si la demanda está expresada en

---

<sup>6</sup>Número de desviaciones estándar desde la media de la distribución de demanda durante el tiempo de entrega, para dar la probabilidad de nivel de servicio deseado.

semanas, de igual forma la desviación estándar y el tiempo de entrega deberán estar reflejados en semanas.

La política de revisión continua generalmente está basada en un punto de reorden y un tamaño de pedido determinado por el EOQ, u otras restricciones (i.e. tamaño de contenedor, tamaño de lotes definidos, pedido mínimo / máximo). Existen otros modelos probabilísticos que consideran tiempos de entrega y demanda variables [ver (Heizer & Render, 2017, pág. 82)].

### **3.3.2. Política de revisión periódica**

En este modelo los pedidos son liberados al final de un determinado periodo. Según el inventario disponible, al final de dicho periodo se arroja un pedido suficiente para elevar las existencias hasta un punto máximo.

Este sistema también tiene varios supuestos mencionados en el modelo EOQ, los cuales son:

- Costos de ordenar y de almacenar son los únicos costos relevantes.
- Tiempo de entrega conocido y constante.
- Los artículos son independientes entre sí. (Heizer & Render, 2017, p. 85)

Este sistema es diferente del sistema de revisión continua pues: (1) el intervalo de revisión es fijo, no así el tamaño del pedido, el cual es variable; (2) no existe un punto de reorden, sino un inventario máximo y (3) el tamaño del pedido no está basado en una cantidad económica, sino en la demanda.

Se puede utilizar el EOQ para determinar un período de revisión óptimo, el cual se determina de la siguiente forma:

$$R = \frac{EOQ}{D}$$

Donde:

R = Periodo de revisión

El nivel de inventario máximo se puede fijar según un nivel de servicio especificado. En el sistema de revisión periódica los niveles de inventario máximo y de seguridad se fijan para cubrir la demanda en el periodo de revisión (R) más el tiempo de entrega (LT), esto pues el inventario no será relleno sino hasta el siguiente periodo de revisión. El inventario máximo es el siguiente:

$$S = D (R + LT) + SS$$

Donde el inventario de seguridad es así:

$$SS = Z\sigma_{R+LT}$$

$$\sigma_{R+LT} = \sigma\sqrt{R + LT}$$

Donde:

S = Nivel máximo

$\sigma_{R+LT}$  = Desviación estándar durante el periodo de revisión y tiempo de entrega

El sistema de revisión periódica necesita más inventario de seguridad que el sistema de revisión continua para un mismo de nivel de servicio. Esto es porque el primero debe garantizar el cumplimiento de la demanda en un periodo R + LT, en cambio el ultimo solo debe garantizarlo en el periodo LT. (Schroeder, 1992, pág. 475)

### 3.3.3. Política de máximos y mínimos

“Una política de inventarios máximos y mínimos es aquella que garantiza que la posición de las existencias este dentro de un rango establecido” (USAID, 2011, p. 56).

Por su parte, la USAID (2011) sugirió tres tipos de políticas máximos y mínimos: (1) sistema de pedidos forzados máximos y mínimos; (2) sistema de reabastecimiento continuo máximo y mínimo y (3) sistema de pedidos estándar máximo y mínimo. Los dos primeros no serán abordados en esta sección, pues son similares a la política de revisión periódica (1) y la política de revisión continua (2) estudiadas anteriormente [ver USAID,

2011, pp. 57-63]. El sistema de pedidos estándar máximo y mínimo será estudiado en la siguiente sección.

### **3.3.3.1. Política de pedidos estándar máximo y mínimo**

Este sistema, en teoría, es el más eficiente, pues es una combinación de los sistemas de pedido forzado (revisión periódica) y reabastecimiento continuo (revisión continua) y, por tanto, comparte la ventaja de ambas políticas. Sin embargo, también comparte sus desventajas (USAID, 2011).

Este modelo de máximos y mínimos es útil cuando los costos de revisar y ordenar son muy grandes y evita la colocación de pedidos muy pequeños, pues el inventario es revisado cada  $R$  periodos, pero solo se coloca una orden si la posición de inventario está por debajo de un nivel mínimo (Gaither & Frazier, 2000).

En este sistema, la regla de decisión es que la posición del inventario es revisada periódicamente y la orden es puesta únicamente si el inventario está por debajo del nivel mínimo. La USAID (2011) también sugirió utilizar un *punto de pedido de emergencia*, pues en raras ocasiones el inventario puede caer a niveles muy bajos antes de llegar al siguiente ciclo de abastecimiento. Este enfoque pragmático es utilizado para evitar faltantes y poder tener menores niveles de existencia de seguridad (Gaither & Frazier, 2000).

A su vez, la USAID (2011) propuso un enfoque *no - estadístico* para la determinación del inventario de seguridad, pues este debe ser mayor o igual a la mitad de la demanda durante el periodo de revisión. La fórmula sugerida es la siguiente:

$$SS \geq \frac{1}{2} (D \times R)$$

Respecto a este enfoque, Vidal et al. (2011) escribieron: "Es un error conceptual grave, por lo tanto, definir inventarios de seguridad de los productos proporcionalmente a su demanda promedio en forma exclusiva [...]" (p. 37).

La incorporación de la desviación estándar para representar la variabilidad de la demanda optimizará el cálculo del inventario de seguridad en esta política, debido a que

“la política de máximos y mínimos es un híbrido entre los sistemas de revisión periódica y de revisión continua, las reglas de decisión de ambas políticas son utilizadas” (Schroeder, 1992, pág. 476). Por lo tanto, se puede utilizar la fórmula de inventario de seguridad de la política de revisión periódica la cual considera la desviación estándar de la demanda. [Ver fórmula de SS en sección 3.3.2]

Las reglas de decisión de la política de pedidos estándar máximo y mínimo propuesta por la USAID (2011) están basadas en las siguientes fórmulas:

$$s = D (R + LT) + SS$$

$$S = (D \times R) + s$$

$$PPE = D \times LT_{emergencia}$$

Donde:

s = Nivel mínimo (punto de reorden)

S = Nivel máximo

PPE = Punto de pedido de emergencia

LT<sub>emergencia</sub> = Tiempo de entrega de emergencia

### **3.3.4. Ventajas y desventajas de las políticas de inventario**

La decisión de qué política de inventario implementar está en dependencia de las características propias de cada operación. Para esto, la Tabla 2 presenta un compendio de ventajas y desventajas de las políticas de inventario estudiadas en las secciones anteriores.

El modelo EOQ utilizado en la política de revisión continua es uno de los modelos más robustos en la administración de inventarios. Sin embargo, las desventajas que este presenta ante sistemas con miles de productos y abastecimientos programados lo hacen poco útil para esta investigación. Además, en un sistema logístico con seis puntos de venta, un centro de distribución y más de 2300 artículos, la revisión de la posición del inventario después de cada transacción se torna muy compleja e inviable.

La política de revisión periódica es más apropiada para la operación estudiada en este trabajo. No obstante, esta política aporta complejidad al proceso de abastecimiento, pues una gran cantidad de artículos generarán pedidos, aun cuando este sea de una u dos unidades. Debido a la facilidad con la que esta política permite pedidos pequeños, esta opción no es la mejor según las características de la empresa.

Tabla 2. *Ventajas y desventajas de las políticas de inventario*

<b>Política</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
	- Menores niveles generales de inventario.	- La posición del inventario debe ser monitoreada en cada transacción.
Revisión continua	- Mayor control y rentabilidad para manejar artículos de alto valor.	- Limitaciones para la planificación del transporte y distribución.
	-No se generan pedidos pequeños, pues el inventario está en el nivel mínimo.	- Poca utilidad en portafolios con cientos de productos.
	- Permite la planificación del transporte y la distribución.	- Cantidades de envío muy pequeñas.
Revisión periódica	- Permite consolidación de pedidos.	- Poca utilidad en portafolios con cientos de productos.
	- Hay una orden de reabastecimiento al final de cada periodo de revisión.	-Más inventario que la política de revisión continua.
	- Muy útil en el abastecimiento de portafolios con cientos de productos.	- Más inventario que las demás políticas.
Máximos y mínimos	- Permite la planificación del transporte y la distribución.	
	-No se generan pedidos pequeños, pues el inventario está en el nivel mínimo.	- Requiere más capacidad de almacenamiento que las demás políticas.
	- Permite consolidación de pedidos.	

Fuente: (USAID, 2011; Schroeder, 1992)

Otras ventajas y desventajas de las políticas de inventario estudiadas se pueden ver en Krajewski, Ritzman, & Malhotra (2008, pp. 488-489).

La política de máximos y mínimos resulta atractiva cuando los costos de revisión y de pedir son significativos (Krajewski et al., 2008). También en esta investigación se utilizó la política de máximos y mínimos sugerida por la USAID (2011). A pesar de que esta política ocasiona mayores niveles de inventario, el manejo de un portafolio amplio de productos, la consolidación de pedidos y planificación del transporte y la distribución en un sistema con seis sucursales hacen de esta política la más apropiada a ser considerada en esta investigación. Sin embargo, se comprobó el desempeño de esta política de acuerdo a las métricas propuestas para la investigación.

#### **4. Simulación**

La simulación es el intento de reproducir los rasgos, aspecto y características de un sistema real. La idea sobre la que se basa la simulación es: (1) imitar, con una representación matemática, una situación del mundo real; (2) estudiar sus propiedades y características operativas, y (3) finalmente, sacar conclusiones y tomar decisiones de acción basadas en los resultados de la simulación. (Heizer & Render, 2017, pp. 458-459)

Asimismo, Kelton, Sadowski y Sturrock (2008) sugirieron una serie de pasos clave a llevar a cabo en un estudio de simulación:

1. Formulación del problema. Es importante que antes de iniciar un estudio de simulación se defina el problema. También deben formularse las métricas de desempeño para medir la calidad del sistema estudiado y el éxito del estudio.
2. Metodología de solución. Se deben considerar las metodologías de solución que aporten a alcanzar el objetivo. No siempre la simulación es la mejor opción, sin embargo, suponiendo que la mejor metodología para resolver el problema es la simulación, se pueden seguir los pasos siguientes.
3. Especificación del sistema y la simulación. Se define el contexto en que se desarrolla el problema, los objetivos de la simulación, una descripción del sistema en estudio y definición de cualquier entidad relacionada con el modelo de simulación.

4. Formulación y construcción del modelo. Se diseña el modelo, qué tipo de datos se utilizarán, y la construcción de un prototipo.
5. Verificación y validación. Este es un paso importante en un estudio de simulación, primero el modelo se debe verificar para luego ser validado. La verificación es asegurarse de que el modelo funciona como se planeó. La validación es asegurarse que el modelo se comporta de igual forma que el sistema real.
6. Experimentación y análisis. Los resultados de la simulación son analizados y es medido el desempeño del sistema.
7. Presentación y conservación de resultados. Se diseña un reporte con los resultados y demás aspectos importantes relacionados al estudio de simulación.
8. Difusión del modelo. El modelo, ya sea desarrollado en un software o en una hoja electrónica, es entregado a las partes interesadas de la organización.

#### **4.1. Análisis de datos de entrada para el modelo de simulación**

Antes de diseñar un modelo de simulación, se debe determinar la lógica y los parámetros matemáticos necesarios para que dicho modelo arroje los resultados esperados. A estos procedimientos Kelton et al. (2008) los define como modelación estructural y modelación cuantitativa, respectivamente.

Para la modelación cuantitativa se debe decidir qué tipo de datos de entrada alimentaran al sistema y como recopilarlos, en caso no se tengan históricos. La elección fundamental reside en si utilizar los datos directamente o ajustar una distribución de probabilidad a dichos datos. La desventaja de una u otra opción es que, si se usan datos históricos, los valores de entrada serán los mismos que ya se han registrado en el pasado, pero con una distribución de probabilidad pueden generarse valores que no son posibles para el sistema real (Kelton et al, 2008, pág. 175-176).

En caso que el analista de simulación decida utilizar una distribución de probabilidad, una herramienta eficaz para determinar un mejor ajuste de los datos se encuentra en Arena®, esta se llama *analizador de datos de entrada* (input analyzer). En este se estiman los parámetros de distribución y las medidas de que tan bien se ajusta la distribución a los datos.

Las distribuciones de probabilidad se clasifican en teóricas y empíricas. Las primeras están basadas en una fórmula matemática, ejemplo de estas son la exponencial, normal, gamma, etc. Las empíricas fraccionan los datos reales en grupos y estiman la proporción de valores en cada grupo. Así mismo, estas se subdividen en continuas y discretas. Las distribuciones teóricas continuas pueden regresar cualquier valor real, en cambio las distribuciones teóricas discretas solo pueden regresar cantidades en valores enteros. Las empíricas continuas utilizan las probabilidades y rangos de valores para regresar una cantidad real, usualmente interpolando para obtener mayor precisión. En cambio, las empíricas discretas regresan solo valores de datos de ellos mismos, usando las probabilidades de escoger entre los valores individuales (Kelton et al, 2008, pág. 176-177).

Se debe decidir si utilizar distribuciones teóricas o empíricas. La herramienta input analyzer utiliza dos pruebas estadísticas (chi-cuadrada y kolmogorov-Smirnov). Aunque no existe un enfoque riguroso para clasificar las distribuciones, se pueden utilizar los resultados de estas dos pruebas estadísticas. En general, si los valores de P son mayores a 0.10, entonces se puede utilizar una distribución teórica y tener confianza que esta representa correctamente los datos. A excepción que la muestra contenga pocos datos, en cuyo caso las pruebas de bondad de ajuste darán resultados erróneos. [Para más factores de decisión ver Kelton et al. (2008, pág. 181-182)]

## **4.2. Simulación de Monte Carlo**

El *método de Monte Carlo* es una herramienta de simulación utilizada cuando un sistema contiene elementos aleatorios en su comportamiento. Este consiste básicamente en la experimentación sobre elementos probabilísticos mediante un muestreo aleatorio (Heizer & Render, 2017).

Al respecto, Heizer y Render (2017) describe los pasos genéricos que componen el método de Monte Carlo:

1. Establecer una distribución de probabilidad para las variables de estudio.
2. Construir una distribución de probabilidad acumulada para cada variable.
3. Establecer un intervalo de números aleatorios (equiprobables) para cada variable.

4. Generar números aleatorios.
5. Simular el experimento.

Los estudios de Monte Carlo pueden ser realizados a través de softwares que generan automáticamente distribuciones de probabilidad y números aleatorios, simulando el sistema en estudio. Un software comúnmente utilizado es ARENA®. Sin embargo, si el estudio es realizado mediante una hoja electrónica, los pasos descritos anteriormente son llevados a cabo manualmente por el analista de simulación. El software Arena® se utilizó en esta investigación para simular la política de pedidos estándar máximos y mínimos y evaluar su desempeño según los parámetros de nivel de servicio y rotación de inventarios.

### **4.3. Optimización del modelo de simulación**

Un modelo de simulación diseñado en Arena® puede encontrar un escenario óptimo mediante la herramienta OptQuest®. De acuerdo a Kelton et al. (2008), dicho paquete de optimización utiliza técnicas meta-heurísticas como *búsqueda tabú* y *búsqueda dispersa*, entre otras.

"La heurística se refiere a una técnica, método o procedimiento inteligente de realizar una tarea que no es producto de un riguroso análisis formal, sino de conocimiento experto sobre la tarea" (Restrepo & Cruz & Medina, 2007, pág. 82). Los métodos heurísticos ofrecen una buena solución, pero no necesariamente un óptimo. Pues este generalmente es difícil de encontrar según las características del problema, los recursos invertidos y la calidad esperada de la solución.

Restrepo et al. (2007) definen a la técnica búsqueda dispersa como un método meta heurístico que opera sobre un grupo de soluciones, llamadas conjunto de referencia, combinándolas para crear nuevas soluciones, mejorando a las que las originaron. Este conjunto de referencia almacena las mejores soluciones a medida que se van encontrando en el proceso de búsqueda. Por otro lado, también definen la búsqueda tabú como un método meta heurístico que se utiliza para guiar un algoritmo de búsqueda local para explorar el espacio de soluciones más allá de la optimalidad local. Las

estrategias que utiliza la búsqueda tabú para resolver los problemas deben tener memoria adaptativa, con base en procedimientos de aprendizaje.

Utilizando meta heurística se pueden encontrar valores óptimos o muy cercanos al óptimo para los niveles máximos y mínimos, dada una distribución de demanda. Este procedimiento puede aumentar o reducir los niveles propuestos por la política, con el fin de encontrar un valor que optimice el nivel de servicio y la rotación de los inventarios. El paquete OptQuest® fue utilizado en esta investigación para encontrar valores óptimos de los niveles de inventario y compararlos con los propuestos por la política de pedidos estándar máximos y mínimos.

## VI. Planteamiento de hipótesis

Según Hernández (2010, pág. 92) no en todas las investigaciones cuantitativas se debe plantear hipótesis, pues esto depende del alcance inicial de dicha investigación. Para el caso de este estudio es válido pensar en una hipótesis, ya que no se puede aseverar en su totalidad la efectividad del método propuesto para dar solución al problema de investigación.

Alcance del estudio	Formulación de hipótesis
Exploratorio	No se formulan hipótesis.
Descriptivo	Sólo se formulan hipótesis cuando se pronostica un hecho o dato.
Correlacional	Se formulan hipótesis correlacionales.
Explicativo	Se formulan hipótesis causales.

Figura 4. Formulación de hipótesis en estudios cuantitativos con diferentes alcances

Fuente:(Hernández, 2010)

En este estudio se trabajó con tres hipótesis de investigación para un alcance descriptivo como se plantea en el marco metodológico, con lo cual se pretende formular un pronóstico de un hecho o valor según se muestra en la Figura 4. A continuación, se muestran las hipótesis de investigación planteadas:

H<sub>1</sub>: La propuesta de política de inventarios de pedidos estándar máximos y mínimos garantiza un nivel de servicio mínimo del 95%.

H<sub>2</sub>: La propuesta de política de inventarios de pedidos estándar máximos y mínimos en las sucursales origina aproximadamente cinco días de cobertura de inventario.

H<sub>3</sub>: La propuesta de política de inventarios de pedidos estándar máximos y mínimos en el centro de distribución origina aproximadamente 27 días de cobertura de inventario.

## **VII. Marco metodológico**

### **1. Tipo de investigación**

El enfoque seleccionado para esta investigación fue de tipo cuantitativo, puesto que se pretende estudiar una serie de variables con el propósito de cuantificar los indicadores seleccionados como objetos de este estudio. Se utilizó la recolección y análisis de datos para dar respuesta a las preguntas de investigación previamente definidas y se aplicaron herramientas estadísticas con el fin de obtener información numérica confiable.

### **2. Diseño de la investigación**

El diseño se refiere al plan o estrategia que se aplicará para obtener la información que se desea conocer. El que se utilizó en este trabajo es el estudio de caso, el cual, de acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2010) se define como “estudios que al utilizar los procesos de investigación cuantitativa, cualitativa o mixta; analizan profundamente una unidad para responder al planteamiento del problema, probar hipótesis y desarrollar alguna teoría” (p.163).

Los diseños para los estudios de caso pueden ser experimentales o no experimentales. En este estudio se empleó un diseño no experimental, de carácter descriptivo y transeccional.

La investigación no experimental es sistemática y empírica. En ella, las variables independientes no se manipulan, porque ya han sucedido. Las inferencias de las relaciones entre las variables se realizan sin intervención o influencia directa, y se observan tal y como se han dado en su comportamiento habitual. Según Hernández, Fernández y Baptista (2010).

Podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no se hace variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que se hace en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos. (p. 149)

Por otro lado, “los diseños de investigación transeccionales o transversales, son aquellos que se realizan en un tiempo único, y su propósito es recolectar y evaluar datos en un solo momento” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010, p. 154). No así los longitudinales, los cuales se caracterizan por la recolección de datos en diferentes momentos a lo largo de la investigación para obtener resultados.

Adicionalmente, la investigación descriptiva consiste en la recopilación de datos que describen los acontecimientos y luego organiza, tabula, representa y describe dichos datos. Esta es excepcional en el número de variables estudiadas. Al igual que otros tipos de investigación, la investigación descriptiva puede incluir múltiples variables para el análisis, sin embargo, a diferencia de otros métodos, requiere de una sola variable (Abreu, 2012). La investigación descriptiva puede presentar la información resumen del estudio en una sola variable (Abreu, 2012).

### **3. Unidad de análisis**

La unidad de análisis del estudio está conformada por el centro de distribución y las seis sucursales de Los Paisas S.A., en específico fueron analizados los registros de ventas de un producto seleccionado para este trabajo, bajo los criterios de selección mostrados en el acápite *Recolección y análisis de datos* del presente capítulo.

El tipo de muestra de esta investigación es no probabilístico o dirigido, ya que no requiere que el tamaño de la muestra sea estadísticamente representativo de la población, sino que va dirigido hacia ciertas unidades o casos con un propósito específico. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010, p. 176)

## 4. Recolección y análisis de datos

### a. Operacionalización de variables

OBJETIVO ESPECÍFICO	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	SUB VARIABLE	INDICADOR	FUENTE DE INFORMACIÓN	MÉTODO	TÉCNICA/INSTRUMENTO
Conocer la importancia de los productos según los registros de ventas, mediante el uso de la técnica de clasificación ABC	Ventas	Proceso personal o impersonal por el que el vendedor comprueba, activa y satisface las necesidades del comprador para el mutuo y continuo beneficio de ambos. (American Marketing Association)	Clasificación de productos según registro de ventas	Jerarquía de productos según ventas (ABC)	Registro histórico de ventas de productos activos en el portafolio	Análisis documental	Análisis ABC
Determinar el pronóstico de ventas a través de un modelo que se ajuste al comportamiento histórico de los datos	Pronóstico	Predicción de acontecimientos futuros que se utilizan con propósitos de planificación. (Administración de operaciones Krajewski 2008)	Error de pronóstico	Mean absolute percentage error	Registro histórico de ventas	Análisis documental	Suavizamiento exponencial simple S.E. con ajuste tendencial Regresión lineal Regresión exponencial Regresión potencial
				Mean percentage error			
				Forecast accuracy			
Diseñar una política de administración de inventarios que garantice un abastecimiento apropiado a las necesidades de la empresa	Sistema de administración de inventarios	Conjunto de políticas y controles que vigilan los niveles de inventario y determinan aquellos a mantener, el momento en que es necesario reabastecer, y de que tamaño debe ser el pedido. (Administración de operaciones Chase 2009)	Nivel de inventario	Nivel máximo	Pronóstico, registros de ventas y reporte de existencias de inventario	Análisis documental	Fórmula nivel máximo de inventario
				Nivel mínimo			Fórmula nivel mínimo de inventario
				Punto de emergencia			Fórmula punto de pedido de emergencia
Evaluar el desempeño del sistema de administración de inventarios propuesto mediante los indicadores de nivel de servicio y rotación de inventario	Desempeño	La ejecución o realización de un trabajo. (TheFreeDictionary.com / Performance definition)	Desempeño del sistema de administración de inventarios	Nivel de servicio	Nivel máximo y mínimo de inventario, punto de pedido de emergencia y registros de ventas	Análisis documental	Input analyzer Simulación con Arena Meta heurística con OptQuest
				Rotación de inventario			

## **b. Análisis de datos**

En esta sección se describe el procedimiento a seguir para el desarrollo de este estudio. Para mayor comprensión se desglosan los pasos por cada objetivo específico, sin embargo, al final de la explicación textual de la metodología se muestra en la Figura 5 un diagrama de flujo resumiendo puntualmente los pasos para llevar a cabo la investigación.

- Conocer la importancia de los productos según los registros de ventas, mediante el uso de la técnica de clasificación ABC.
  1. Se preparó la información histórica a ser utilizada (12 meses) para obtener la clasificación ABC.
  2. Se obtuvo el volumen total de ventas del histórico disponible por ítem y se ordenó de mayor a menor.
  3. Se clasificó por tipo ABC. (Ver sección 3.2.1 de marco teórico)

Cabe destacar que este objetivo se realizó con la intención de seleccionar el producto más importante del portafolio, el cual será la unidad de estudio para este trabajo, tanto para el análisis de las seis sucursales como para el centro de distribución.

- Determinar el pronóstico de ventas a través de un modelo que se ajuste al comportamiento histórico de los datos.
  1. Formulación del problema: se tomaron dos etapas de la cadena de suministros de la empresa, las seis sucursales y el centro de distribución. Los datos necesarios son el histórico de ventas (por un periodo de 24 meses equivalentes a dos años) por sucursal. Teniendo claro cuál es la información necesaria se procedió a la recolección de datos.
  2. Manipulación y limpieza de datos: antes de aplicar el modelo de pronóstico, se realizó un proceso de limpieza y ajuste de los datos del registro histórico. (Ver sección 2.4 de marco teórico)

3. Construcción y evaluación del modelo: una vez ajustados los datos recolectados, se seleccionó un modelo de pronósticos que se ajuste lo mejor posible al comportamiento histórico bajo el criterio de error de pronóstico.
  4. Se generó el pronóstico N+1 para el siguiente periodo equivalente a un mes.
- Diseñar una política de administración de inventarios que garantice un abastecimiento apropiado a las necesidades de la empresa.
    1. Definición de los parámetros logísticos: este paso consistió en definir los factores propios de la red logística de la empresa, entre ellos se encuentran el *lead time* (tiempo de entrega) y la frecuencia con que se verifica el nivel de existencias del inventario (tiempo de revisión).
    2. Con la información histórica de ventas, una vez aplicada la limpieza (ver paso dos del objetivo anterior), se calculó el coeficiente de variabilidad por ítem. (Ver fórmula en sección 2.4 de marco teórico)
    3. Se clasificó el producto por tipo XYZ y se definió el nivel de servicio según clasificación ABC XYZ. (Ver Tabla 1 en sección 3.2.2 de marco teórico)
    4. Cálculo de inventario de seguridad: una vez adquirida la información arrojada por los pasos anteriores, se procedió al cálculo del inventario de seguridad. (Ver fórmula en sección 3.3.2 de marco teórico)
    5. Se realizaron cálculos de los niveles de inventario mínimo, máximo y punto de pedido de emergencia. (Ver fórmulas en sección 3.3.3.1 de marco teórico)
  - Evaluar el desempeño del sistema de administración de inventarios propuesto mediante los indicadores de nivel de servicio y rotación de inventario.
    1. Formulación del problema: se analizó a profundidad la situación que se pretendía simular, en este paso se conocieron los datos necesarios del entorno para la construcción del proceso de simulación.
    2. Especificación del sistema y la simulación: en esta etapa se pretende acoplar la simulación con el entorno real o el sistema, es decir, la capacidad de definir las características de la operación real (*lead time*, tiempo entre revisión de inventario,

niveles máximos y mínimos de inventario, estrategia de distribución, etc.) y adaptarlas correctamente en el proceso de simulación. La importancia de este paso reside en el diseño eficiente del modelo y el cumplimiento de los objetivos.

3. Construcción del modelo: una vez que se tuvieron claro que se necesitaba simular y se hayan considerado todas las características inherentes del sistema, se construyó el modelo de simulación.
4. Verificación y validación del modelo: referente a la verificación, se aseguró el correcto comportamiento del modelo tal cual se diseñó, en esta etapa se corrigieron aquellos errores de construcción que impidan el funcionamiento del mismo. Una vez culminado el proceso de verificación se realizó la validación, para este paso se compararon los resultados del modelo con los del sistema, para así asegurar que estos sean lógicos y concuerden con el sistema real.
5. Optimización de políticas de inventario: este paso estuvo dedicado a la obtención de una política de inventario optimizada mediante el uso de herramientas meta heurísticas, comparando la propuesta de la política de máximos y mínimos con la óptima sugerida por la herramienta OptQuest®.
6. Reporte de resultados: en esta etapa se expuso el desempeño del modelo de inventario a través de los indicadores de nivel de servicio e índice de rotación de inventario, aquí se decidió si los resultados obtenidos satisfacen las necesidades de la cadena de suministro de la empresa.

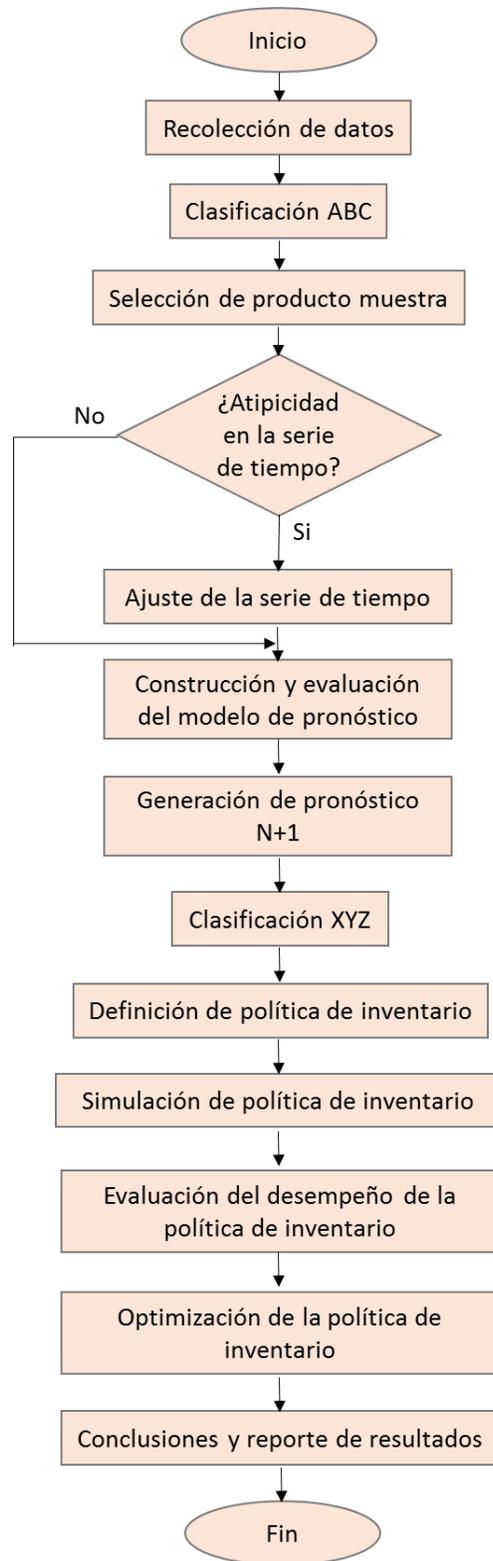


Figura 5. Metodología desarrollada en esta investigación

# *Capítulo 1*

## **Clasificación ABC y selección de muestra de análisis**

**L**a clasificación ABC es una técnica útil en la administración de inventarios, utilizada con el fin de concentrar acciones en la línea de productos que aportan el mayor beneficio a la compañía. Basada en el principio de Pareto, su facilidad de aplicación le ha permitido ser una de las herramientas uso para la toma de decisiones gerenciales y operativas.

El éxito en la reducción de costos y optimización del inventario radica en aprovechar al máximo los esfuerzos de la gerencia. A través de la clasificación ABC se logra este objetivo, además de garantizar la identificación de los puntos claves en el inventario, lo cual garantiza un adecuado manejo de los productos rentables y con mayor posicionamiento en el mercado.

*"Hay una forma de hacerlo mejor -  
encuétrala."*

*Thomas Edison*

## 1. Aplicación de la técnica ABC

En este capítulo se clasificó por el método de ABC el portafolio de productos activos de la empresa, con un total de 2169 ítems. Para la construcción de estos datos se siguieron los pasos planteados anteriormente. (Ver sección 4.b de marco metodológico)

La agrupación de productos está regida por la contribución acumulada de cada uno de ellos (Ver sección 3.2.1 de marco teórico), para este procedimiento se trabajó con las ventas totales de la empresa en unidades en un periodo de 12 meses. En la Tabla 3 y la Figura 6 se presenta el resumen de resultados:

Clasificación	Artículos	Porcentaje del total	Venta anual en unidades	Contribución a las ventas
A	511	24%	9405225	80%
B	615	28%	1761336	15%
C	1043	48%	587710	5%

Tabla 3. Resumen de clasificación ABC

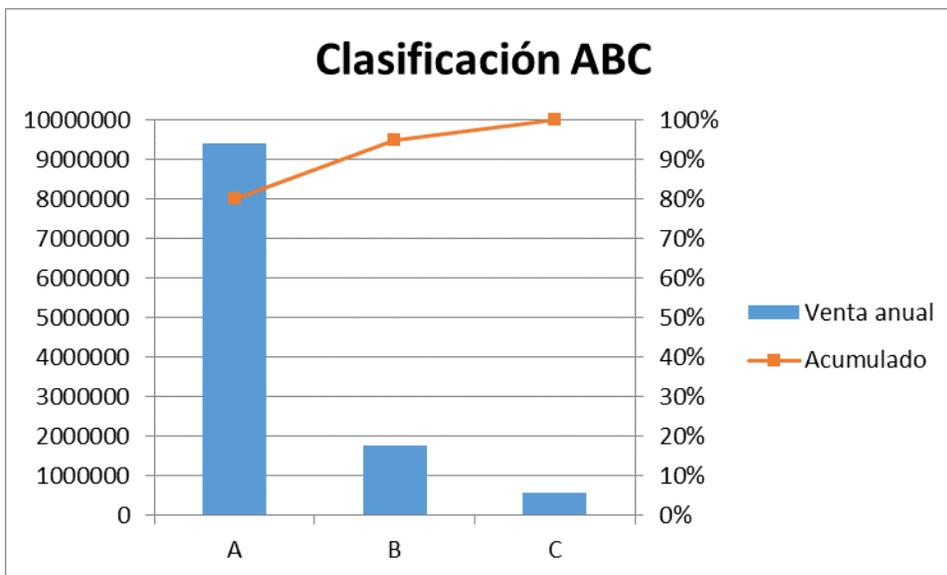


Figura 6. Gráfico de la regla 80-20 para la clasificación ABC

Fuente: elaboración propia

## 2. Selección de la muestra de análisis

Como se menciona en el marco metodológico, el objetivo principal de esta clasificación es seleccionar como unidad de análisis el producto de mayor importancia a nivel global de la empresa bajo el criterio de ventas en unidades. Por temas de confidencialidad de los datos internos de la empresa, el nombre de este producto fue omitido, por lo cual se trabajó con el código del sistema ERP, además, en la Tabla 4 se muestran las generalidades de dicho producto:

<b>Código ERP</b>	735549000111
<b>Forma farmacéutica</b>	Ungüento
<b>Compuesto activo</b>	Alcanfor, mentol, trementina rectificada, eucalipto
<b>Acción terapéutica</b>	Analgésico, antiinflamatorio, anti-resfríos
<b>Presentación</b>	Unidad de 30 g

Tabla 4. *Generalidades de unidad de análisis*

Fuente: elaboración propia

Existen situaciones en las que un artículo puede variar su clasificación entre un punto de venta y otro. Aunque los productos tipo A generalmente presentan homogeneidad en su demanda en las sucursales, suelen generarse excepciones las que una marca o línea de productos tenga mayor posicionamiento en un establecimiento que en otro. En el caso de la unidad de análisis de esta investigación, se muestra una estabilidad en su clasificación en todos los puntos de venta, manteniendo su demanda como producto A.

# Capítulo 2

## Determinación del pronóstico de ventas

**E**l pronóstico es una predicción de lo que sucederá en el futuro basado en lo ocurrido en el pasado, en el campo empresarial por lo general son dedicados a predecir demandas, lo cual permite estimar la inversión a realizar para solventar el consumo en un futuro cercano o mediano.

Difícilmente un pronóstico sea idéntico a la realidad, pero es de vital importancia tomar en cuenta todos los componentes de la situación a pronosticar para disminuir la incertidumbre de dicho pronóstico.

A la hora de realizar una proyección de ventas, es ineludible la presencia del personal involucrado (departamentos de compras, comercial, logística, gerencia, etc.) en el desempeño de mercado del bien o servicio de la empresa, este grupo es el encargado de la planeación y el consenso del pronóstico final.

*"Estudia el pasado si quieres pronosticar el futuro."*

*Confucio*

## 1. Formulación del problema

En este procedimiento se definió pronosticar las ventas del producto muestra en cada punto de venta, sin embargo, en este capítulo solo se muestra la metodología de pronóstico para la sucursal 1, para observar el análisis de pronósticos para las demás sucursales favor referirse a anexo 2. La data inicial seleccionada fue de un periodo de 24 meses equivalentes a dos años (periodo 2016-2017). La sucursal 5 se trabajó con un universo de datos de 12 meses, pues esta sucursal se apertura en el 2016. Esto con el fin de eludir el periodo de crecimiento de esta nueva sucursal en el mercado y así trabajar con el producto muestra en una etapa madura en su ciclo de vida. Cabe mencionar que las ventas utilizadas para el análisis en el centro de distribución se derivan de la sumatoria de los datos de ventas de las sucursales.

## 2. Limpieza de los datos

Una vez obtenida la información inicial, se excluyeron las ventas a instituciones gubernamentales, conocidas como licitaciones, las cuales afectan el histórico por su comportamiento atípico y de gran volumen, posteriormente se calculó el coeficiente de variabilidad del producto para eliminar cualquier dato extremadamente irregular dentro de la serie. (Ver sección 2.4 de marco teórico). En ninguna sucursal se obtuvo un coeficiente de variabilidad mayor al 25%, por lo cual se puede considerar la serie de tiempo como estable. Los datos para la sucursal 1 aparecen en la Tabla 5. En anexo 1 se muestran las series de tiempo ajustadas para los demás puntos de venta.

ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	Prom	Desv Std	Cv
4328	3825	3575	3944	4115	3965	3793	3965	3794	3951	4178	4151	3557	3765	4778	3730	3838	3721	3980	3929	4048	4645	4353	4644	4024	327.244	8%

Tabla 5. *Serie de tiempo ajustada para la sucursal 1*

### **3. Selección del modelo de pronóstico**

Los modelos de pronóstico fueron elegidos individualmente para cada sucursal, tomando como factor de selección la precisión del pronóstico (FA) de cada modelo con respecto a la demanda real. Utilizando el paquete estadístico Minitab y hojas de cálculo en Excel, se aplicaron cinco métodos para cada sucursal:

1. Suavización exponencial simple
2. Suavización exponencial ajustada a la tendencia
3. Regresión lineal
4. Regresión exponencial
5. Regresión potencial

Los datos fueron seccionados en dos conjuntos, los datos de control, quienes fueron útiles para encontrar el modelo que explicara de la mejor manera el comportamiento de la demanda en el pasado, y con este pronosticar la demanda del segundo conjunto, los datos de predicción, a los cuales se les aplico la medición FA como criterio de desempeño de la predicción. (Ver marco teórico sección 2.5)

En las Figuras 7, 8, 9, 10 y 11 se muestran las tablas y resultados arrojados. Se puede apreciar en la sucursal 1 que el modelo de pronóstico con menor error es suavización exponencial simple, con una precisión de pronóstico promedio del 94.6%, superando por poco al de suavizamiento exponencial con ajuste de tendencia con un 94.5%.

### **4. Generación de pronóstico**

#### **4.1. Pronóstico para sucursales**

Habiendo escogido el modelo con menor error de precisión se procedió a generar el pronóstico para el periodo 25, el cual representa a enero 2018. En el caso de la sucursal 1 la proyección fue de 4655 unidades del producto en estudio.

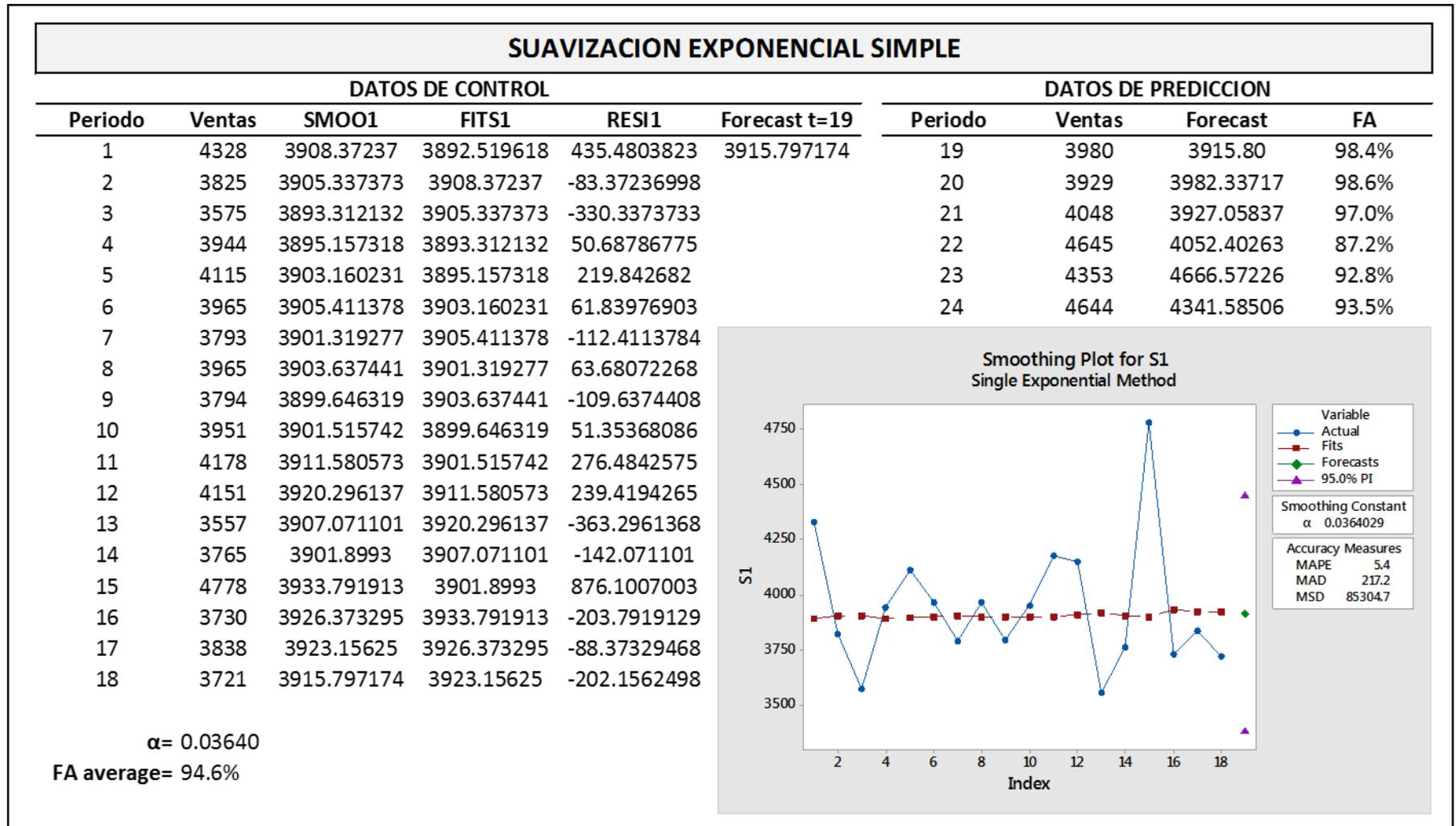


Figura 7. Método de suavización exponencial simple para sucursal 1

Fuente: elaboración propia

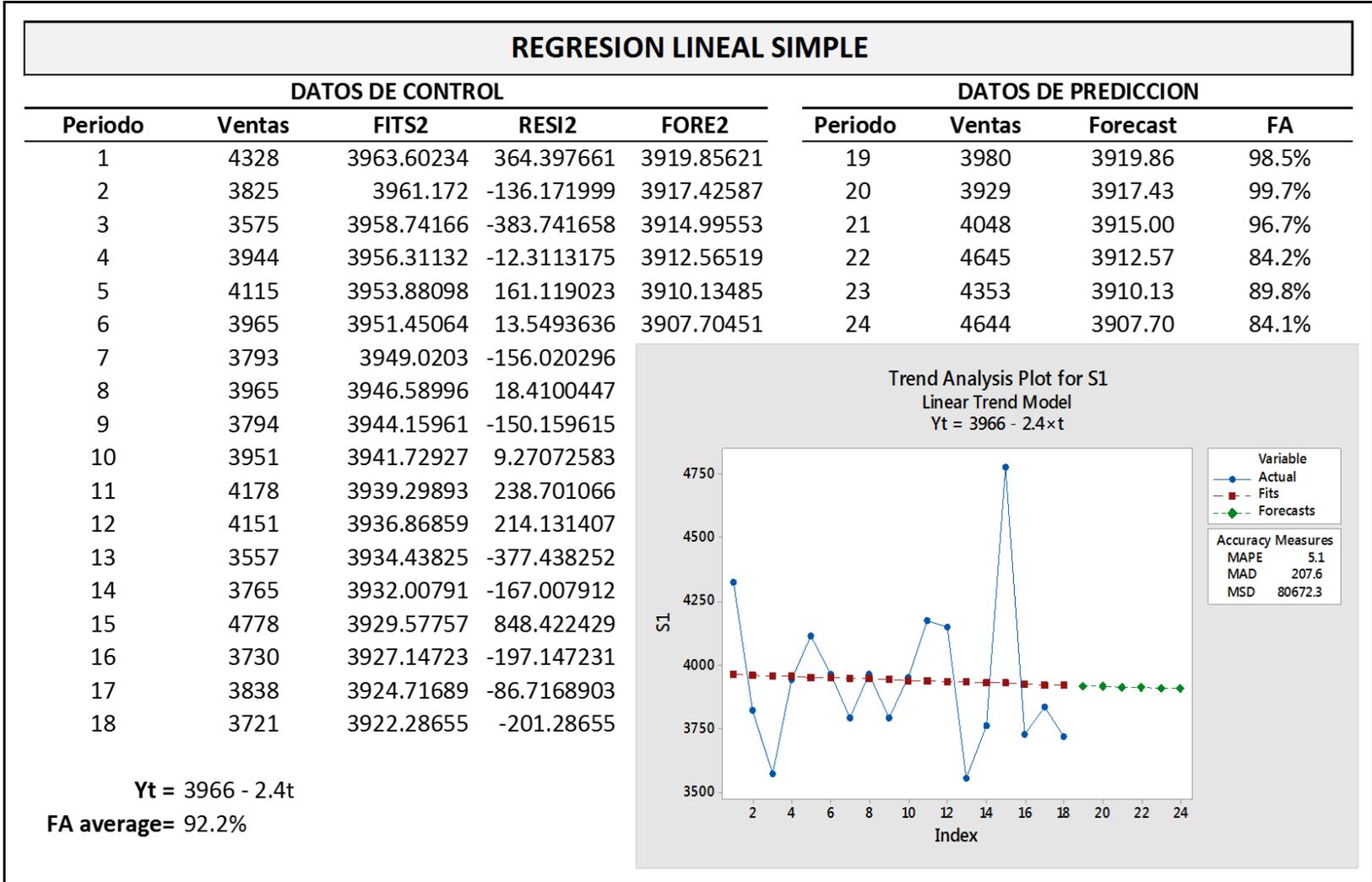


Figura 8. Método de regresión lineal simple para sucursal 1

Fuente: elaboración propia

### SUAVIZACION EXPONENCIAL AJUSTADA A LA TENDENCIA

DATOS DE CONTROL								DATOS DE PREDICCIÓN			
Periodo	Ventas	SMOO1	LEVE1	TREN1	FITS1	RESI1	FORE1	Periodo	Ventas	Ft	FA
1	4328	4248.72312	4248.72312	-74.6038855	4218.93027	109.069728	3888.40015	19	3980	3888.40015	97.7%
2	3825	4078.75588	4078.75588	104.407342	4174.11923	-349.119231		20	3929	3916.44	99.7%
3	3575	4017.04094	4017.04094	-0.62055892	4183.16322	-608.163221		21	4048	3913.89	96.7%
4	3944	3996.63845	3996.63845	-4.12705954	4016.42038	-72.4203789		22	4645	3950.92	85.1%
5	4115	4025.96966	4025.96966	1.8036795	3992.5114	122.488605		23	4353	4173.35	95.9%
6	3965	4010.62654	4010.62654	-1.23572406	4027.77334	-62.7733405		24	4644	4263.82	91.8%
7	3793	3950.28278	3950.28278	-11.7130863	4009.39082	-216.390821					
8	3965	3945.78924	3945.78924	-10.4333652	3938.56969	26.4303077					
9	3794	3896.74394	3896.74394	-17.2776329	3935.35587	-141.355874					
10	3951	3899.00603	3899.00603	-13.8140643	3879.4663	71.5336966					
11	4178	3965.17368	3965.17368	0.36332033	3885.19196	292.808038					
12	4151	4016.19698	4016.19698	9.34319768	3965.537	185.462999					
13	3557	3897.5565	3897.5565	-13.3429088	4025.54018	-468.540179					
14	3765	3851.64991	3851.64991	-19.1150762	3884.2136	-119.213595					
15	4778	4090.79253	4090.79253	26.6631183	3832.53484	945.465164					
16	3730	4011.62055	4011.62055	7.90301934	4117.45565	-387.455649					
17	3838	3969.93966	3969.93966	-0.88611577	4019.52357	-181.523565					
18	3721	3901.2967	3901.2967	-12.8965459	3969.05354	-248.053542					

$\alpha = 0.273154$

$\beta = 0.177258$

FA average= 94.5%

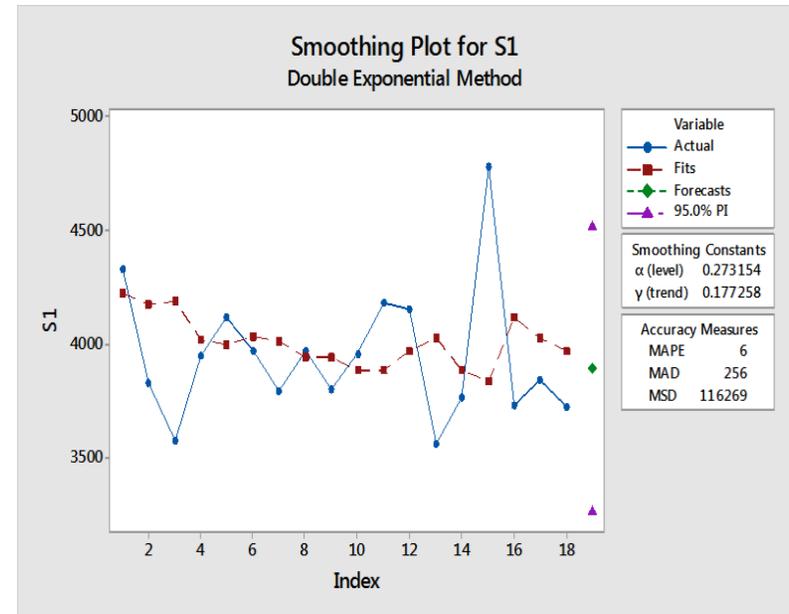


Figura 9. Método de suavización exponencial ajustada a la tendencia para sucursal 1

Fuente: elaboración propia

## REGRESION EXPONENCIAL

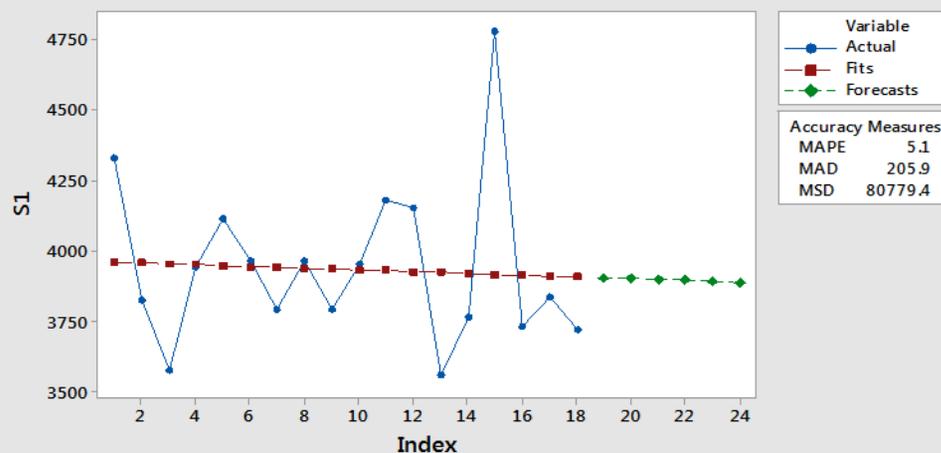
### DATOS DE CONTROL

Periodo	Ventas	FITS1	RESI1	FORE1
1	4328	3959.79904	368.200961	3903.72127
2	3825	3956.66258	-131.66258	3900.62923
3	3575	3953.52861	-378.528605	3897.53964
4	3944	3950.39711	-6.39711281	3894.45249
5	4115	3947.2681	167.731899	3891.3678
6	3965	3944.14157	20.858433	3888.28554
7	3793	3941.01751	-148.01751	
8	3965	3937.89593	27.104073	
9	3794	3934.77682	-140.776817	
10	3951	3931.66018	19.3398229	
11	4178	3928.54601	249.453994	
12	4151	3925.4343	225.565698	
13	3557	3922.32506	-365.325062	
14	3765	3919.21829	-154.218285	
15	4778	3916.11397	861.886031	
16	3730	3913.01211	-183.012112	
17	3838	3909.91271	-71.9127113	
18	3721	3906.81577	-185.815766	

### DATOS DE PREDICION

Periodo	Ventas	Forecast	FA
19	3980	3903.72127	98.1%
20	3929	3900.62923	99.3%
21	4048	3897.53964	96.3%
22	4645	3894.45249	83.8%
23	4353	3891.3678	89.4%
24	4644	3888.28554	83.7%

**Trend Analysis Plot for S1**  
Growth Curve Model  
 $Y_t = 3962.94 \times (0.99921^t)$



$$Y_t = 3962.94 * (0.99921^t)$$

FA average= 91.8%

Figura 10. Método de regresión exponencial para sucursal 1

Fuente: elaboración propia

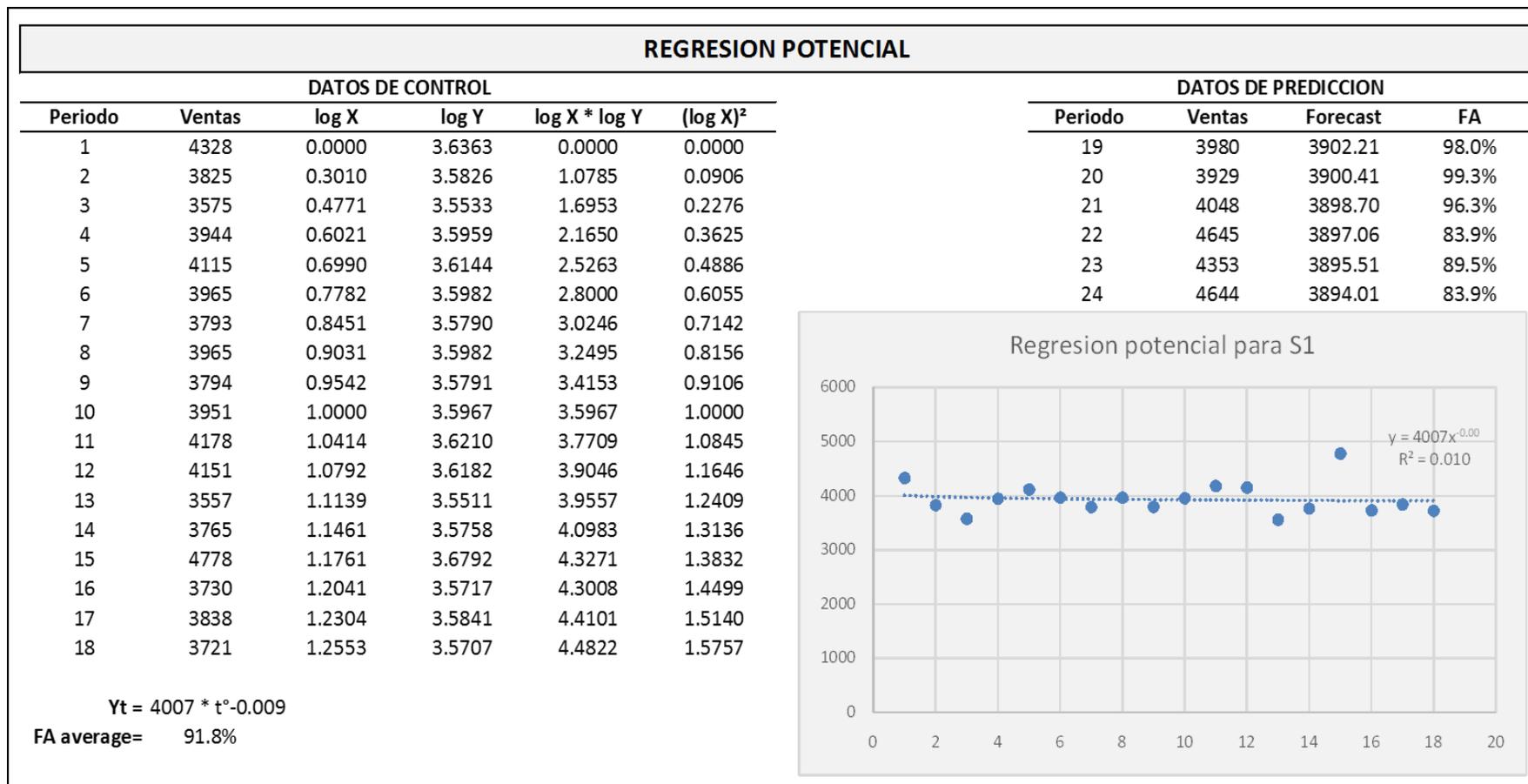


Figura 11. Método de regresión potencial para sucursal 1

Fuente: elaboración propia

La Tabla 6 refleja un resumen con los modelos de pronóstico de menor error y sus previsiones para todas las sucursales.

Sucursal	Método	FA average	Pronóstico
S1	Suavización exponencial simple	94.59%	4655
S2	Suavización exponencial ajustado a tendencia	94.91%	4018
S3	Regresión potencial	89.27%	2755
S4	Suavización exponencial ajustado a tendencia	93.45%	3031
S5	Regresión potencial	89.60%	1968
S6	Regresión potencial	90.82%	3642

Tabla 6. *Pronostico de ventas en sucursales para enero 2018*

Fuente: elaboración propia

#### 4.2. Pronóstico para centro de distribución

En este estudio, además de trabajar con el pronóstico individual de cada sucursal, es necesario mantener abastecido el CEDIS para cumplir dichas proyecciones, por esa razón el agregado de pronósticos por sucursal representa el pronóstico global del producto en estudio. Para saber que tan preciso es el pronóstico total se medirá el FA contra la suma de ventas reales de todas las sucursales para los últimos cuatro periodos.

Periodo	Venta agregada	Agregado de pronóstico	FA
21	17156	18528	92.00%
22	19413	18683	96.24%
23	19790	19422	98.14%
24	21100	19254	91.25%

Tabla 7. *Precisión de pronóstico para el centro de distribución*

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 7 se observa que las proyecciones para los datos de predicción tienen un alto grado de precisión a nivel de CEDIS, con una precisión de pronóstico promedio de 94.41% en las medidas de los datos de predicción. En el análisis de nivel global se aprecia mejor el impacto positivo que tienen los modelos escogidos

para pronosticar las ventas, por lo que se puede inferir que los métodos de pronósticos han sido asertivos y de buen desempeño.

El pronóstico para el centro de distribución para el periodo de enero 2018 se deriva de la agregación de los pronósticos en la Tabla 6. Su expresión matemática es la siguiente:

$$F_{Cedis} = \sum_{n=1}^6 F_{sucursal\ n} = 20069 \text{ unidades}$$

# *Capítulo 3*

## **Diseño de la política de administración de inventarios**

La rentabilidad de una empresa está condicionada principalmente al manejo del inventario. Sea que este escasee o que exceda en cantidad. En el primer caso, la venta potencial se pierde a causa de la poca oferta, generando reducción de ingresos a la compañía e insatisfacción a los consumidores. En el segundo caso, la inversión en inventario permanece inerte, expuesto a obsolescencia, lo cual representaría pérdidas económicas importantes.

El diseño de una política de inventarios es clave para garantizar dos parámetros fundamentales en la organización: nivel de servicio y rotación de inventarios. El primero mantiene los niveles de satisfacción y de cumplimiento al mercado. El segundo asegura el mejor manejo de la inversión, conservando la operación en un intervalo rentable.

*“Una persona que nunca cometió un error,  
nunca intentó algo nuevo.”*

*Albert Einstein*

## 1. Definición de los parámetros logísticos

El sistema logístico de la empresa cuenta con capacidad para preparar y distribuir tres órdenes de abastecimiento por día, esto significa que el inventario de una sucursal es revisado cada dos días. Sin embargo, la estrategia logística implementada incluye capacidad extra para distribuir pedidos de emergencia de productos que por alzas repentinas de demanda han agotado existencias en las sucursales, o bien artículos que se encontraban desabastecidos por el proveedor, de tal forma que al ingresar al centro de distribución se envían como pedido de emergencia a los puntos de venta. El sistema utilizado en la empresa es un sistema de asignación<sup>7</sup>, por lo tanto el inventario es vigilado por el centro de distribución y solo este libera las órdenes de pedido.

El centro de distribución tiene un periodo de revisión de dos semanas, equivalente a 12 días laborables. Por la cantidad de artículos que maneja la empresa y una cartera de más de 50 proveedores, un periodo de revisión de dos semanas resulta apropiado. Los proveedores no ofrecen un tiempo de entrega de emergencia, por lo tanto, la política de inventarios del centro de distribución no tendrá punto de pedido de emergencia.

La Tabla 8 muestra los parámetros logísticos necesarios para la definición de la política de inventario. El tiempo de entrega para los productos que se encuentran debajo del punto de emergencia es considerablemente menor que el tiempo de entrega regular.

Parámetro	Sucursal	CEDIS
	Duración (días)	Duración (días)
Periodo de revisión	2	12
Tiempo de entrega regular	1	3
Tiempo de entrega de emergencia	0.5	-

Tabla 8. *Parámetros logísticos del sistema de abastecimiento*

<sup>7</sup> ver sección 3.1 de marco teórico

## 2. Aplicación de la técnica XYZ

El coeficiente de variabilidad (ver fórmula en sección 2.4 del marco teórico) fue utilizado para clasificar el producto muestra dentro de la escala XYZ según el comportamiento de su demanda. El nivel de servicio fue calculado de acuerdo a la propuesta de Gálvez (2017) que aparece en la Tabla 1 de la sección 3.2.2 del marco teórico. Utilizando los datos de la serie de tiempo, los resultados se resumen en la Tabla 9.

En el capítulo 2 se mencionó que la serie de tiempo de la sucursal 5, a excepción de las demás sucursales, cuenta con 12 datos, dada su reciente apertura al mercado. La sumatoria de los datos de venta del CEDIS se realizó con los últimos 12 datos, pues es la mínima cantidad de datos disponibles por las seis sucursales. Esta salvedad se consideró para calcular el coeficiente de variabilidad en la sucursal 5 y el CEDIS.

	Promedio	$\sigma$	Cv	Tipo	Nivel de servicio
<b>Sucursal 1</b>	4023.833	327.244	8.1 %	A-X	98%
<b>Sucursal 2</b>	3517.458	310.158	8.8 %	A-X	98%
<b>Sucursal 3</b>	2735.792	408.338	14.9 %	A-X	98%
<b>Sucursal 4</b>	2527.208	273.236	10.8 %	A-X	98%
<b>Sucursal 5</b>	1685.917	199.987	11.9 %	A-X	98%
<b>Sucursal 6</b>	3014.833	609.461	20.2 %	A-X	98%
<b>CEDIS</b>	18275.417	1320.083	7.2%	A-X	98%

Tabla 9. Clasificación XYZ y fijación de nivel de servicio

## 3. Definición de la política de inventario

La política de pedidos estándar máximos y mínimos desarrollada en esta investigación requiere de la determinación de cuatro niveles fundamentales para su funcionamiento. Estos son: nivel máximo, nivel mínimo, inventario de seguridad y punto de pedido de emergencia. En la Figura 12 se aprecia el funcionamiento de ese sistema.

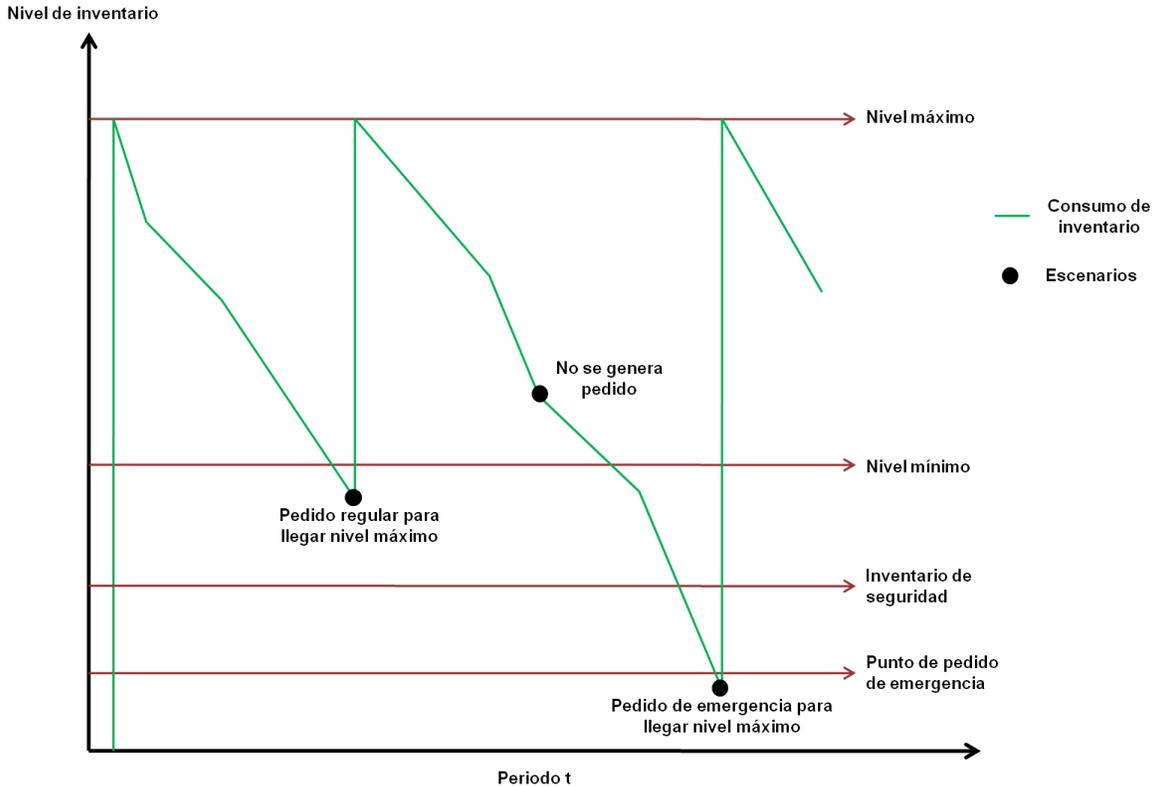


Figura 12. Funcionamiento del sistema de pedidos estándar Max - Min

Fuente: elaboración propia

### 3.1. Cálculo de inventario de seguridad

La desviación estándar de los datos se obtiene de la serie de tiempo presentada en la Tabla 5 de la sección 2 del capítulo 2. Para obtener la desviación estándar diaria, se supone un promedio de 26 días laborables por mes. El cálculo para la sucursal 1 es el siguiente:

$$\sigma_{dia} = \frac{\sigma_{mes}}{\sqrt{\text{días por mes}}} = \frac{327.24}{\sqrt{26}} = 64 \text{ unidades}$$

La fórmula del inventario de seguridad utilizada en esta investigación es la propuesta en la política de revisión periódica (ver fórmula de inventario de seguridad en sección 3.3.2). Se recomienda ver los argumentos teóricos presentados en el marco teórico sección 3.3.3.1.

El inventario de seguridad de la sucursal 1 se obtiene:

$$SS = Z\sigma_{\text{día}}\sqrt{R + LT} = (2.054)(64)(\sqrt{3}) = 228 \text{ unidades}$$

La Tabla 10 muestra los cálculos necesarios para el inventario de seguridad en las demás locaciones de la cadena de suministros:

	$\sigma_{\text{día}}$		Z		$\sqrt{R+LT}$		SS
Sucursal 1	64	X	2.054	X	1.7321	=	228
Sucursal 2	61	X	2.054	X	1.7321	=	216
Sucursal 3	80	X	2.054	X	1.7321	=	285
Sucursal 4	54	X	2.054	X	1.7321	=	191
Sucursal 5	39	X	2.054	X	1.7321	=	140
Sucursal 6	120	X	2.054	X	1.7321	=	425
CEDIS	259	X	2.054	X	3.873	=	2060

Tabla 10. *Determinación de inventario de seguridad por sucursal*

### 3.2. Cálculo de inventario máximo, mínimo y punto de pedido de emergencia

Las fórmulas utilizadas en esta sección aparecen en el marco teórico sección 3.3.3.1, el punto de pedido de emergencia se calculó para las seis sucursales, en el caso del CEDIS la política de inventario solo incluye nivel máximo y mínimo

Los parámetros logísticos de la política de inventarios están dados en días. El dato de demanda a utilizar es el pronóstico de ventas para el mes enero 2018. Para estimar la venta diaria se divide el pronóstico entre 26 días laborables. La venta diaria de la sucursal 1 es la siguiente:

$$D_{\text{día}} = \frac{D_{\text{mes}}}{\text{días por mes}} = \frac{4655}{26} = 179 \text{ unidades}$$

En la Tabla 11 se observa la demanda por día en las siguientes sucursales y el centro de distribución:

	<b>Pronostico mensual</b>	<b>Venta diaria</b>
<b>Sucursal 1</b>	4655	179
<b>Sucursal 2</b>	4018	155
<b>Sucursal 3</b>	2755	106
<b>Sucursal 4</b>	3031	117
<b>Sucursal 5</b>	1968	76
<b>Sucursal 6</b>	3642	140
<b>CEDIS</b>	20069	772

Tabla 11. *Estimación de ventas por día*

Luego de definir el estimado de venta por día, el inventario mínimo, máximo y punto de pedido de emergencia para la sucursal 1 se calcula de la siguiente manera:

$$s = 179 \times (2 + 1) + 228 = 765 \text{ unidades}$$

$$S = 179 \times (2) + 765 = 1123 \text{ unidades}$$

$$PPE = 179 \times 0.5 = 90 \text{ unidades}$$

La Tabla 12 resume los niveles de inventario para las sucursales y el centro de distribución:

	<b>s</b>	<b>S</b>	<b>PPE</b>
<b>Sucursal 1</b>	765	1123	90
<b>Sucursal 2</b>	681	991	78
<b>Sucursal 3</b>	603	815	53
<b>Sucursal 4</b>	542	776	59
<b>Sucursal 5</b>	368	520	38
<b>Sucursal 6</b>	845	1125	70

Tabla 12. *Política de pedidos estándar máximos y mínimos por sucursal*

La política de inventarios del centro de distribución se calcula de la siguiente forma:

$$s = 772 \times (12 + 3) + 2060 = 13640 \text{ unidades}$$

$$S = 772 \times (12) + 13940 = 22904 \text{ unidades}$$

# Capítulo 4

## Evaluación del desempeño de la política de administración de inventarios

Una evaluación de desempeño es un proceso formal para estimar el cumplimiento de los objetivos de un sistema. En este trabajo los indicadores encargados de valorar el desempeño de la política de inventario son el nivel de servicio y la rotación de inventario. Cabe mencionar que debe existir un balance estable entre estos dos, pues no resulta provechoso tener un nivel de servicio alto a costa de mantener inventarios excesivamente altos que afecten su rotación, pudiendo esto traer pérdidas por obsolescencia a la empresa y costos de oportunidad en inversión.

La simulación es un método muy efectivo para evaluar el rendimiento de un sistema sin afectar su operación en el mundo real. A través de esta se pueden obtener con facilidad los criterios de desempeño siempre y cuando la simulación contenga coherentemente las características del sistema que se pretende simular. En este capítulo se muestran los resultados de la optimización de la política de pedidos estándar máximos y mínimos, mediante el uso de herramientas meta heurísticas. Esto con la intención de mejorar el rendimiento del sistema y obtener un parámetro de comparación entre la política y un valor cercano al óptimo.

*“La mejor estructura no garantizará los resultados ni el rendimiento.  
Pero la estructura equivocada es una garantía de fracaso.”*

*Peter Drucker*

## 1. Formulación del problema

La simulación se creó con el objeto de conocer los medidores del desempeño del sistema propuesto y evaluar la política en diferentes escenarios de operación. Sin duda es necesario conocer cuáles son las características y limitaciones propias del entorno a simular, entre ellas está la dificultad para estimar algunos de los parámetros necesarios para el cálculo de los criterios de rendimiento del sistema.

El parámetro que resulta más complicado de obtener en la vida real es la acumulación del faltante o venta perdida, pues en las sucursales de ventas no existe ninguna herramienta que permita acumular la demanda del producto cuando no se tiene inventario, siendo únicamente la alternativa ofrecer otro producto que sea similar o sustituto. La formulación del problema de simulación se define así:

- **Problema:** Desconocimiento del rendimiento de la política de pedidos estándar máximos y mínimos con enfoque estadístico.
- **Métricas de desempeño:** Nivel de servicio y rotación de inventario.
- **Alcance:** Obtención de los parámetros necesarios (faltante total, demanda total, inventario promedio) para el cálculo de las métricas de desempeño.

## 2. Especificaciones y características del sistema

Es importante asegurar y validar que los componentes y características del contexto real se encuentren correctamente planteados en el proceso digital de la simulación para que esta funcione de manera correcta y los resultados sean confiables. Algunos aspectos importantes, como tiempo de revisión y tiempo de entrega, se han descrito en la sección uno del capítulo tres.

Una diferencia mayúscula entre la operación de las sucursales y el centro de distribución es que este último no incluye un punto de pedido de emergencia, restringiendo el abastecimiento únicamente a periodos de 12 días. El uso de los sistemas informáticos de gestión empresarial ha automatizado la gestión de los inventarios. La posición del inventario se monitorea en tiempo real, permitiendo que se realice una orden de distribución especial cuando el inventario sea menor al

punto de emergencia<sup>8</sup>. Aun cuando la política de pedidos estándar máximos y mínimos determina un periodo de revisión de dos días, con el uso de un software ERP<sup>9</sup> el inventario se actualiza en cada transacción, y el periodo de revisión pragmáticamente se convierte en un periodo de liberación de órdenes.

El sistema real opera en una semana de seis días laborables, empezando en lunes y finalizando en sábado. La Tabla 13 refleja el calendario de liberación de órdenes para abastecimientos regulares de las sucursales.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
<b>Sucursal 1</b>	X		X		X	
<b>Sucursal 2</b>		X		X		X
<b>Sucursal 3</b>	X		X		X	
<b>Sucursal 4</b>		X		X		X
<b>Sucursal 5</b>	X		X		X	
<b>Sucursal 6</b>		X		X		X

Tabla 13. *Calendario de abastecimiento a sucursales*

### 3. Construcción del modelo de simulación

Para diseñar el modelo de simulación de la política de inventarios de este estudio de caso, se establecieron las variables que formaron parte del proceso lógico del modelo. Las variables declaradas en el software Arena® aparecen en la Tabla 14.

#### 3.1. Modelación cuantitativa

La distribución de probabilidad de la demanda es el dato de entrada que este modelo requiere para simular el funcionamiento de una política de inventarios. De esta forma, la demanda se genera aleatoriamente en cada periodo simulado según su distribución de probabilidad.

Se utilizó el input analyzer de Arena® para comprobar el ajuste de los datos a distribuciones teóricas. Analizando los históricos de demanda diaria del año 2017 (300 datos) para cada sucursal (ver anexo 5), se presentan en la Tabla 15 las

<sup>8</sup> Ver capítulo 3, sección 1

<sup>9</sup>del inglés *enterprise resource planning*

distribuciones teóricas sugeridas por la herramienta, así como las pruebas de bondad de ajuste chi - cuadrada y Kolmogorov - Smirnov.

<b>Variable</b>	<b>Nombre</b>	<b>Función</b>
Demanda diaria	Demanda_diaria	Generar demanda diaria según la distribución de probabilidad de los datos de entrada
Nivel de inventario	Nivel_inventario	Actualizar la posición del inventario al final de cada periodo simulado
Nivel máximo de inventario	Nivel_max	Fijar el nivel de inventario objetivo al realizar una orden
Nivel mínimo de inventario	Nivel_min	Fijar un punto de alerta para generar una orden
Contador de pedido	Contar_pedido	Acumular los pedidos totales por replica simulada
Faltante total	Faltante_total	Acumular el inventario faltante total por replica simulada
Demanda total	Demanda_total	Acumular la demanda total por replica simulada
Contador de días	Contador_dias	Controlar el periodo de revisión dispuesto por la política de inventario
Punto de pedido de emergencia	PPE	Fijar un punto de alerta para generar una orden de emergencia

Tabla 14. *Variables declaradas en el modelo de simulación de ARENA®*

<b>Sucursal</b>	<b>Distribución teórica</b>	<b>Valor del estadístico P</b>	
		<b>Chi - cuadrada</b>	<b>Kolmogorov - Smirnov</b>
S1	10 + GAMM(49.5, 3.15)	p-value <0.05	P-value = 0.0905
S2	8 + 327 * BETA(5.42, 7.32)	p-value= 0.0448	P-value = 0.074
S3	NORM(112, 53.4)	p-value= 0.08	P-value<0.01
S4	3 + WEIB(115, 2.16)	p-value <0.05	P-value = 0.0651
S5	7 + WEIB(67.7, 1.82)	p-value <0.05	P-value > 0.15
S6	33 + GAMM(49.6, 2.07)	P-value = 0.0229	P-value = 0.071
CEDIS	345 + 1.01e+003 * BETA(3.17, 5.14)	P-value = 0.0439	P-value > 0.15

Tabla 15. *Distribuciones teóricas de demanda sugeridas por input analyzer*

De acuerdo a lo sugerido por Kelton et al. (2008), es recomendable utilizar la distribución teórica si al menos una de las pruebas de bondad de ajuste arroja un valor P mayor al 0.10. Los resultados mostrados en la Tabla 15 reflejan que solo la

sucursal 5 y el CEDIS cumplieron con esa condición en la prueba de Kolmogorov – Smirnov. Para observar los análisis de distribución de probabilidad teórica para demanda arrojadas por input analyzer favor referirse a anexo 3.

Sucursal	Distribución de probabilidad de demanda	Tipo
Sucursal 1	DISC(0.000, 9.999, 0.010, 36.234, 0.047, 62.470, 0.118, 88.705, 0.264, 114.941, 0.453, 141.176, 0.622, 167.411, 0.733, 193.647, 0.818, 219.882, 0.848, 246.118, 0.885, 272.353, 0.916, 298.589, 0.943, 324.824, 0.966, 351.059, 0.980, 377.295, 0.983, 403.530, 0.986, 429.766, 1, 456.001)	Distribución empírica discreta
Sucursal 2	DISC(0.000, 7.999, 0.003, 27.234, 0.007, 46.470, 0.013, 65.705, 0.057, 84.941, 0.161, 104.176, 0.289, 123.411, 0.500, 142.647, 0.695, 161.882, 0.792, 181.118, 0.883, 200.353, 0.943, 219.589, 0.973, 238.824, 0.987, 258.059, 0.990, 277.295, 0.993, 296.530, 0.997, 315.766, 1, 335.001)	Distribución empírica discreta
Sucursal 3	DISC(0.000, 17.999, 0.057, 40.529, 0.167, 63.058, 0.323, 85.588, 0.497, 108.117, 0.687, 130.647, 0.820, 153.176, 0.910, 175.706, 0.940, 198.235, 0.967, 220.765, 0.983, 243.294, 0.987, 265.824, 0.987, 288.353, 0.990, 310.883, 0.993, 333.412, 0.997, 355.942, 0.997, 378.471, 1, 401.001)	Distribución empírica discreta
Sucursal 4	DISC(0.000, 2.999, 0.017, 20.587, 0.027, 38.176, 0.097, 55.764, 0.243, 73.352, 0.407, 90.941, 0.587, 108.529, 0.750, 126.117, 0.837, 143.706, 0.897, 161.294, 0.913, 178.883, 0.947, 196.471, 0.960, 214.059, 0.970, 231.648, 0.987, 249.236, 0.993, 266.824, 0.997, 284.413, 1, 302.001)	Distribución empírica discreta
Sucursal 5	7 + WEIB(67.7, 1.82)	Distribución teórica
Sucursal 6	DISC(0.000, 32.999, 0.107, 67.587, 0.350, 102.176, 0.603, 136.764, 0.793, 171.352, 0.893, 205.941, 0.927, 240.529, 0.950, 275.117, 0.967, 309.706, 0.980, 344.294, 0.987, 378.883, 0.990, 413.471, 0.993, 448.059, 0.997, 482.648, 0.997, 517.236, 0.997, 551.824, 0.997, 586.413, 1, 621.001)	Distribución empírica discreta
CEDIS	345 + 1.01e+003 * BETA(3.17, 5.14)	Distribución teórica

Tabla 16. *Distribuciones de demanda seleccionadas como datos de entrada*

Las sucursales que no obtuvieron una bondad de ajuste considerable, fueron explicadas a través de una distribución empírica. En esta investigación se utilizaron distribuciones empíricas discretas, pues la demanda debe estar restringidas a valores enteros. La Tabla 16 resume las distribuciones de probabilidad de demanda utilizadas en el modelo de simulación de arena.

Para observar los análisis de distribución de probabilidad empírica para demanda arrojadas por input analyzer favor referirse a anexo 4.

### **3.2. Modelación estructural**

En la Figura 13 se muestra la lógica utilizada en la modelación estructural de la simulación en Arena®. Las funciones de cada módulo se encuentran numeradas en dicha figura y son explicadas a continuación:

#### **A. Órdenes de pedidos**

A1. Este módulo garantiza que el inventario se revise diariamente.

A2. Se asigna un valor numérico acumulado que representa un día de la semana.

A3. Se toma la decisión de ordenar de acuerdo al calendario de abastecimiento bajo las siguientes salvedades:

A3.1. Si es inferior a PPE se envía con tiempo de entrega de emergencia.

A3.2. Si es inferior al nivel mínimo se envía orden con tiempo de entrega regular.

En caso el nivel de inventario sea superior al nivel mínimo no se realiza orden.

A4. Se actualiza el nivel de inventario al llegar la orden de abastecimiento.

A5. Cuando la acumulación de días asignados alcanza 6 días (una semana), se reinicia la asignación de días a cero. Este módulo lógico garantiza el cumplimiento del calendario de abastecimiento (tabla 13).

A6. Este módulo lógico representa la finalización de un día de operación.

#### **B. Consumo de inventario**

B1. Este módulo garantiza que se genere demanda diariamente.

B2. Se asigna un valor de demanda diaria de acuerdo a su distribución de probabilidad.

B3. En esta sección se verifica el nivel de inventario, si este es mayor a la cantidad demandada no se acumula faltante. Por el contrario, en caso de faltantes se derivan dos posibles escenarios:

B3.1. No existe inventario para solventar la demanda y se acumula faltante igual a la demanda generada, la fórmula es:

$$Faltante = demanda\ diaria$$

B3.2. El inventario es menor a la cantidad demandada y se acumula faltante de acuerdo a la fórmula:

$$Faltante = demanda\ diaria - inventario\ existente$$

B4. Se actualiza el nivel de inventario, en caso que exista faltante el inventario remanente es igual a cero.

B5. Este módulo lógico representa la finalización de un día de operación.

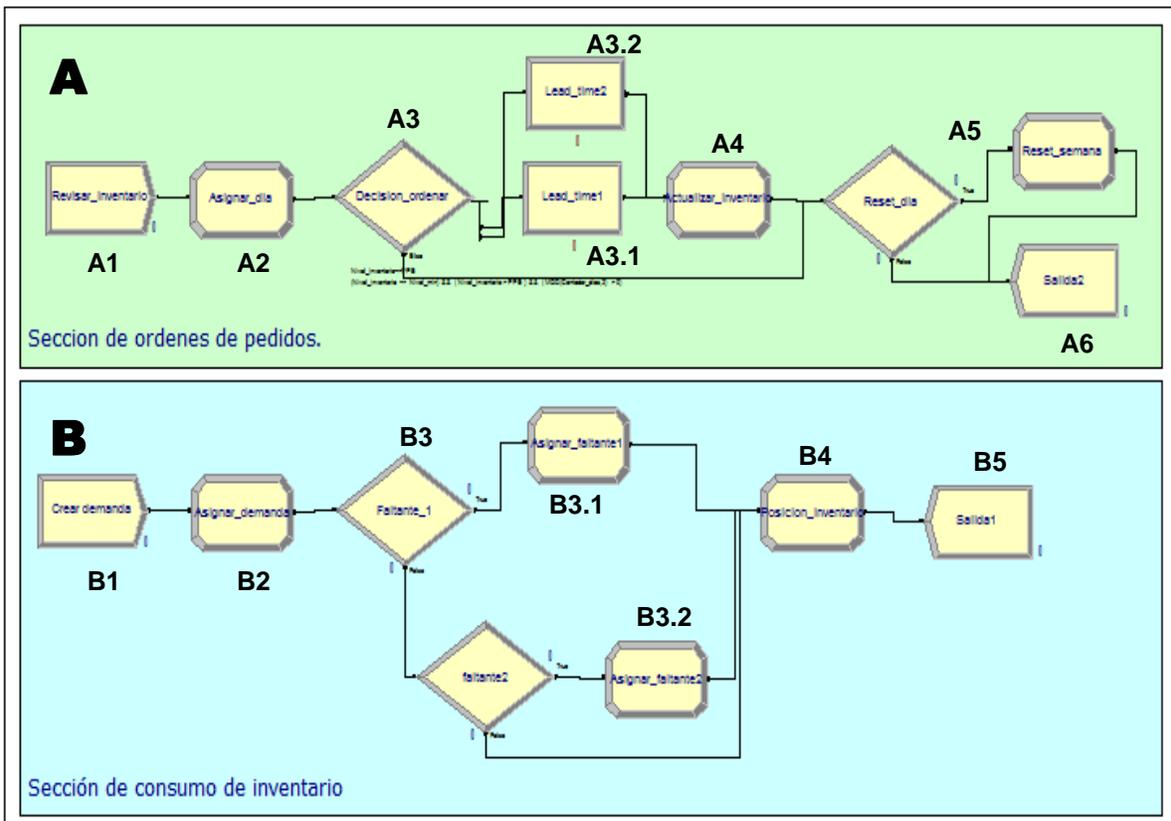


Figura 13. Modelación estructural lógica de la simulación

Fuente: elaboración propia

#### 4. Optimización de la política de inventarios

Con ayuda de la herramienta OptQuest® se utilizaron herramientas meta heurísticas de búsqueda tabú y búsqueda dispersa para encontrar valores optimizados a los propuestos por la política de pedidos estándar máximos y mínimos. Este software utiliza la estructura del modelo de simulación de ARENA® para acotar un espacio de búsqueda de distintas combinaciones para las variables de nivel máximo, nivel mínimo y punto de pedido de emergencia de tal forma que alcance la función objetivo y se cumplan las restricciones propuestas.

El modelo de optimización utilizado se basó en la estructura que se muestra en la Tabla 17.

<b>Función objetivo</b>
Min (faltante total + inventario promedio)
<b>Sujeto a</b>
(1) Inventario mínimo < inventario máximo
(2) PPE ≤ (Demanda diaria x Tiempo de entrega de emergencia)
(3) Inventario mínimo ≥ 1
(4) Inventario máximo ≥ 1
(5) PPE ≥ 1
(6) Faltante total ≥ 0
(7) Inventario promedio ≥ 0

Tabla 17. Estructura del modelo de optimización meta heurística

Las métricas de desempeño han sido ampliamente descritas en capítulos anteriores, el nivel de servicio depende del faltante de inventario. De la misma forma, la rotación de inventario depende el inventario promedio, pues si este último se reduce, aumenta la rotación de inventarios. Así pues, la función objetivo para el modelo de simulación consiste en minimizar los valores de faltante total e inventario promedio.

La primera restricción garantiza que se conserve la lógica de la política de máximos y mínimos, pues siempre el valor mínimo de inventario debe ser menor al

valor máximo. La segunda restricción consiste en utilizar la capacidad ociosa destinada para pedidos de emergencia. En este caso, el lead time para pedidos prioritarios es de 0.5 días<sup>10</sup>, si el punto de pedidos de emergencia sube sugiere que el lead time aumente, pues la demanda se mantiene constante. Esto no es deseable pues la capacidad de distribución se mantiene ociosa solo la primera mitad de un día de operación, pues la segunda mitad es utilizada para distribuir las órdenes de abastecimiento regulares. Las restricciones 3-5 son restricciones de *no negatividad* para garantizar la obtención de datos lógicos.

Las variables que fueron optimizadas son el inventario máximo, mínimo y el punto de pedido de emergencia. Se restringe que estas variables solo tomen valores enteros. El modelo de optimización para el centro de distribución no considera la variable de punto de pedido de emergencia, por las razones descritas en la sección 1 del capítulo anterior. En la Tabla 18 aparecen los valores optimizados por OptQuest® para las sucursales.

Sucursal	Inventario máximo	Inventario mínimo	PPE
S1	932	783	90
S2	744	589	59
S3	650	562	42
S4	592	489	58
S5	450	328	36
S6	900	752	63
CEDIS	18550	9927	-

Tabla 18. *Valores óptimos para la política de inventarios*

## 5. Simulación del sistema y reporte de resultados

Se decidió simular un año de operación para el sistema de inventario (312 días hábiles). El software ARENA® evaluó 2000 posibles escenarios para un año de operación. Los reportes de resultados arrojados por el software de simulación de la política propuesta y la optimizada aparecen en anexo 6 y 7.

---

<sup>10</sup>Ver capítulo 3 sección 1

El desempeño de la política de inventarios de pedidos estándar máximos y mínimos y la optimizada por OptQuest® se reflejan en las Tablas 19 y 20. Estos rendimientos son discutidos en el acápite de discusión de resultados al final de esta investigación.

Sucursal	Inventario máximo	Inventario mínimo	PPE	Faltante total	Inventario promedio	Demanda total	Nivel de servicio	Rotación anual de inventario	Días de cobertura
S1	1123	765	90	29.626	850.96	27746.27	99.89%	32.6	10
S2	991	681	78	0.1793	756.05	24309.88	100.00%	32.2	10
S3	815	603	53	8.0414	634.02	19235.71	99.96%	30.3	10
S4	776	542	59	2.7795	601.82	17873.07	99.98%	29.7	11
S5	520	368	38	0.8484	408.61	10432.99	99.99%	25.5	12
S6	1125	845	70	8.3863	899.77	23769.55	99.96%	26.4	12
CEDIS	22904	13640	-	0	14671.23	114314.76	100.00%	7.8	40

Tabla 19. Resultados de simulación con valores sugeridos por la política máximos y mínimos

Sucursal	Inventario máximo	Inventario mínimo	PPE	Faltante total	Inventario promedio	Demanda total	Nivel de servicio	Rotación anual de inventario	Días de cobertura
S1	932	783	90	52.6887	751.3	27746.27	99.81%	36.9	8
S2	744	589	59	32.7234	573.05	24309.88	99.87%	42.4	7
S3	650	562	42	24.1132	540.98	19235.71	99.87%	35.6	9
S4	592	489	58	25.6457	479.77	17873.07	99.86%	37.3	8
S5	450	328	36	5.2171	350.44	10432.99	99.95%	29.8	10
S6	900	752	63	39.1218	724.79	23769.55	99.84%	32.8	10
CEDIS	18550	9927	-	249.74	10410.98	114314.76	99.78%	11	28

Tabla 20. Resultados de simulación con valores optimizados por meta heurística

### VIII. Discusión de resultados

La política de pedidos estándar máximos y mínimos propuesta por USAID (2011) con un enfoque estadístico fue puesta a prueba en el sistema logístico de Los Paisas S.A. Sobre esto, Vidal et al. (2011) escribe que un sistema de una bodega y distintos puntos de venta agrega complicaciones no consideradas en los supuestos de los modelos de inventario óptimos.

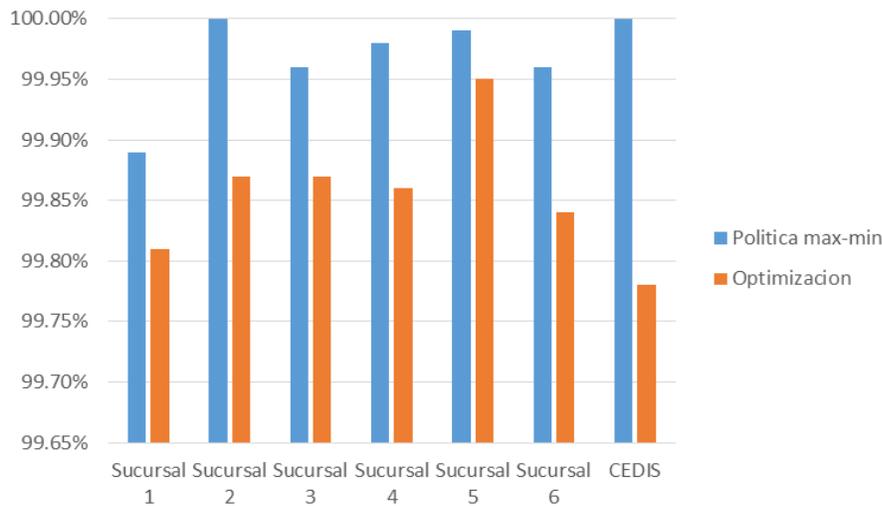


Figura 14. Comparación del nivel de servicio de la política de máximos y mínimos y la política optimizada

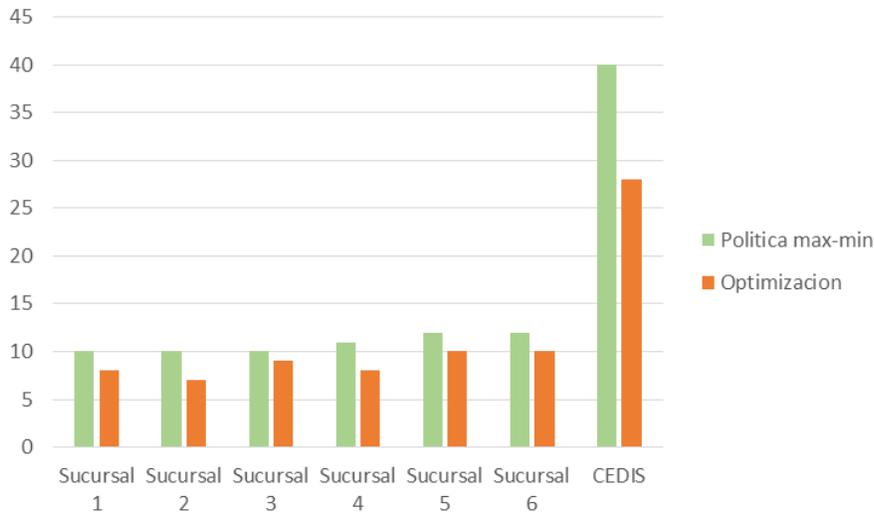


Figura 15. Comparación de los días de cobertura de inventario de la política de máximos y mínimos y la política optimizada

Los resultados concernientes al desempeño del nivel de servicio de la política de pedidos estándar máximos y mínimos se muestran en la Figura 14. Se apoya la hipótesis  $H_1$  planteada al inicio de esta investigación, pues los niveles de servicio para esta política son mayores al 99%. Gálvez (2017) planteaba que para un producto con clasificación A-X se debe fijar un nivel de servicio del 98%<sup>11</sup>. En la simulación se obtuvo el rendimiento para 2000 réplicas de un año, siendo los niveles de servicio alcanzados superiores al 99.7%.

Estos datos indican que la política de pedidos estándar máximos y mínimos puede ser utilizada en un sistema de una bodega y N puntos de venta asegurando un nivel de servicio real igual o superior al nivel de servicio teórico definido por la gerencia al momento de calcular el inventario de seguridad.

En cuanto a los inventarios de seguridad, en esta investigación se utilizó un inventario de seguridad incorporando la desviación estándar de la demanda (ver marco teórico sección 3.3.3.1). En relación a esto, en la investigación de modelos de inventarios en una cadena de abastecimientos con una bodega y N puntos de venta realizada por Vidal et al. (2011), éste afirma que es un error definir inventarios de seguridad proporcionalmente a su demanda promedio. De manera que los resultados referentes al nivel de servicio no se pueden generalizar a escenarios con inventarios de seguridad no estadísticos.

La hipótesis  $H_2$  se rechaza, pues los días de cobertura arrojados por la simulación exceden al 100% los propuestos en esta hipótesis. La hipótesis  $H_3$  también se rechaza, pues la simulación arroja un resultado que excede en un 48% el propuesto en dicha hipótesis. Los días de cobertura derivados del índice de rotación de inventario se muestran en la Figura 15.

Mediante el rechazo de estas hipótesis, se confirma lo mencionado por USAID (2011) que la política de pedidos estándar máximos y mínimos resulta en altos niveles de inventario. En definitiva, se ha comprobado que la política de pedidos estándar máximos y mínimos es efectiva en alcanzar los objetivos de nivel de servicio, de fácil aplicación y

---

<sup>11</sup>Ver tabla 1 en sección 3.2.2 de marco teórico

útil en portafolios con cientos de productos, pues permite programar la distribución de forma controlada. No obstante, tiene oportunidades de mejora en la rotación de inventario, pues se alcanzan niveles ineficientes de inventarios.

Referente a la optimización meta heurística desarrollada en el capítulo cuatro, se lograron mejores índices de rotación con una reducción en el nivel de servicio de tan solo unas décimas. Sin embargo, en algunos casos el nivel máximo propuesto por las técnicas meta-heurísticas tiende a converger al nivel mínimo. Esto puede sugerir puntos fuera del espacio de búsqueda factible (fuera de la política de máximos y mínimos) donde la función objetivo se beneficie de igualar el nivel mínimo y el nivel máximo.

Una de las limitaciones principales de este estudio es que no se puede obtener el valor de nivel de servicio en el sistema real, impidiendo la comparación entre el modelo de simulación y el sistema en el mundo real.

Este estudio sobre la aplicación de la política de pedidos estándar máximos y mínimos con un enfoque estadístico puede abrir pasos a otras investigaciones en el campo de la administración de inventarios. Se sugiere para investigaciones futuras comparar el rendimiento de esta política con un enfoque no estadístico, tal y como lo sugiere originalmente USAID (2011). Por otro lado, se pueden utilizar técnicas de pronósticos autoregresivos, como Box-Jenkins, para mejorar la predicción de demanda. Complementariamente, una investigación a fondo sobre el equilibrio entre nivel de servicio y rotación de inventario utilizando esta política podría derivar en aplicaciones prácticas en la industria, tal y como lo sugiere Schroeder(1992)<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> Ver marco teórico sección 3.1

## IX. Conclusiones

El desarrollo de esta investigación ha consistido en la propuesta e instauración de un modelo de reabastecimiento de inventario que permita crear condiciones flexibles de abasto. La investigación se enfocó en dar respuesta a los problemas latentes en la cadena de suministros de la empresa, como lo es, determinar la cantidad necesaria en el tiempo apropiado en el cual se va a reabastecer.

Según los objetivos de investigación planteados se concluye:

1. Se seleccionó el producto con mayor volumen de ventas en los últimos 12 meses como unidad de análisis en esta investigación mediante el uso de la técnica de clasificación ABC, con los siguientes resultados:
  - El portafolio A representando un 24% del portafolio genera el 80% de las ventas
  - El portafolio B representando un 28% del portafolio genera el 15% de las ventas
  - El portafolio C representando un 48% del portafolio genera el 5% de las ventas
2. Se pronosticaron las ventas del producto muestra para todas las sucursales y el centro de distribución, seleccionando los mejores modelos de proyección según el comportamiento histórico de cada sucursal. También se agregaron las ventas para el pronóstico del centro de distribución. En las sucursales se logró obtener en promedio una precisión de pronóstico del 92.11%. Sin embargo, a nivel global (CEDIS) el rendimiento del pronóstico fue mayor, con 94.41% de precisión, permitiendo esto observar que a mayor escala de agregación el rendimiento del pronóstico aumenta.
3. Se explicaron las características del sistema de distribución y los parámetros logísticos de la empresa, con el fin de flexibilizar el modelo de reabastecimiento y adaptarlo a la capacidad operativa. Para tal fin el modelo propuesto fue la política de inventario de pedidos estándar máximos y mínimos sugerida por USAID (2011) con un inventario de seguridad estadístico (Vidal *et al*, 2011). En el cálculo de los

niveles de inventario se utilizó la técnica de clasificación ABC-XYZ para diferenciar los niveles de servicio según la importancia y estabilidad de demanda del ítem.

4. Se simuló la política de pedidos estándar máximos y mínimos utilizando el software ARENA®. Para esto se consideró el comportamiento de la demanda y los parámetros necesarios para definir la política. Para la construcción del modelo se hizo uso intensivo de módulos del tipo variable y módulos del tipo asignación. También se validaron las distribuciones de probabilidad de demanda en cada sucursal y en el centro de distribución utilizando las pruebas de bondad de ajuste chi - cuadrado y Kolmogorov - Smirnov con el uso del software Input analyzer. Se optimizaron los niveles de inventario de la política propuesta utilizando la técnica búsqueda tabú y búsqueda dispersa empleadas por el software de optimización OptQuest®. Estas diferentes optimizaciones se hicieron con el objeto de conocer el rendimiento del sistema y mejorarlo.

A la luz de los resultados obtenidos en esta investigación se concluye que la política de pedidos estándar máximos y mínimos garantiza un alto nivel de servicio, aceptando la primera hipótesis de investigación. En cambio, se rechazó la segunda y tercera hipótesis de investigación, comprobando lo mencionado por USAID (2011), que esta política ocasiona altos niveles de inventario, aminorando la eficiencia en la rotación de estos. En el acápite de discusión de resultados se expusieron las limitaciones vigentes en este estudio y en las recomendaciones se sugirieron posibles líneas de investigación en el tema.

## **X. Recomendaciones**

A continuación se enumeran una serie de recomendaciones, cuya implementación podrían complementar los resultados obtenidos en esta investigación y aportar al campo de la administración de inventarios y la cadena de suministros.

- Se sugiere para investigaciones futuras comparar el rendimiento de esta política con un enfoque no estadístico, tal y como lo sugiere originalmente USAID (2011).
- Es recomendable realizar una investigación alterna enfocada en el desarrollo de análisis estadísticos de autocorrelación para series de tiempo.
- Por otro lado, se pueden utilizar técnicas de pronósticos autoregresivos, como Box-Jenkins y técnicas de pronósticos causales para explorar distintos resultados en la predicción de demanda.
- Una investigación a fondo sobre el equilibrio entre nivel de servicio y rotación de inventario utilizando esta política podría derivar en aplicaciones prácticas en la industria, tal y como lo sugiere Schroeder (1992).

## XI. Bibliografía

- Abreu, J. (2012). Hipótesis, método y diseño de investigación. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 7(2), 187-197.
- Arango, J., Castrillón, O., & Giraldo, J. (s.f.). Modelo de gestión de compras basado en Inventarios por Demanda según Nivel de Servicio a partir de Pronósticos de Venta. 1-6.
- Ballou, R. (2004). *Logística administración de la cadena de suministro. Quinta edición*. México, D.F.: Pearson Prentice Hall.
- Ballou, R. (2004). *Logística: administración de la cadena de suministro*. México: Pearson Education.
- Bowersox, D., Closs, D., & Cooper, M. (2007). *Administración y logística en la cadena de suministros. Segunda edición*. México, D.F.: McGraw Hill / Interamericana Editores S.A. De C.V.
- Bulinsky, J., Waszkiewicz, C., & Buraczewski, P. (2013). Utilization of ABC/XYZ analysis in stock planning in the enterprise. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Agriculture*, (61), 89-96.
- Chase, R., & Jacobs, R. (2013). *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministro*. Bogotá: McGrawHill .
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, Planeación y Operación*. México: Pearson, Prentice Hall.
- CSCMP. (s.f.). *CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary*. Obtenido de [http://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921](http://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921)

- Dobrota, M., & Vujosevic, M. (2015). Forecasting and inventory performance in direct-store delivery supply chain: case of retailer in Serbia. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5(1); 9 - 16.
- Errasti, A., Chackelson, C., & Santos, J. (2010). Sistema experto de mejora de la gestión de inventarios soportado en métodos de previsión de demanda: Estudio de caso. *4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management XIV Congreso de Ingeniería de Organización*, (págs. 1830-1838). Donostia-San Sebastián .
- Escobar, C. (2013). *Entendiendo la logística: sus elementos esenciales y la planificación del abastecimiento*. Managua.
- Estrada, S., Restrepo, L., & Ballesteros, P. (2010). Análisis de los costos logísticos en la administración de la cadena de suministro. *Scientia Et Technica*, 16(45), 272-277.
- Gaither, N., & Frazier, G. (2000). *Administración de producción y operaciones*. Octava edición. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Gálvez, T. (2016). *¿Cómo medir la precisión de los pronósticos? Aprende todo sobre pronósticos*.
- Gálvez, T. (2017). Certificado profesional en pronósticos y planeación de demanda. *Presentación en Power Point*.
- Gattorna, J. (2014). *Cadenas de abastecimiento dinámicas* . España: Ecoe Ediciones.
- Guerrero, H. (2009). *Inventarios. Manejo y control*. Bogotá, D.C.: ECOE ediciones .
- Hanke, J. (2010). *Pronóstico en los negocios*. Madrid: Prentice Hall.
- Heizer, J., & Render, B. (2017). *Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones tácticas*. Nueva Jersey, Estados Unidos: Pearson Prentice Hall.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*, 5ta edición. Mexico, D.F.: McGraw Hill.

- Kelton, W., Sadowski, R., & Sturrock, D. (2008). Realización de estudios de simulación. En W. Kelton, R. Sadowski, & D. Sturrock, *Simulación con Software Arena. Cuarta edición* (págs. 535-553). México, D.F.: McGraw Hill.
- KPMG. (2016). *Perspectivas globales de la Industria de Manufactura 2016: compitiendo por el desarrollo*. Obtenido de <https://home.kpmg.com/mx/es/home/tendencias/2016/05/perspectivas-globales-industria-manufactura-2016.html>
- Krajčovič, M., & Plinta, D. (2012). Comprehensive approach to the inventory control system improvement . *Management and Production Engineering Review*, 3(3), 10-23, DOI: <https://doi.org/10.2478/v10270-012-0022-0>.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Administración de operaciones procesos y cadenas de valor. Octava edición*. México, D.F.: Pearson Educación.
- Mallick, B., Dutta, O., & Das, S. (2012). A Case Study on Inventory Management Using Selective Control Techniques . *Journal of the Association of Engineers, India*, 82, 10-24. DOI: 10.22485/jaei/2012/v82/i1-2/119950.
- Pyke, D., & Silver, E. (2001). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. Boston: John Wiley and Sons.
- Restrepo Correa, J., & Cruz Trejos, E., & Medina Varela, P. (2007). Negociación de portafolios de acciones usando un híbrido de las meta-heurísticas búsqueda dispersa, recocido simulado, y búsqueda tabú. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, XV (2), 79-95.
- Schroeder, R. (1992). *Administración de operaciones: toma de decisiones en la función de operaciones. Tercera edición* . México, D.F.: McGraw Hill.
- Schwarz, L. (2008). The economic order-quantity (EOQ) model. En L. Schwarz, *Building intuition: Insights from basic operations management models and principles* (págs. 135-155). Berlín: Springer.

USAID. (2011). *Manual de logística. Guía práctica para la gerencia de cadenas de suministros de productos de salud. Segunda edición*. Arlington, Va: USAID - PROYECTO DELIVER, Orden de Trabajo 1.

Vidal, J., Londoño, J., & Contreras, F. (2011). Aplicación de los Modelos de Inventarios en una Cadena de Abastecimiento de Productos de Consumo Masivo con una Bodega y N Puntos de Venta. *Universidad del Valle (Colombia)*, 6 (1), 35-52.

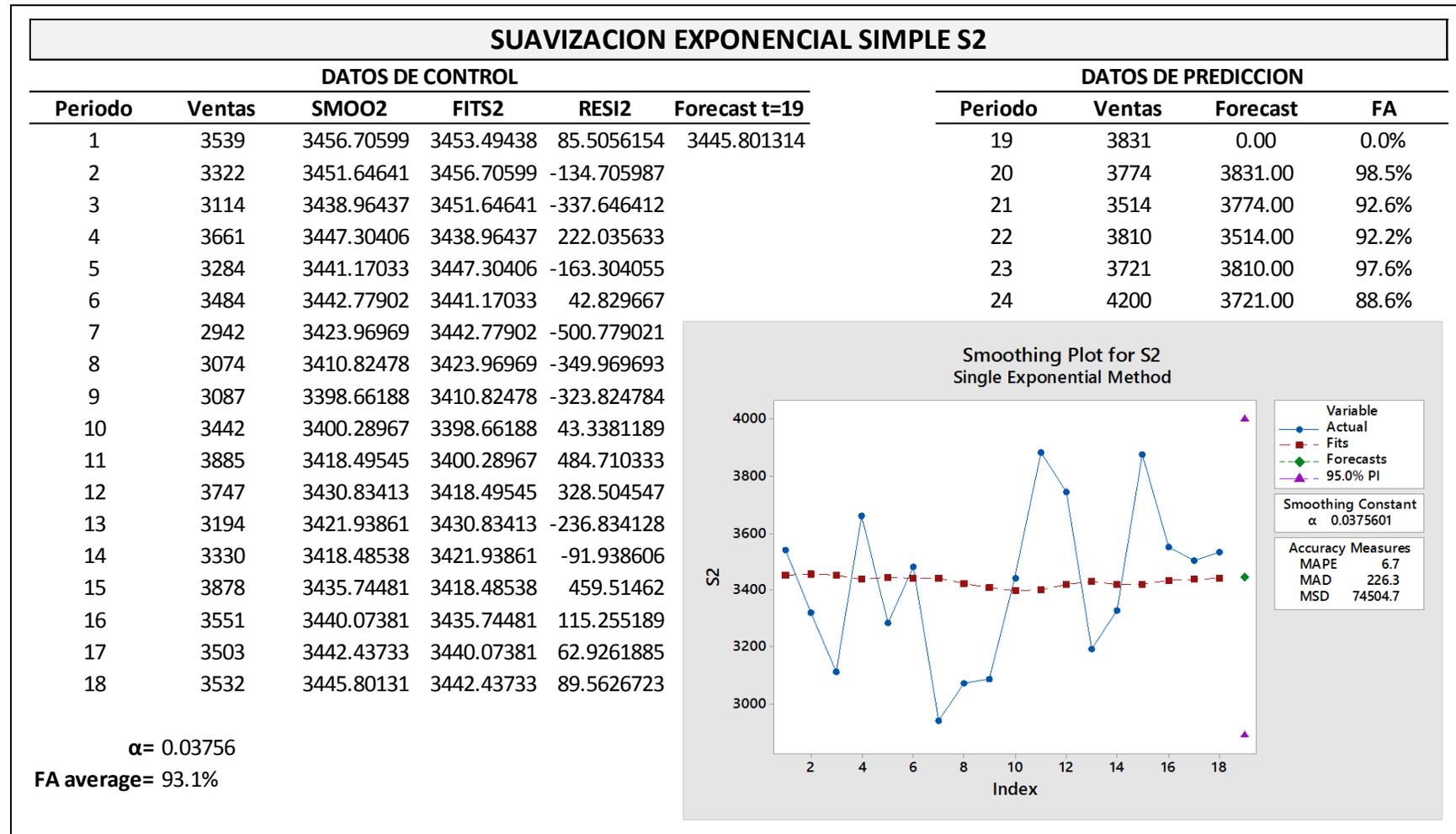
## **XII. Anexos**

## Anexo 1. Ventas mensuales del producto muestra

### Datos ajustados

No.	Periodo	S1	S2	S3	S4	S5	S6	CEDIS
1	ene-16	4328	3539	3026	2850		1657	15400
2	feb-16	3825	3322	2535	2584		1860	14126
3	mar-16	3575	3114	2431	2040		2456	13616
4	abr-16	3944	3661	3104	2509		2852	16070
5	may-16	4115	3284	2222	2402		3430	15453
6	jun-16	3965	3484	2285	2167		2519	14420
7	jul-16	3793	2942	2222	2336		2338	13631
8	ago-16	3965	3074	2273	2505		2337	14154
9	sep-16	3794	3087	2356	2101		2560	13898
10	oct-16	3951	3442	2664	2376		2900	15333
11	nov-16	4178	3885	3242	2456		3277	17038
12	dic-16	4151	3747	3563	2527		3458	17446
13	ene-17	3557	3194	2916	2533	1376	3526	17102
14	feb-17	3765	3330	3069	2556	1443	2911	17074
15	mar-17	4778	3878	2891	2503	1646	3405	19101
16	abr-17	3730	3551	2796	2188	1546	3444	17255
17	may-17	3838	3503	2780	2751	1876	2985	17733
18	jun-17	3721	3532	2352	2389	1724	3329	17047
19	jul-17	3980	3831	2697	2490	1714	3593	18305
20	ago-17	3929	3774	2491	2938	1896	3201	18229
21	sep-17	4048	3514	2315	2772	1408	3099	17156
22	oct-17	4645	3810	2834	2614	1844	3666	19413
23	nov-17	4353	3721	3649	2883	1926	3258	19790
24	dic-17	4644	4200	2946	3183	1832	4295	21100
<b>Promedio</b>		4023.83333	3517.45833	2735.79167	2527.20833	1685.91667	3014.83333	16662
<b>Desv Std</b>		327.24418	310.158021	408.338412	273.235681	199.986572	609.461463	2087.1
<b>Cv</b>		8.13%	8.82%	14.93%	10.81%	11.86%	20.22%	12.53%

## Anexo 2. Modelos de pronóstico



## REGRESION LINEAL SIMPLE S2

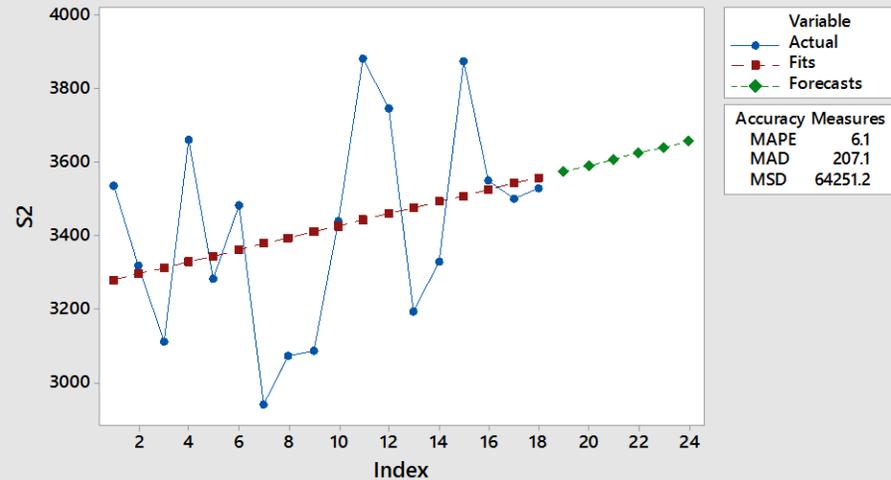
### DATOS DE CONTROL

Periodo	Ventas	FITS2	RESI2	FORE2
1	3539	3281.36842	257.631579	3576
2	3322	3297.73684	24.2631579	3592.36842
3	3114	3314.10526	-200.105263	3608.73684
4	3661	3330.47368	330.526316	3625.10526
5	3284	3346.84211	-62.8421053	3641.47368
6	3484	3363.21053	120.789474	3657.84211
7	2942	3379.57895	-437.578947	
8	3074	3395.94737	-321.947368	
9	3087	3412.31579	-325.315789	
10	3442	3428.68421	13.3157895	
11	3885	3445.05263	439.947368	
12	3747	3461.42105	285.578947	
13	3194	3477.78947	-283.789474	
14	3330	3494.15789	-164.157895	
15	3878	3510.52632	367.473684	
16	3551	3526.89474	24.1052632	
17	3503	3543.26316	-40.2631579	
18	3532	3559.63158	-27.6315789	

### DATOS DE PREDICCION

Periodo	Ventas	Forecast	FA
19	3831	3576.0	93.3%
20	3774	3592.4	95.2%
21	3514	3608.7	97.3%
22	3810	3625.1	95.1%
23	3721	3641.5	97.9%
24	4200	3657.8	87.1%

Trend Analysis Plot for S2  
Linear Trend Model  
 $Y_t = 3265 + 16.4 \times t$



$Y_t = 3265 + 16.5t$

FA average= 94.3%

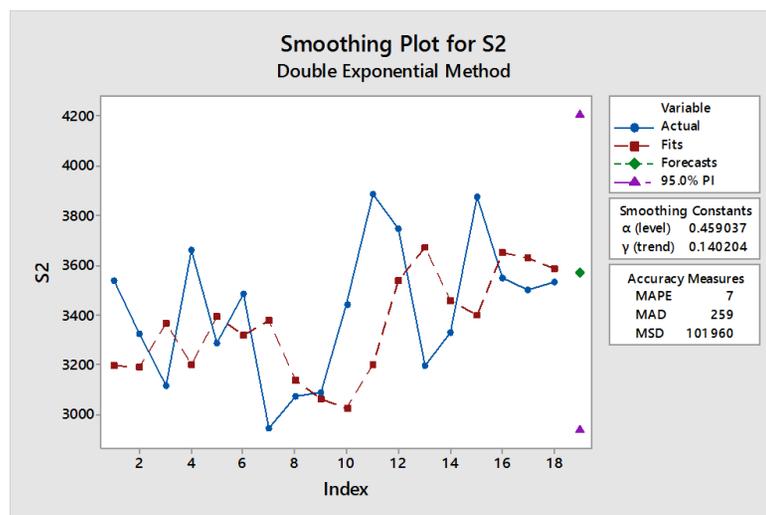
### SUAVIZACION EXPONENCIAL AJUSTADA A LA TENDENCIA S2

DATOS DE CONTROL								DATOS DE PREDICCIÓN			
Periodo	Ventas	SMO01	LEVE1	TREN1	FITS1	RESI1	FORE1	Periodo	Ventas	Ft	FA
1	3539	3353.8909	3353.8909	-164.773717	3196.81587	342.184133	3573.69715	19	3831	3573.69715	93.3%
2	3322	3250.11526	3250.11526	117.07886	3189.11719	132.882812		20	3774	3730.47	98.8%
3	3114	3250.96875	3250.96875	-48.8714602	3367.19412	-253.194121		21	3514	3785.69	92.3%
4	3661	3412.75043	3412.75043	-19.33705	3202.09729	458.902705		22	3810	3678.1	96.5%
5	3284	3343.18863	3343.18863	-26.3787596	3393.41338	-109.413378		23	3721	3764.73	98.8%
6	3484	3393.55626	3393.55626	-15.6186101	3316.80987	167.190126		24	4200	3767.78	89.7%
7	2942	3177.82632	3177.82632	-43.6750176	3377.93765	-435.93765					
8	3074	3106.53965	3106.53965	-47.5462808	3134.1513	-60.1512996					
9	3087	3071.84944	3071.84944	-45.7438089	3058.99337	28.0066287					
10	3442	3217.01636	3217.01636	-18.977362	3026.10563	415.89437					
11	3885	3513.37924	3513.37924	25.2345976	3198.039	686.960998					
12	3747	3634.27071	3634.27071	38.6460734	3538.61383	208.386166					
13	3194	3453.07646	3453.07646	7.82358204	3672.91678	-478.916782					
14	3330	3400.81213	3400.81213	-0.60098236	3460.90004	-130.900038					
15	3878	3619.53371	3619.53371	30.1489168	3400.21115	477.788852					
16	3551	3604.38369	3604.38369	23.7978248	3649.68263	-98.6826305					
17	3503	3570.71862	3570.71862	15.7412973	3628.18152	-125.181517					
18	3532	3561.46082	3561.46082	12.2363244	3586.45992	-54.4599176					

$\alpha = 0.459037$

$\beta = 0.140204$

FA average= 94.9%



## REGRESION EXPONENCIAL S2

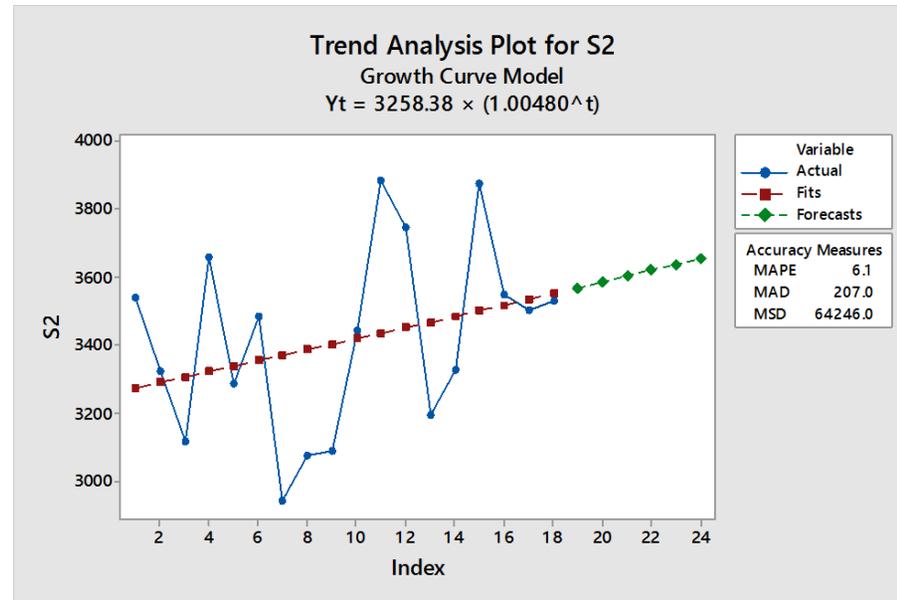
### DATOS DE CONTROL

Periodo	Ventas	FITS1	RESI1	FORE1
1	3539	3274.0171	264.982896	3568.74129
2	3322	3289.73274	32.2672574	3585.87163
3	3114	3305.52382	-191.523817	3603.08421
4	3661	3321.39069	339.609309	3620.3794
5	3284	3337.33373	-53.3337277	3637.75762
6	3484	3353.35329	130.646708	3655.21925
7	2942	3369.44975	-427.449753	
8	3074	3385.62348	-311.623478	
9	3087	3401.87484	-314.874839	
10	3442	3418.20421	23.7957918	
11	3885	3434.61196	450.38804	
12	3747	3451.09847	295.901529	
13	3194	3467.66412	-273.664119	
14	3330	3484.30928	-154.309284	
15	3878	3501.03435	376.965653	
16	3551	3517.83969	33.1603073	
17	3503	3534.72571	-31.7257058	
18	3532	3551.69277	-19.6927736	

### DATOS DE PREDICCION

Periodo	Ventas	Ft	FA
19	3831	3568.74129	93.2%
20	3774	3585.87163	95.0%
21	3514	3603.08421	97.5%
22	3810	3620.3794	95.0%
23	3721	3637.75762	97.8%
24	4200	3655.21925	87.0%

**FA average=** 94.2%

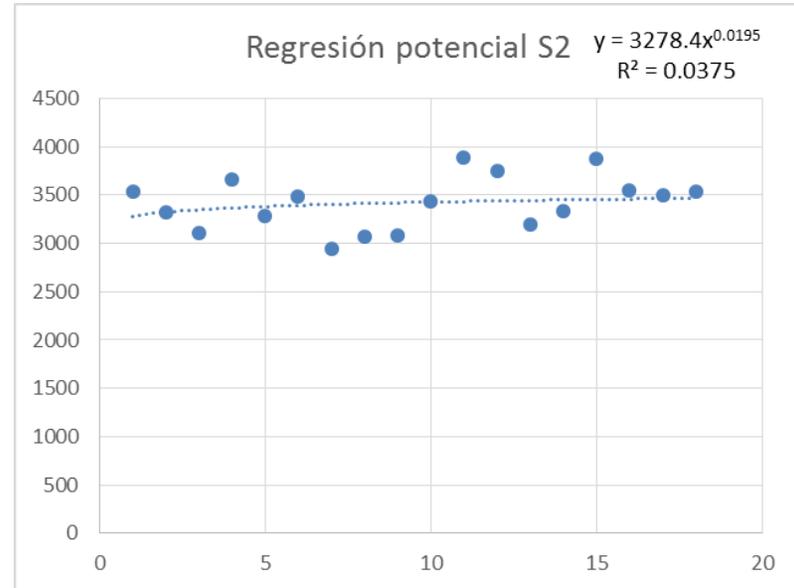


## REGRESION POTENCIAL S2

DATOS DE CONTROL					
Periodo	Ventas	log X	log Y	log X * log Y	(log X) <sup>2</sup>
1	3539	0.0000	3.5489	0.0000	0.0000
2	3322	0.3010	3.5214	1.0600	0.0906
3	3114	0.4771	3.4933	1.6667	0.2276
4	3661	0.6021	3.5636	2.1455	0.3625
5	3284	0.6990	3.5164	2.4579	0.4886
6	3484	0.7782	3.5421	2.7563	0.6055
7	2942	0.8451	3.4686	2.9313	0.7142
8	3074	0.9031	3.4877	3.1497	0.8156
9	3087	0.9542	3.4895	3.3299	0.9106
10	3442	1.0000	3.5368	3.5368	1.0000
11	3885	1.0414	3.5894	3.7380	1.0845
12	3747	1.0792	3.5737	3.8567	1.1646
13	3194	1.1139	3.5043	3.9036	1.2409
14	3330	1.1461	3.5224	4.0372	1.3136
15	3878	1.1761	3.5886	4.2205	1.3832
16	3551	1.2041	3.5504	4.2750	1.4499
17	3503	1.2304	3.5444	4.3613	1.5140
18	3532	1.2553	3.5480	4.4537	1.5757

DATOS DE PREDICION			
Periodo	Ventas	Forecast	FA
19	3831	3472.14	90.6%
20	3774	3475.62	92.1%
21	3514	3478.93	99.0%
22	3810	3482.08	91.4%
23	3721	3485.10	93.7%
24	4200	3488.00	83.0%

FA average= 91.6%



### SUAVIZACION EXPONENCIAL SIMPLE S3

#### DATOS DE CONTROL

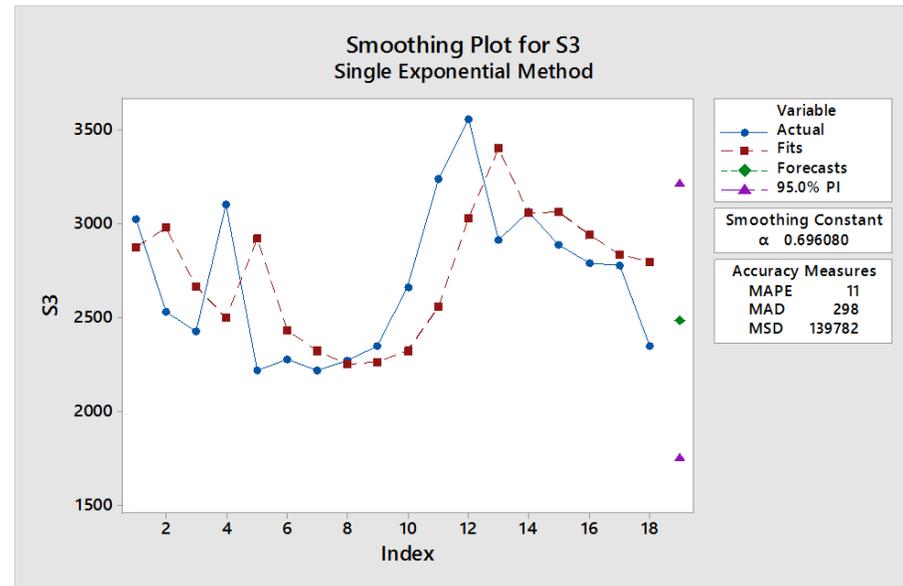
Periodo	Ventas	SMO03	FITS3	RESI3	Forecast t=19
1	3026	2981.22641	2878.67969	147.320313	2487.727926
2	2535	2670.61712	2981.22641	-446.226414	
3	2431	2503.82443	2670.61712	-239.617121	
4	3104	2921.59466	2503.82443	600.17557	
5	2222	2434.62079	2921.59466	-699.594655	
6	2285	2330.47275	2434.62079	-149.620791	
7	2222	2254.96703	2330.47275	-108.472747	
8	2273	2267.51942	2254.96703	18.0329653	
9	2356	2329.10898	2267.51942	88.4805784	
10	2664	2562.21993	2329.10898	334.891015	
11	3242	3035.40126	2562.21993	679.780069	
12	3563	3402.6522	3035.40126	527.598742	
13	2916	3063.90333	3402.6522	-486.652203	
14	3069	3067.45102	3063.90333	5.09667419	
15	2891	2944.62699	3067.45102	-176.451019	
16	2796	2841.17071	2944.62699	-148.626989	
17	2780	2798.591	2841.17071	-61.1707111	
18	2352	2487.72793	2798.591	-446.591001	

#### DATOS DE PREDICCIÓN

Periodo	Ventas	Forecast	FA
19	2697	0.00	0.0%
20	2491	2697.00	91.7%
21	2315	2491.00	92.4%
22	2834	2315.00	81.7%
23	3649	2834.00	77.7%
24	2946	3649.00	76.1%

$\alpha = 0.69608$

FA average= 85.0%



## REGRESION LINEAL SIMPLE S3

### DATOS DE CONTROL

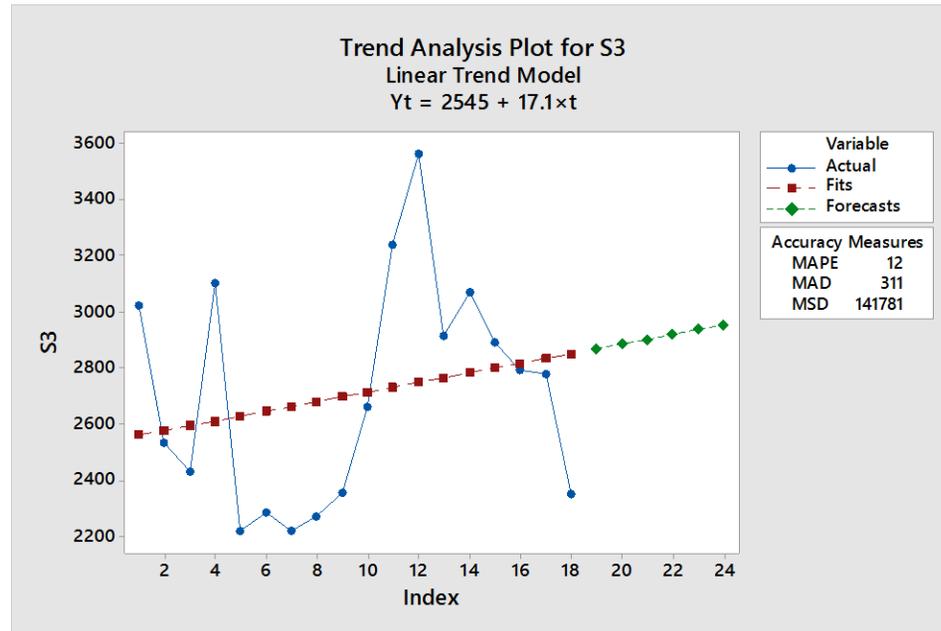
Periodo	Ventas	FITS3	RESI3	FORE3
1	3026	2561.62573	464.374269	2869.59477
2	2535	2578.73512	-43.7351221	2886.70416
3	2431	2595.84451	-164.844513	2903.81355
4	3104	2612.9539	491.046096	2920.92294
5	2222	2630.0633	-408.063295	2938.03234
6	2285	2647.17269	-362.172687	2955.14173
7	2222	2664.28208	-442.282078	
8	2273	2681.39147	-408.391469	
9	2356	2698.50086	-342.50086	
10	2664	2715.61025	-51.6102511	
11	3242	2732.71964	509.280358	
12	3563	2749.82903	813.170967	
13	2916	2766.93842	149.061576	
14	3069	2784.04782	284.952184	
15	2891	2801.15721	89.8427933	
16	2796	2818.2666	-22.2665979	
17	2780	2835.37599	-55.375989	
18	2352	2852.48538	-500.48538	

### DATOS DE PREDICCION

Periodo	Ventas	Forecast	FA
19	2697	2869.595	93.6%
20	2491	2886.704	84.1%
21	2315	2903.814	74.6%
22	2834	2920.923	96.9%
23	3649	2938.032	80.5%
24	2946	2955.142	99.7%

$Y_t = 2545 + 17.1t$

**FA average= 88.2%**



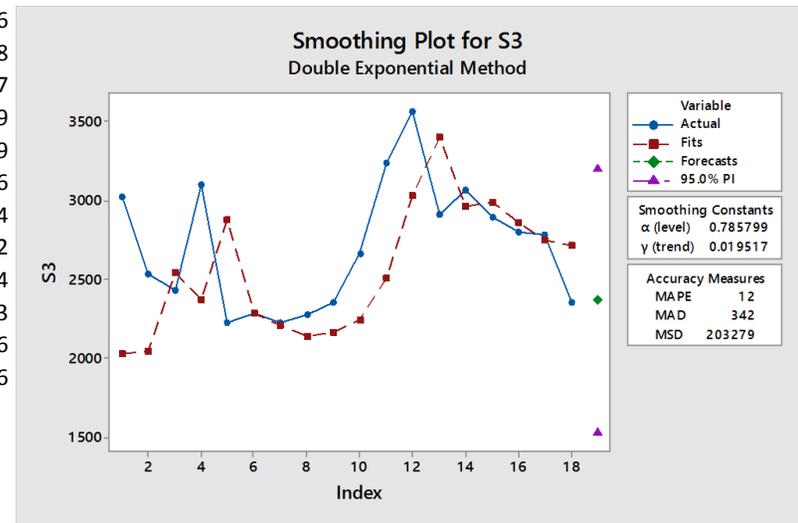
### SUAVIZACION EXPONENCIAL AJUSTADA A LA TENDENCIA S3

DATOS DE CONTROL								DATOS DE PREDICCION			
Periodo	Ventas	SMOO1	LEVE1	TREN1	FITS1	RESI1	FORE1	Periodo	Ventas	Ft	FA
1	3026	2812.77423	2812.77423	-765.468638	2030.55441	995.445591	2368.82309	19	2697	2368.82309	87.8%
2	2535	2430.53521	2430.53521	111.415955	2047.30559	487.694409		20	2491	2656.05	93.4%
3	2431	2454.76589	2454.76589	-80.4071824	2541.95116	-110.951164		21	2315	2529.33	90.7%
4	3104	2947.70986	2947.70986	-69.217083	2374.3587	729.641295		22	2834	2355.66	83.1%
5	2222	2362.62163	2362.62163	-79.2853446	2878.49278	-656.492781		23	3649	2736.35	75.0%
6	2285	2284.64363	2284.64363	-79.2598291	2283.33628	1.66371743		24	2946	3481.39	81.8%
7	2222	2218.44079	2218.44079	-79.0049958	2205.3838	16.6161996					
8	2273	2244.39037	2244.39037	-76.9565964	2139.43579	133.564208					
9	2356	2315.60886	2315.60886	-74.064662	2167.43377	188.566227					
10	2664	2573.50941	2573.50941	-67.5856943	2241.5442	422.455799					
11	3242	3084.33148	3084.33148	-56.2969051	2505.92371	736.076289					
12	3563	3448.40969	3448.40969	-48.0924404	3028.03457	534.965426					
13	2916	3019.7414	3019.7414	-55.5201425	3400.31725	-484.317254					
14	3069	3046.55625	3046.55625	-53.9132097	2964.22126	104.778742					
15	2891	2912.77208	2912.77208	-55.4720521	2992.64304	-101.643044					
16	2796	2809.13055	2809.13055	-56.4121761	2857.30002	-61.3000233					
17	2780	2774.15624	2774.15624	-55.9937731	2752.71837	27.2816296					
18	2352	2430.43249	2430.43249	-61.6094015	2718.16247	-366.162466					

$\alpha = 0.785799$

$\beta = 0.019517$

FA average= 85.3%



## REGRESION EXPONENCIAL S3

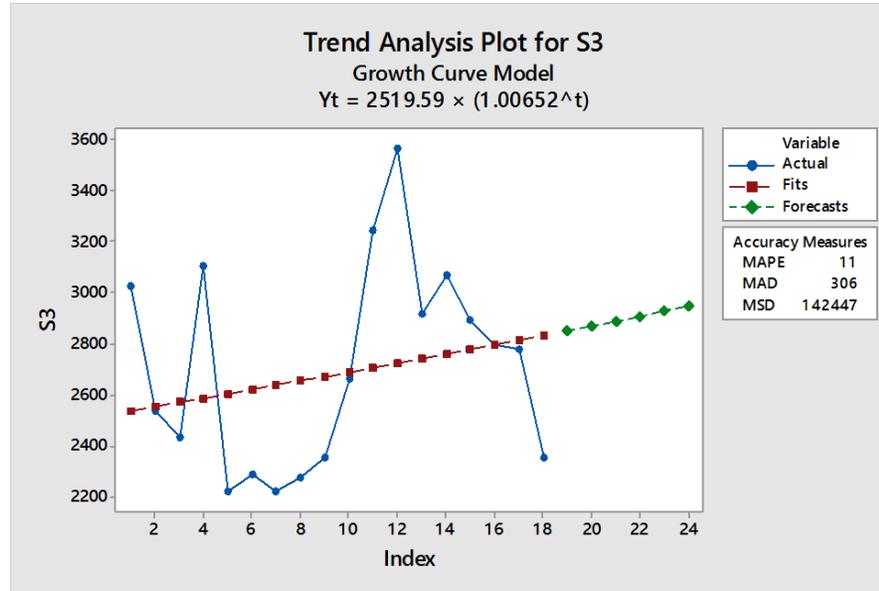
### DATOS DE CONTROL

Periodo	Ventas	FITS1	RESI1	FORE1
1	3026	2536.02145	489.978553	2850.83652
2	2535	2552.56154	-17.5615415	2869.42986
3	2431	2569.20951	-138.209511	2888.14447
4	3104	2585.96606	518.033939	2906.98113
5	2222	2602.8319	-380.831897	2925.94065
6	2285	2619.80773	-334.807733	2945.02382
7	2222	2636.89429	-414.894287	
8	2273	2654.09228	-381.092281	
9	2356	2671.40244	-315.402441	
10	2664	2688.8255	-24.8254987	
11	3242	2706.36219	535.637809	
12	3563	2724.01326	838.986741	
13	2916	2741.77945	174.220552	
14	3069	2759.66151	309.338491	
15	2891	2777.6602	113.339802	
16	2796	2795.77628	0.22372411	
17	2780	2814.01051	-34.0105079	
18	2352	2832.36366	-480.363665	

### DATOS DE PREDICCION

Periodo	Ventas	Ft	FA
19	2697	2850.83652	94.3%
20	2491	2869.42986	84.8%
21	2315	2888.14447	75.2%
22	2834	2906.98113	97.4%
23	3649	2925.94065	80.2%
24	2946	2945.02382	100.0%

**FA average=** 88.7%

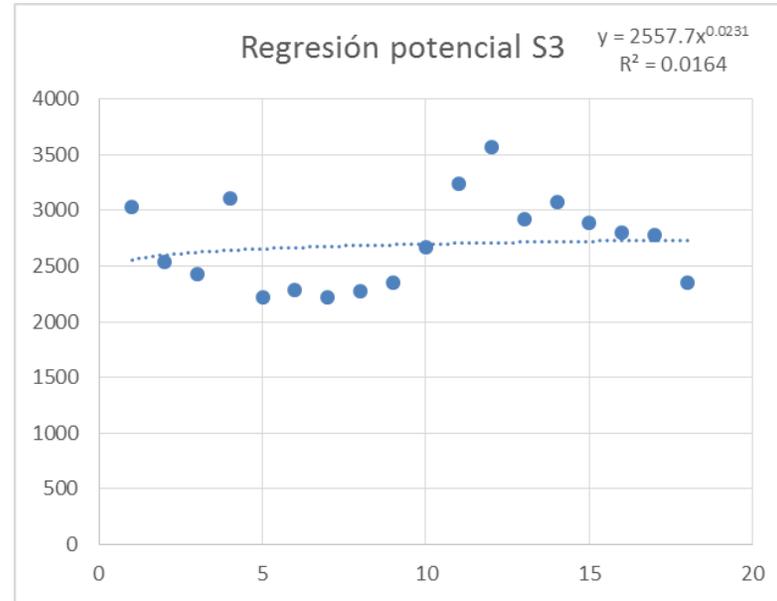


### REGRESION POTENCIAL S3

DATOS DE CONTROL					
Periodo	Ventas	log X	log Y	log X * log Y	(log X) <sup>2</sup>
1	3026	0.0000	3.4809	0.0000	0.0000
2	2535	0.3010	3.4040	1.0247	0.0906
3	2431	0.4771	3.3858	1.6154	0.2276
4	3104	0.6021	3.4919	2.1023	0.3625
5	2222	0.6990	3.3467	2.3393	0.4886
6	2285	0.7782	3.3589	2.6137	0.6055
7	2222	0.8451	3.3467	2.8283	0.7142
8	2273	0.9031	3.3566	3.0313	0.8156
9	2356	0.9542	3.3722	3.2179	0.9106
10	2664	1.0000	3.4255	3.4255	1.0000
11	3242	1.0414	3.5108	3.6561	1.0845
12	3563	1.0792	3.5518	3.8331	1.1646
13	2916	1.1139	3.4648	3.8596	1.2409
14	3069	1.1461	3.4870	3.9965	1.3136
15	2891	1.1761	3.4610	4.0705	1.3832
16	2796	1.2041	3.4465	4.1500	1.4499
17	2780	1.2304	3.4440	4.2377	1.5140
18	2352	1.2553	3.3714	4.2321	1.5757

DATOS DE PREDICCION			
Periodo	Ventas	Forecast	FA
19	2697	2737.72	98.5%
20	2491	2740.96	90.0%
21	2315	2744.06	81.5%
22	2834	2747.01	96.9%
23	3649	2749.83	75.4%
24	2946	2752.53	93.4%

FA average= 89.3%

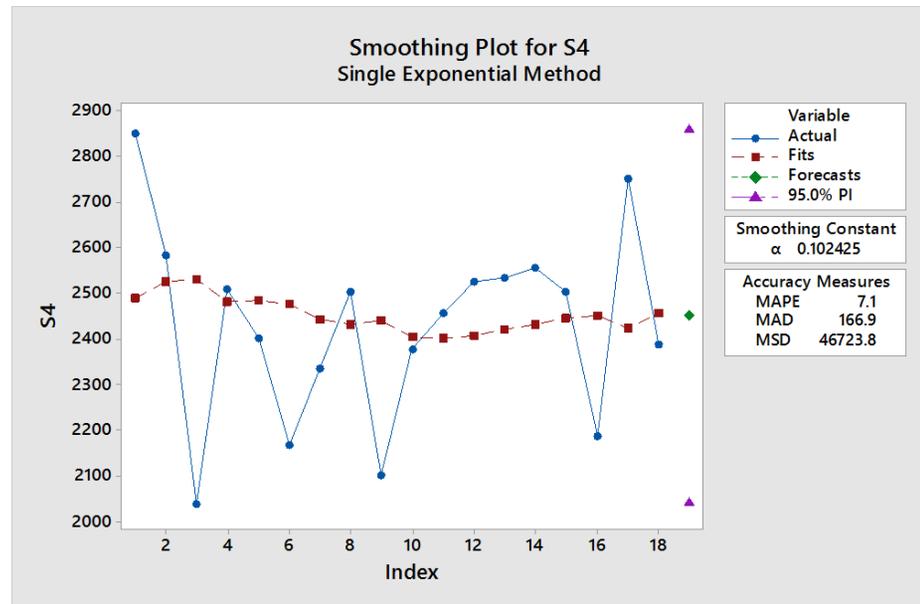


### SUAVIZACION EXPONENCIAL SIMPLE S4

DATOS DE CONTROL						DATOS DE PREDICCION			
Periodo	Ventas	SMO03	FITS3	RESI3	Forecast t=19	Periodo	Ventas	Forecast	FA
1	2850	2526.21917	2489.27141	360.728591	2450.259961	19	2490	0.00	0.0%
2	2584	2532.13739	2526.21917	57.7808339		20	2938	2490.00	84.8%
3	2040	2481.73004	2532.13739	-492.137389		21	2772	2938.00	94.0%
4	2509	2484.52317	2481.73004	27.2699618		22	2614	2772.00	94.0%
5	2402	2476.07071	2484.52317	-82.5231739		23	2883	2614.00	90.7%
6	2167	2444.41403	2476.07071	-309.070708		24	3183	2883.00	90.6%
7	2336	2433.30968	2444.41403	-108.414028					
8	2505	2440.65259	2433.30968	71.6903179					
9	2101	2405.86355	2440.65259	-339.652589					
10	2376	2402.80476	2405.86355	-29.8635492					
11	2456	2408.25331	2402.80476	53.1952357					
12	2527	2420.41598	2408.25331	118.746694					
13	2533	2431.94744	2420.41598	112.584021					
14	2556	2444.65357	2431.94744	124.052562					
15	2503	2450.62972	2444.65357	58.3464331					
16	2188	2423.72978	2450.62972	-262.629721					
17	2751	2457.25055	2423.72978	327.270223					
18	2389	2450.25996	2457.25055	-68.2505483					

$\alpha = 0.10243$

FA average= 92.0%



## REGRESION LINEAL SIMPLE S4

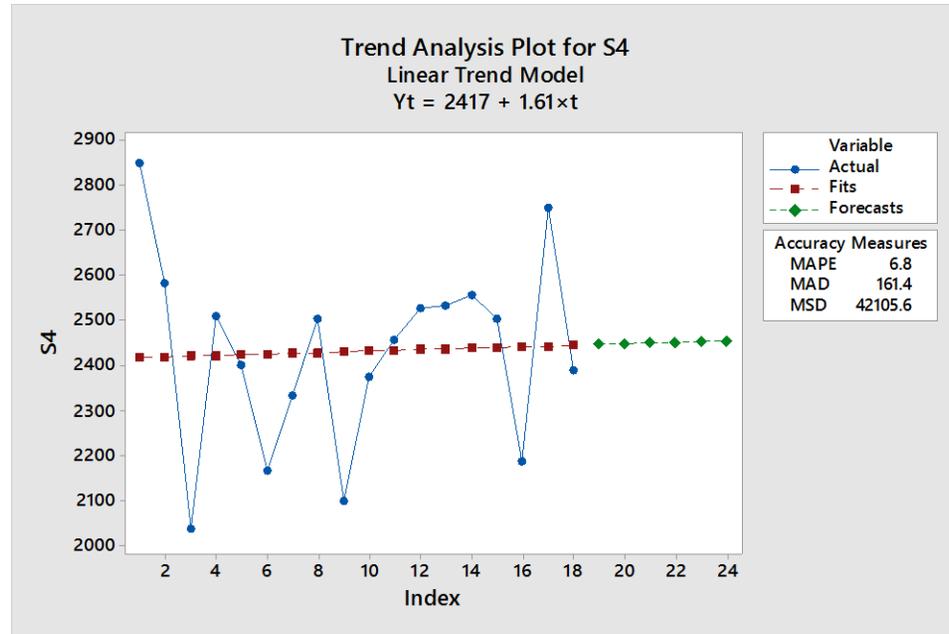
### DATOS DE CONTROL

Periodo	Ventas	FITS3	RESI3	FORE3
1	2850	2418.17544	431.824561	2447.09804
2	2584	2419.78225	164.21775	2448.70485
3	2040	2421.38906	-381.389061	2450.31166
4	2509	2422.99587	86.004128	2451.91847
5	2402	2424.60268	-22.6026832	2453.52528
6	2167	2426.20949	-259.209494	2455.13209
7	2336	2427.81631	-91.8163055	
8	2505	2429.42312	75.5768834	
9	2101	2431.02993	-330.029928	
10	2376	2432.63674	-56.6367389	
11	2456	2434.24355	21.7564499	
12	2527	2435.85036	91.1496388	
13	2533	2437.45717	95.5428277	
14	2556	2439.06398	116.936017	
15	2503	2440.67079	62.3292054	
16	2188	2442.27761	-254.277606	
17	2751	2443.88442	307.115583	
18	2389	2445.49123	-56.4912281	

### DATOS DE PREDICCION

Periodo	Ventas	Forecast	FA
19	2490	2447.10	98.3%
20	2938	2448.70	83.3%
21	2772	2450.31	88.4%
22	2614	2451.92	93.8%
23	2883	2453.53	85.1%
24	3183	2455.13	77.1%

$Y_t = 2417 + 1.61t$   
**FA average= 87.7%**



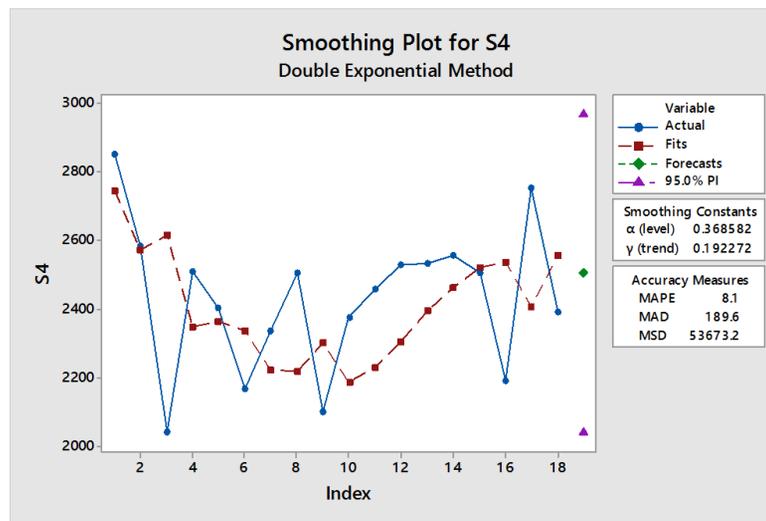
### SUAVIZACION EXPONENCIAL AJUSTADA A LA TENDENCIA S4

DATOS DE CONTROL								DATOS DE PREDICCIÓN			
Periodo	Ventas	SMO01	LEVE1	TREN1	FITS1	RESI1	FORE1	Periodo	Ventas	Ft	FA
1	2850	2782.98789	2782.98789	-212.46591	2743.87043	106.129569	2503.22961	19	2490	2503.22961	99.5%
2	2584	2575.48974	2575.48974	39.5596028	2570.52198	13.4780203		20	2938	2506.72	85.3%
3	2040	2403.09645	2403.09645	-55.8416564	2615.04934	-575.04934		21	2772	2704.08	97.5%
4	2509	2406.87118	2406.87118	-44.3790883	2347.25479	161.74521		22	2614	2772.24	93.9%
5	2402	2377.054	2377.054	-41.5792396	2362.49209	39.5079089		23	2883	2745.91	95.2%
6	2167	2273.37798	2273.37798	-53.5187179	2335.47476	-168.474759		24	3183	2837.96	89.2%
7	2336	2262.66666	2262.66666	-45.2880498	2219.85926	116.140739					
8	2505	2323.3907	2323.3907	-24.9048817	2217.37861	287.621391					
9	2101	2225.69608	2225.69608	-38.9003175	2298.48582	-197.485823					
10	2376	2256.53306	2256.53306	-25.4917818	2186.79577	189.204234					
11	2456	2313.95704	2313.95704	-9.54939507	2231.04128	224.958722					
12	2527	2386.4512	2386.4512	6.22529212	2304.40764	222.592359					
13	2533	2444.39723	2444.39723	16.169746	2392.67649	140.323508					
14	2556	2495.74188	2495.74188	22.932899	2460.56697	95.4330288					
15	2503	2512.89733	2512.89733	21.8220581	2518.67478	-15.6747762					
16	2188	2406.92483	2406.92483	-2.74927034	2534.71939	-346.719392					
17	2751	2532.00884	2532.00884	21.8295026	2404.17556	346.824439					
18	2389	2493.08188	2493.08188	10.1477301	2553.83834	-164.838343					

$\alpha = 0.368582$

$\beta = 0.192272$

FA average= 93.4%



## REGRESION EXPONENCIAL S4

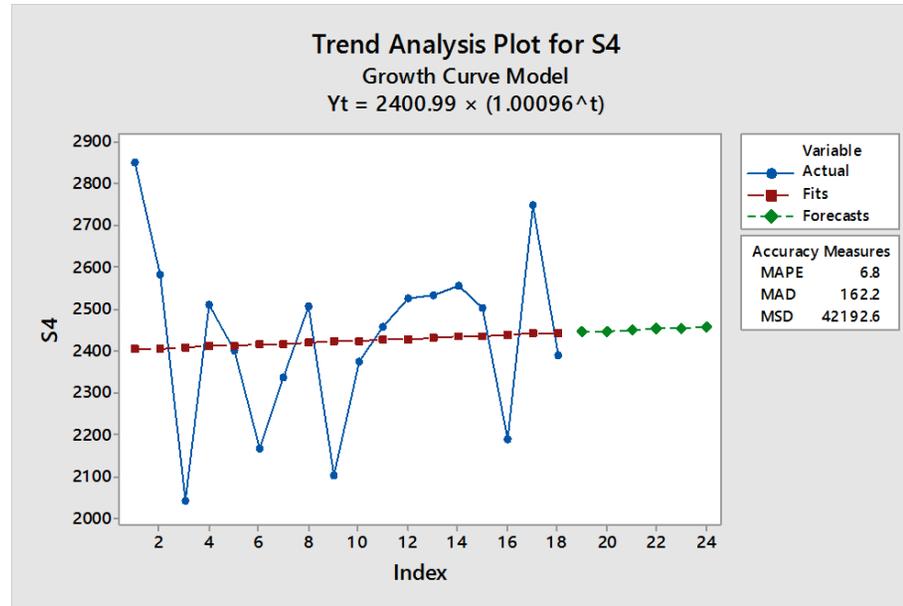
### DATOS DE CONTROL

Periodo	Ventas	FITS1	RESI1	FORE1
1	2850	2403.30508	446.694915	2445.29329
2	2584	2405.61873	178.381268	2447.64736
3	2040	2407.93461	-367.934608	2450.00369
4	2509	2410.25271	98.7472875	2452.3623
5	2402	2412.57305	-10.5730489	2454.72317
6	2167	2414.89562	-247.895619	2457.08632
7	2336	2417.22043	-81.2204251	
8	2505	2419.54747	85.4525307	
9	2101	2421.87675	-320.876754	
10	2376	2424.20828	-48.2082804	
11	2456	2426.54205	29.4579482	
12	2527	2428.87807	98.1219302	
13	2533	2431.21634	101.783663	
14	2556	2433.55685	122.443145	
15	2503	2435.89963	67.1003742	
16	2188	2438.24465	-250.244652	
17	2751	2440.59194	310.408064	
18	2389	2442.94148	-53.9414801	

### DATOS DE PREDICCION

Periodo	Ventas	Ft	FA
19	2490	2445.29329	98.2%
20	2938	2447.64736	83.3%
21	2772	2450.00369	88.4%
22	2614	2452.3623	93.8%
23	2883	2454.72317	85.1%
24	3183	2457.08632	77.2%

**FA average=** 87.7%

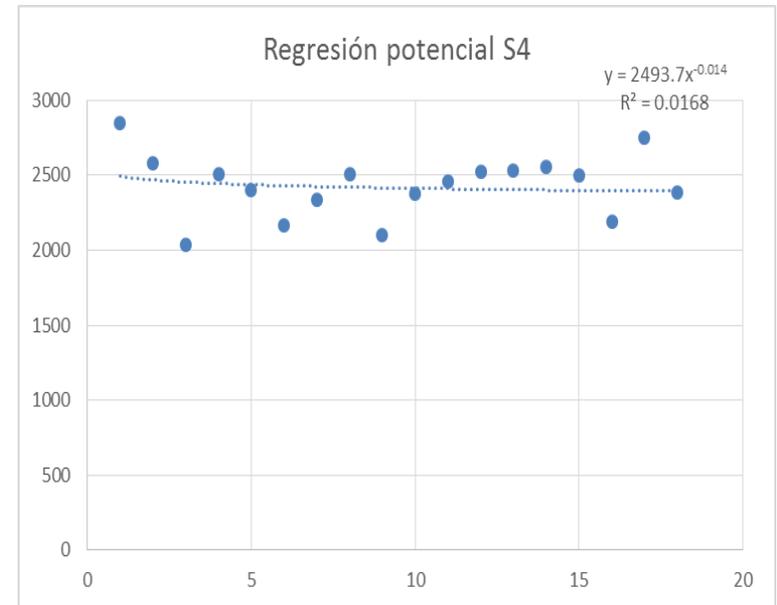


### REGRESION POTENCIAL S4

DATOS DE CONTROL					
Periodo	Ventas	log X	log Y	log X * log Y	(log X) <sup>2</sup>
1	2850	0.0000	3.4548	0.0000	0.0000
2	2584	0.3010	3.4123	1.0272	0.0906
3	2040	0.4771	3.3096	1.5791	0.2276
4	2509	0.6021	3.3995	2.0467	0.3625
5	2402	0.6990	3.3806	2.3629	0.4886
6	2167	0.7782	3.3359	2.5958	0.6055
7	2336	0.8451	3.3685	2.8467	0.7142
8	2505	0.9031	3.3988	3.0694	0.8156
9	2101	0.9542	3.3224	3.1704	0.9106
10	2376	1.0000	3.3758	3.3758	1.0000
11	2456	1.0414	3.3902	3.5306	1.0845
12	2527	1.0792	3.4026	3.6720	1.1646
13	2533	1.1139	3.4036	3.7915	1.2409
14	2556	1.1461	3.4076	3.9055	1.3136
15	2503	1.1761	3.3985	3.9969	1.3832
16	2188	1.2041	3.3400	4.0218	1.4499
17	2751	1.2304	3.4395	4.2321	1.5140
18	2389	1.2553	3.3782	4.2406	1.5757

DATOS DE PREDICION			
Periodo	Ventas	Forecast	FA
19	2490	2420.67	97.2%
20	2938	2419.42	82.3%
21	2772	2418.24	87.2%
22	2614	2417.12	92.5%
23	2883	2416.04	83.8%
24	3183	2415.02	75.9%

FA average= 86.5%



### SUAVIZACION EXPONENCIAL SIMPLE S5

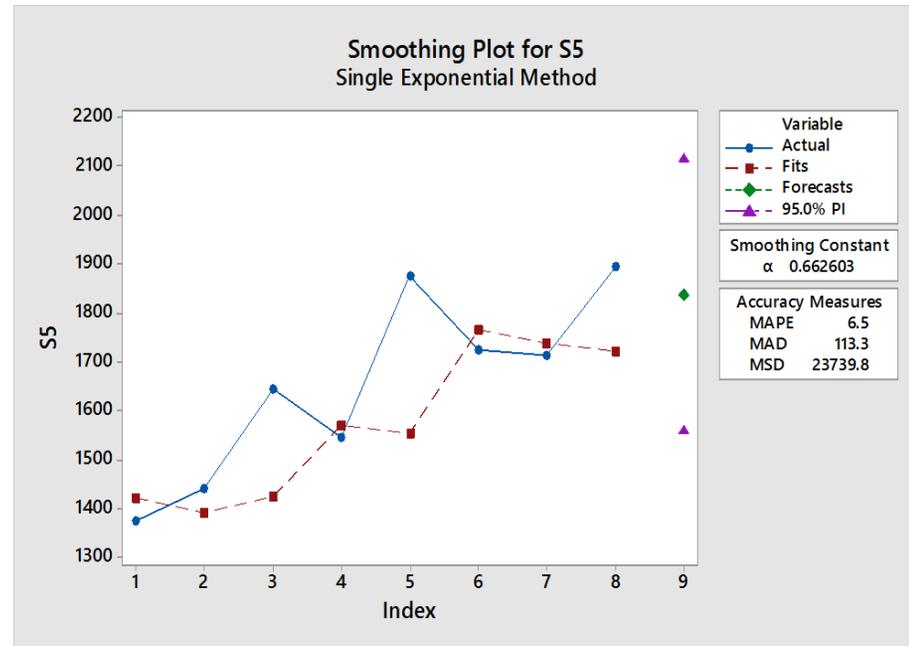
#### DATOS DE CONTROL

Periodo	Ventas	SMO05	FITS5	RESI5	Forecast t=19
1	1376	1391.34171	1421.47076	-45.4707584	1837.405761
2	1443	1425.57064	1391.34171	51.6582917	
3	1646	1571.62774	1425.57064	220.429365	
4	1546	1554.64673	1571.62774	-25.627741	
5	1876	1767.57629	1554.64673	321.353271	
6	1724	1738.70252	1767.57629	-43.5762938	
7	1714	1722.33456	1738.70252	-24.7025212	
8	1896	1837.40576	1722.33456	173.665438	

#### DATOS DE PREDICCION

Periodo	Ventas	Forecast	FA
9	1408	0.00	0.0%
10	1844	1408.00	76.4%
11	1926	1844.00	95.7%
12	1832	1926.00	94.9%

$\alpha = 0.66260$   
**FA average= 75.2%**



## REGRESION LINEAL SIMPLE S5

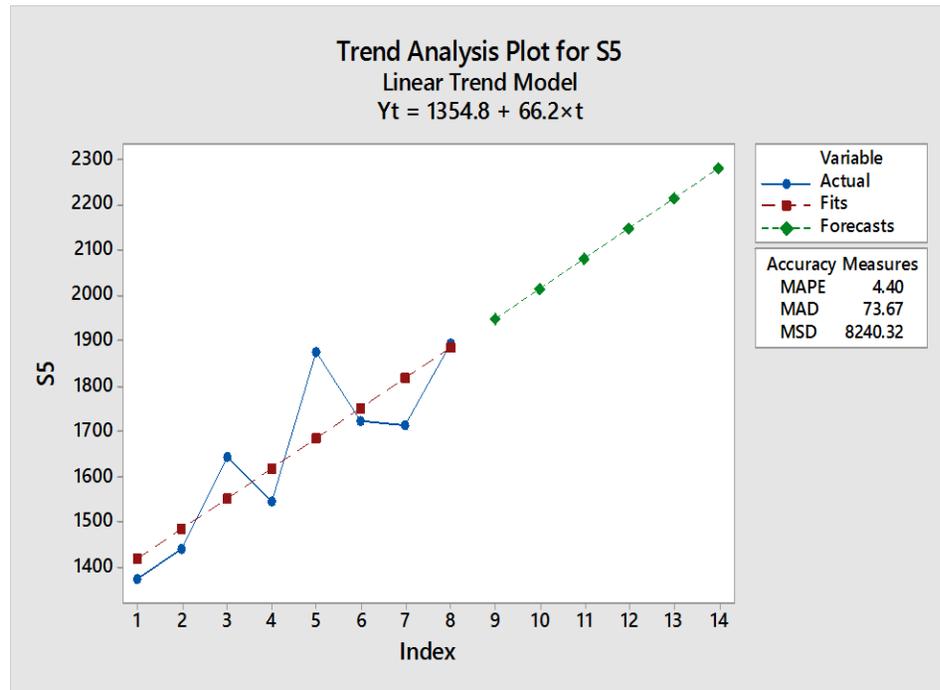
### DATOS DE CONTROL

Periodo	Ventas	FITS5	RESI5	FORE5
1	1376	1421	-45	1950.42857
2	1443	1487.17857	-44.1785714	2016.60714
3	1646	1553.35714	92.6428571	2082.78571
4	1546	1619.53571	-73.5357143	2148.96429
5	1876	1685.71429	190.285714	
6	1724	1751.89286	-27.8928571	
7	1714	1818.07143	-104.071429	
8	1896	1884.25	11.75	

### DATOS DE PREDICCION

Periodo	Ventas	Forecast	FA
9	1408	1950.42857	61.5%
10	1844	2016.60714	90.6%
11	1926	2082.78571	91.9%
12	1832	2148.96429	82.7%

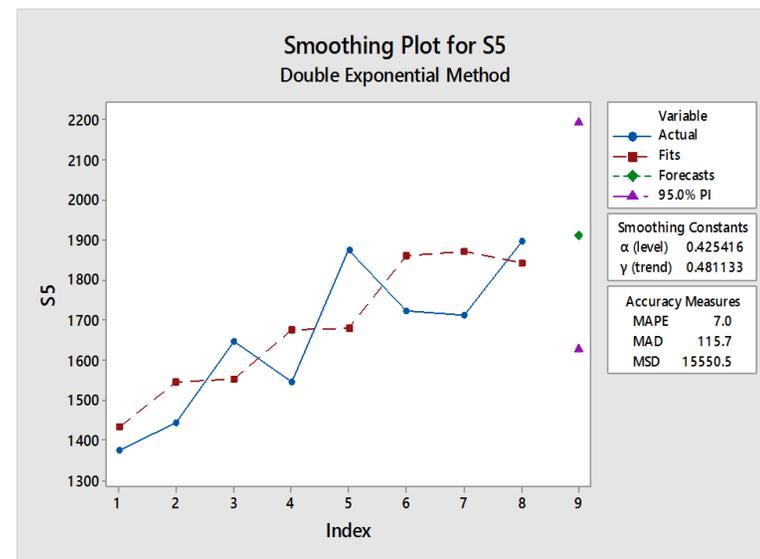
$Y_t = 1654.8 + 66.2t$   
**FA average= 81.7%**



### SUAVIZACION EXPONENCIAL AJUSTADA A LA TENDENCIA S5

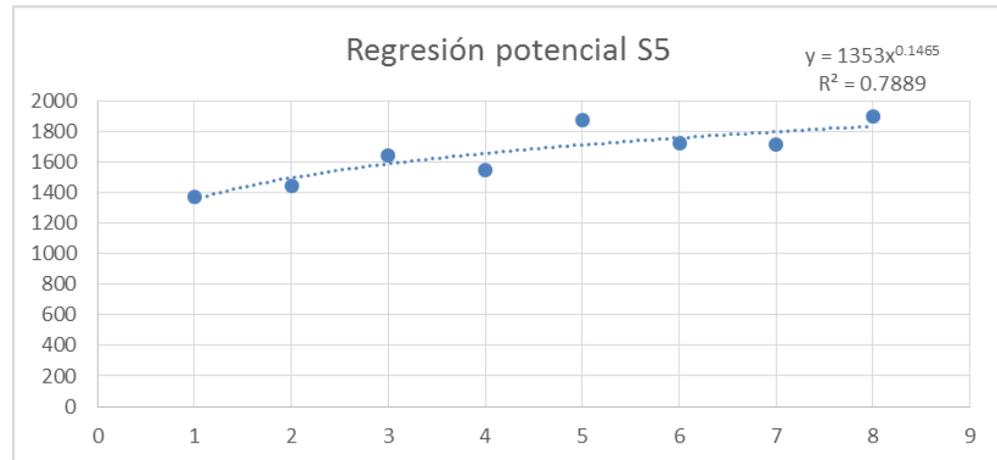
DATOS DE CONTROL								DATOS DE PREDICCION			
Periodo	Ventas	SMO01	LEVE1	TREN1	FITS1	RESI1	FORE1	Periodo	Ventas	Ft	FA
1	1376	1408.22005	1408.22005	136.254777	1432.0754	-56.0754012	1913.43947	9	1408	1913.43947	64.1%
2	1443	1501.30584	1501.30584	52.3408602	1544.47482	-101.474823		10	1844	1657.66	89.9%
3	1646	1592.93524	1592.93524	83.6115403	1553.6467	92.3532989		11	1926	1728.13	89.7%
4	1546	1621.01013	1621.01013	56.8910289	1676.54678	-130.546784		12	1832	1843.16	99.4%
5	1876	1762.17552	1762.17552	97.4381959	1677.90116	198.098837					
6	1724	1801.92151	1801.92151	69.680578	1859.61371	-135.613712					
7	1714	1804.55569	1804.55569	37.4223462	1871.60209	-157.602089					
8	1896	1864.95983	1864.95983	48.4796432	1841.97803	54.0219662					

$\alpha = 0.425416$   
 $\beta = 0.481133$   
**FA average= 85.8%**



## REGRESION POTENCIAL S5

DATOS DE CONTROL						DATOS DE PREDICCION			
Periodo	Ventas	log X	log Y	log X * log Y	(log X) <sup>2</sup>	Periodo	Ventas	Forecast	FA
1	1376	0.0000	3.1386	0.0000	0.0000	9	1408	1864.74	67.6%
2	1443	0.3010	3.1593	0.9510	0.0906	10	1844	1893.64	97.3%
3	1646	0.4771	3.2164	1.5346	0.2276	11	1926	1920.18	99.7%
4	1546	0.6021	3.1892	1.9201	0.3625	12	1832	1944.73	93.8%
5	1876	0.6990	3.2732	2.2879	0.4886				
6	1724	0.7782	3.2365	2.5185	0.6055				
7	1714	0.8451	3.2340	2.7331	0.7142				
8	1896	0.9031	3.2778	2.9602	0.8156				



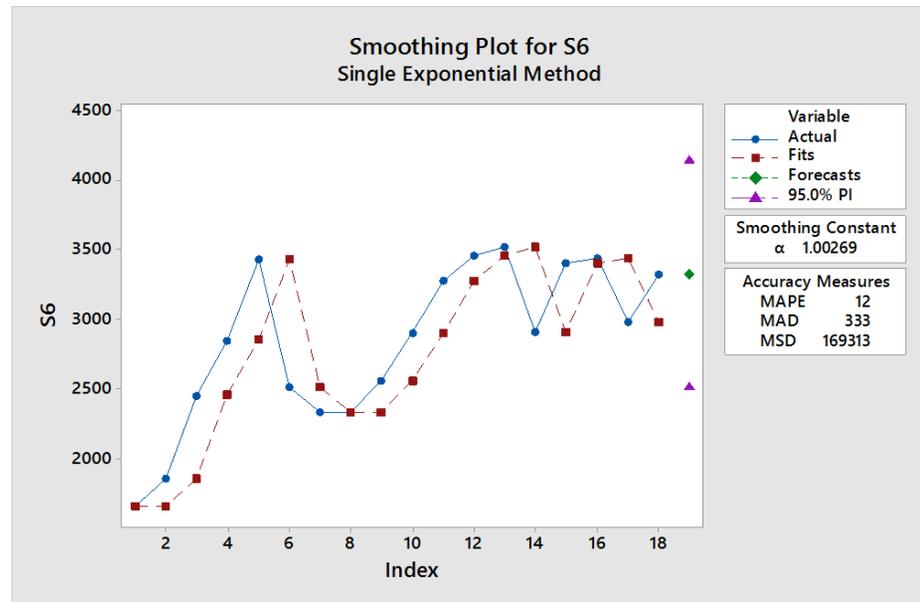
FA average= 89.6%

### SUAVIZACION EXPONENCIAL SIMPLE S6

DATOS DE CONTROL						DATOS DE PREDICCION			
Periodo	Ventas	SMO03	FITS3	RESI3	Forecast t=19	Periodo	Ventas	Forecast	FA
1	1657	1657.00145	1656.45872	0.54128313	3329.927847	19	3593	0.00	0.0%
2	1860	1860.54558	1657.00145	202.998545		20	3201	3593.00	87.8%
3	2456	2457.60034	1860.54558	595.454423		21	3099	3201.00	96.7%
4	2852	2853.05998	2457.60034	394.399664		22	3666	3099.00	84.5%
5	3430	3431.55058	2853.05998	576.940016		23	3258	3666.00	87.5%
6	2519	2516.54744	3431.55058	-912.550577		24	4295	3258.00	75.9%
7	2338	2337.52014	2516.54744	-178.54744					
8	2337	2336.9986	2337.52014	-0.52013796					
9	2560	2560.59934	2336.9986	223.001398					
10	2900	2900.91217	2560.59934	339.400664					
11	3277	3278.01077	2900.91217	376.087831					
12	3458	3458.48374	3278.01077	179.989231					
13	3526	3526.18146	3458.48374	67.516263					
14	2911	2909.34665	3526.18146	-615.181456					
15	3405	3406.33211	2909.34665	495.653355					
16	3444	3444.10124	3406.33211	37.6678878					
17	2985	2983.76612	3444.10124	-459.101236					
18	3329	3329.92785	2983.76612	345.233875					

$\alpha = 1.00269$

FA average= 84.5%



## REGRESION LINEAL SIMPLE S6

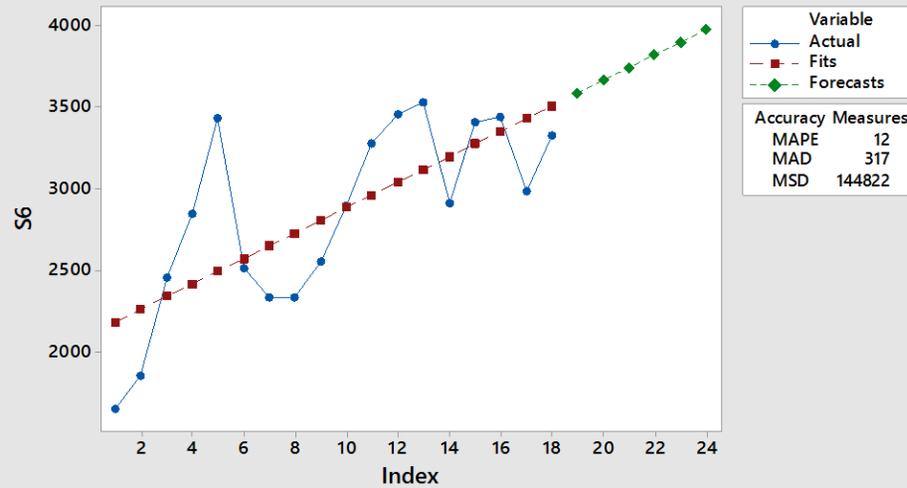
### DATOS DE CONTROL

Periodo	Ventas	FITS3	RESI3	FORE3
1	1657	2185.80117	-528.80117	3585.75163
2	1860	2263.5762	-403.576195	3663.52666
3	2456	2341.35122	114.648779	3741.30169
4	2852	2419.12625	432.873753	3819.07671
5	3430	2496.90127	933.098727	3896.85174
6	2519	2574.6763	-55.6762986	3974.62676
7	2338	2652.45132	-314.451324	
8	2337	2730.22635	-393.22635	
9	2560	2808.00138	-248.001376	
10	2900	2885.7764	14.2235982	
11	3277	2963.55143	313.448572	
12	3458	3041.32645	416.673547	
13	3526	3119.10148	406.898521	
14	2911	3196.8765	-285.876505	
15	3405	3274.65153	130.348469	
16	3444	3352.42656	91.5734434	
17	2985	3430.20158	-445.201582	
18	3329	3507.97661	-178.976608	

### DATOS DE PREDICCION

Periodo	Ventas	Forecast	FA
19	3593	3585.75	99.8%
20	3201	3663.53	85.6%
21	3099	3741.30	79.3%
22	3666	3819.08	95.8%
23	3258	3896.85	80.4%
24	4295	3974.63	92.5%

Trend Analysis Plot for S6  
Linear Trend Model  
 $Y_t = 2108 + 77.8t$



$Y_t = 2108 + 77.8t$

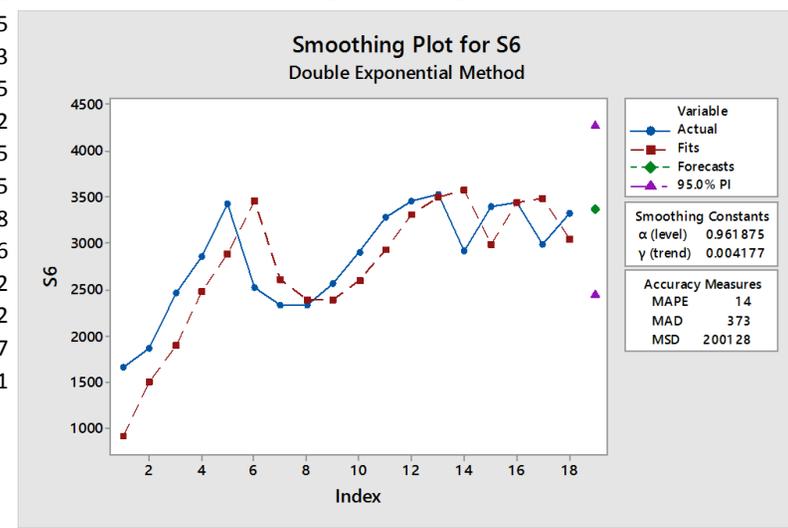
FA average= 88.9%

### SUAVIZACION EXPONENCIAL AJUSTADA A LA TENDENCIA S6

DATOS DE CONTROL							
Periodo	Ventas	SMO01	LEVE1	TREN1	FITS1	RESI1	FORE1
1	1657	1628.53915	1628.53915	-130.955635	910.478251	746.521749	3365.87059
2	1860	1846.18301	1846.18301	52.291093	1497.58351	362.416488	
3	2456	2434.74454	2434.74454	46.7702487	1898.4741	557.525896	
4	2852	2837.87539	2837.87539	48.2589394	2481.51479	370.485211	
5	3430	3409.26533	3409.26533	50.4443107	2886.13433	543.865666	
6	2519	2554.86419	2554.86419	46.6643335	3459.70964	-940.709642	
7	2338	2348.04692	2348.04692	45.6054182	2601.52853	-263.528525	
8	2337	2339.15985	2339.15985	45.3777767	2393.65234	-56.6523413	
9	2560	2553.31056	2553.31056	46.0828229	2384.53763	175.462375	
10	2900	2888.53949	2888.53949	47.290726	2599.39339	300.606612	
11	3277	3263.99303	3263.99303	48.6616209	2935.83022	341.169785	
12	3458	3452.45876	3452.45876	49.2456503	3312.65465	145.345345	
13	3526	3525.07374	3525.07374	49.3432753	3501.70442	24.2955848	
14	2911	2936.29252	2936.29252	46.6775205	3574.41702	-663.417016	
15	3405	3388.91027	3388.91027	48.3733293	2982.97004	422.029962	
16	3444	3443.74394	3443.74394	48.4003172	3437.2836	6.71639992	
17	2985	3004.33468	3004.33468	46.3625006	3492.14426	-507.144257	
18	3329	3318.38981	3318.38981	47.4807823	3050.69718	278.302821	

DATOS DE PREDICCION			
Periodo	Ventas	Ft	FA
19	3593	3365.87059	93.7%
20	3201	3663.4	85.6%
21	3099	3288.13	93.9%
22	3666	3168.17	86.4%
23	3258	3711.83	86.1%
24	4295	3333.68	77.6%

$\alpha = 0.961875$   
 $\beta = 0.004177$   
**FA average= 87.2%**



## REGRESION EXPONENCIAL S6

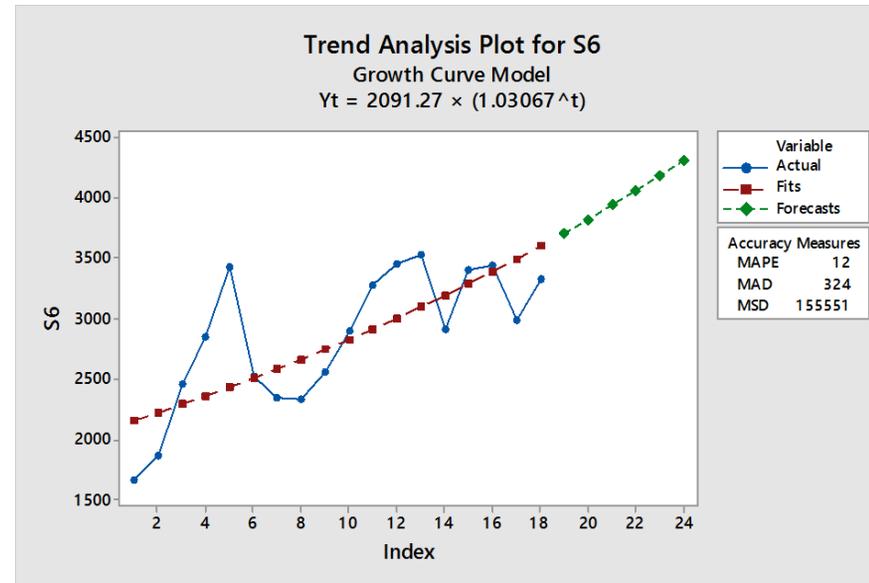
### DATOS DE CONTROL

Periodo	Ventas	FITS1	RESI1	FORE1
1	1657	2155.41474	-498.41474	3712.73448
2	1860	2221.52404	-361.524042	3826.60875
3	2456	2289.661	166.339001	3943.97569
4	2852	2359.8878	492.112197	4064.94243
5	3430	2432.26855	997.731447	4189.61936
6	2519	2506.86931	12.1306885	4318.1203
7	2338	2583.75817	-245.75817	
8	2337	2663.00531	-326.005307	
9	2560	2744.68305	-184.683054	
10	2900	2828.86596	71.1340382	
11	3277	2915.63087	361.369134	
12	3458	3005.05696	452.943041	
13	3526	3097.22586	428.774136	
14	2911	3192.22171	-281.221706	
15	3405	3290.13119	114.868809	
16	3444	3391.04368	52.9563166	
17	2985	3495.05129	-510.05129	
18	3329	3602.24894	-273.248942	

### DATOS DE PREDICCION

Periodo	Ventas	Ft	FA
19	3593	3712.73448	96.7%
20	3201	3826.60875	80.5%
21	3099	3943.97569	72.7%
22	3666	4064.94243	89.1%
23	3258	4189.61936	71.4%
24	4295	4318.1203	99.5%

**FA average=** 85.0%

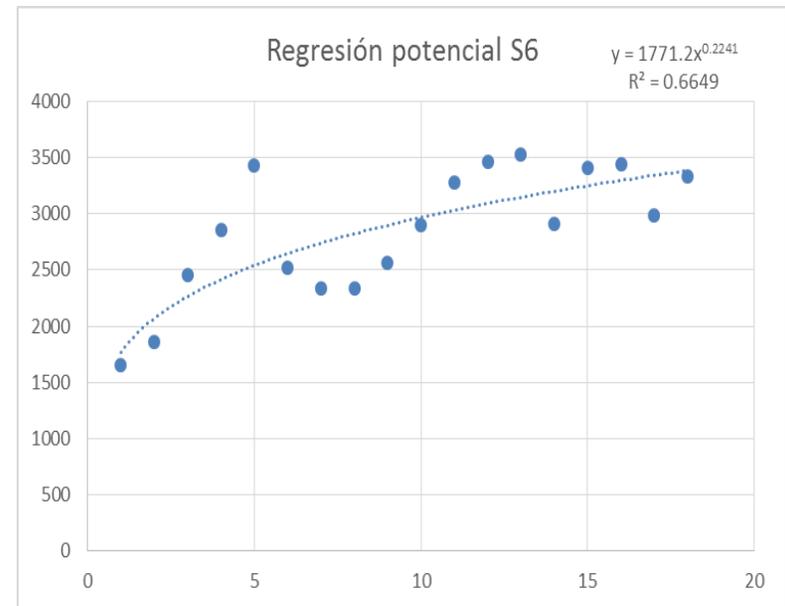


## REGRESION POTENCIAL S6

DATOS DE CONTROL					
Periodo	Ventas	log X	log Y	log X * log Y	(log X) <sup>2</sup>
1	1657	0.0000	3.2193	0.0000	0.0000
2	1860	0.3010	3.2695	0.9842	0.0906
3	2456	0.4771	3.3902	1.6176	0.2276
4	2852	0.6021	3.4551	2.0802	0.3625
5	3430	0.6990	3.5353	2.4711	0.4886
6	2519	0.7782	3.4012	2.6467	0.6055
7	2338	0.8451	3.3688	2.8470	0.7142
8	2337	0.9031	3.3687	3.0422	0.8156
9	2560	0.9542	3.4082	3.2523	0.9106
10	2900	1.0000	3.4624	3.4624	1.0000
11	3277	1.0414	3.5155	3.6610	1.0845
12	3458	1.0792	3.5388	3.8190	1.1646
13	3526	1.1139	3.5473	3.9515	1.2409
14	2911	1.1461	3.4640	3.9702	1.3136
15	3405	1.1761	3.5321	4.1541	1.3832
16	3444	1.2041	3.5371	4.2590	1.4499
17	2985	1.2304	3.4749	4.2757	1.5140
18	3329	1.2553	3.5223	4.4215	1.5757

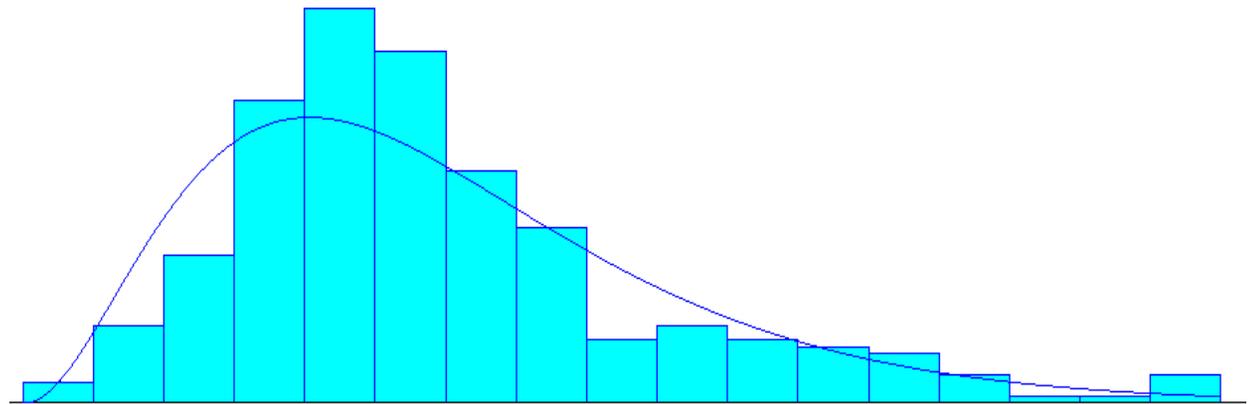
DATOS DE PREDICION			
Periodo	Ventas	Forecast	FA
19	3593	3424.99	95.3%
20	3201	3464.57	91.8%
21	3099	3502.64	87.0%
22	3666	3539.33	96.5%
23	3258	3574.75	90.3%
24	4295	3608.99	84.0%

FA average= 90.8%

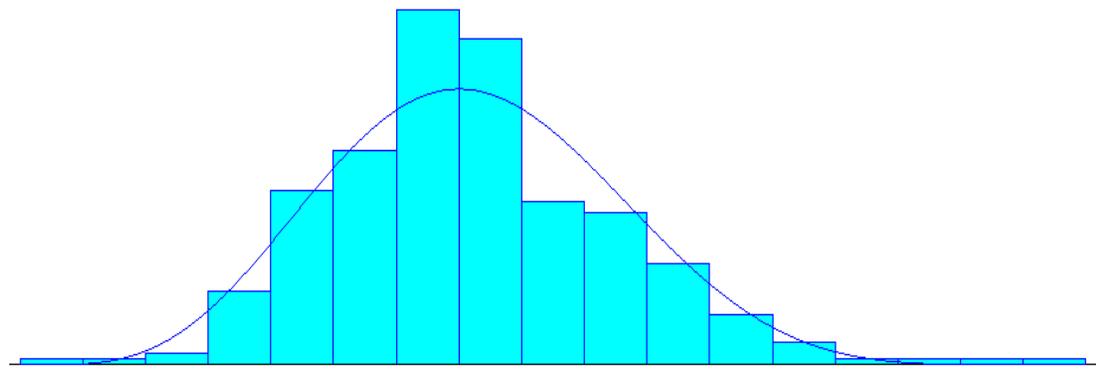


### Anexo 3. Distribuciones de probabilidad teóricas para demanda

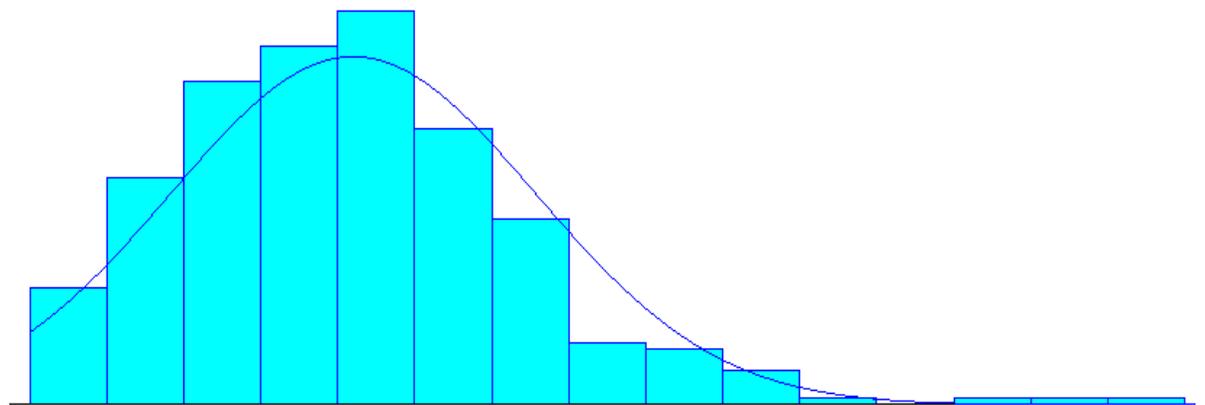
Distribution Summary S1	
Distribution:	Gamma
Expression:	10 + GAMM(49.5, 3.15)
Square Error:	0.008842
Chi Square Test	
Number of intervals	11
Degrees of freedom	8
Test Statistic	26.2
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	0.0721
Corresponding p-value	0.0905
Data Summary	
Number of Data Points	296
Min Data Value	10
Max Data Value	456
Sample Mean	166
Sample Std Dev	79.9
Histogram Summary	
Histogram Range	= 10 to 456
Number of Intervals	17



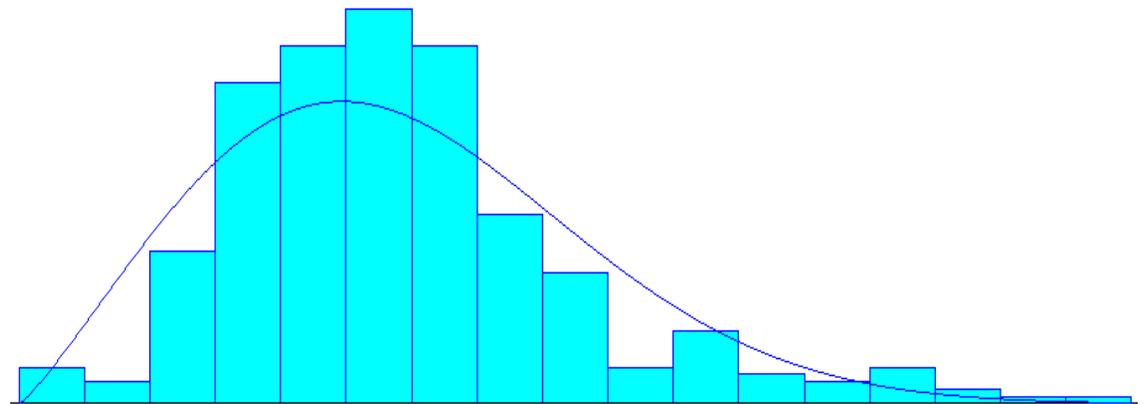
Distribution Summary S2	
Distribution:	Beta
Expression:	$8 + 327 * \text{BETA}(5.42, 7.32)$
Square Error:	0.00605
Chi Square Test	
Number of intervals	9
Degrees of freedom	6
Test Statistic	13
Corresponding p-value	0.0448
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	0.0744
Corresponding p-value	0.074
Data Summary	
Number of Data Points	298
Min Data Value	8
Max Data Value	335
Sample Mean	147
Sample Std Dev	43.6
Histogram Summary	
Histogram Range	= 8 to 335
Number of Intervals	17



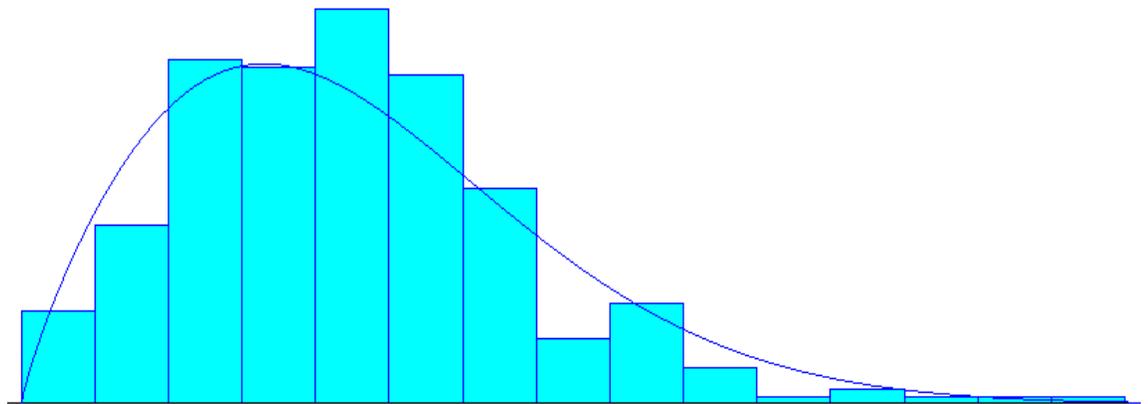
<b>Distribution Summary S3</b>	
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(112, 53.4)
Square Error:	0.00355
<b>Chi Square Test</b>	
Number of intervals	9
Degrees of freedom	6
Test Statistic	11.4
Corresponding p-value	0.0811
<b>Kolmogorov-Smirnov Test</b>	
Test Statistic	0.105
Corresponding p-value	< 0.01
<b>Data Summary</b>	
Number of Data Points	300
Min Data Value	18
Max Data Value	401
Sample Mean	112
Sample Std Dev	53.5
<b>Histogram Summary</b>	
Histogram Range	= 18 to 401
Number of Intervals	17



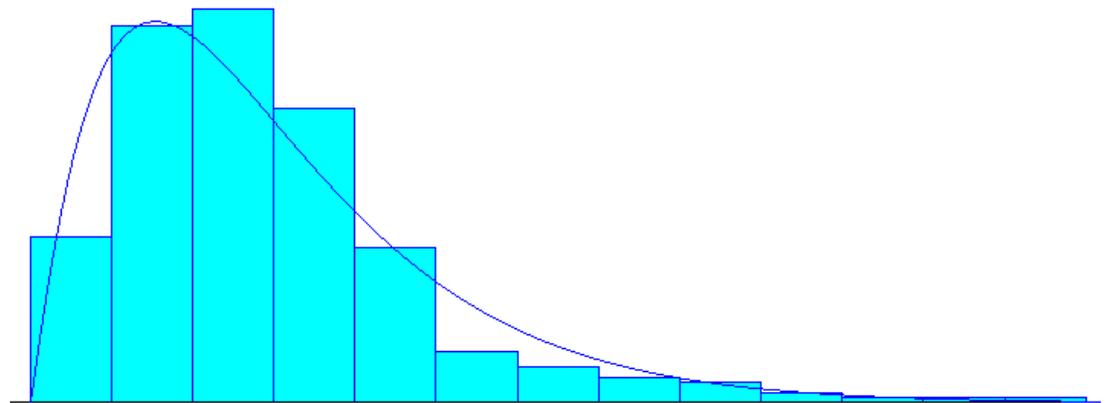
<b>Distribution Summary S4</b>	
Distribution:	Weibull
Expression:	3 + WEIB(115, 2.16)
Square Error:	0.009983
<b>Chi Square Test</b>	
Number of intervals	11
Degrees of freedom	8
Test Statistic	33.8
Corresponding p-value	< 0.005
<b>Kolmogorov-Smirnov Test</b>	
Test Statistic	0.0755
Corresponding p-value	0.0651
<b>Data Summary</b>	
Number of Data Points	300
Min Data Value	3
Max Data Value	302
Sample Mean	106
Sample Std Dev	47.9
<b>Histogram Summary</b>	
Histogram Range	= 3 to 302
Number of Intervals	17



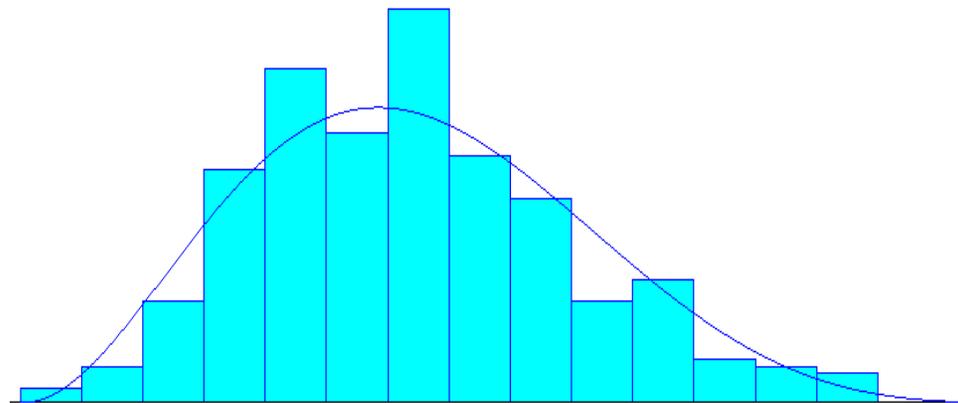
<b>Distribution Summary S5</b>	
Distribution:	Weibull
Expression:	$7 + WEIB(67.7, 1.82)$
Square Error:	0.005515
<b>Chi Square Test</b>	
Number of intervals	10
Degrees of freedom	7
Test Statistic	20.6
Corresponding p-value	< 0.005
<b>Kolmogorov-Smirnov Test</b>	
Test Statistic	0.057
Corresponding p-value	> 0.15
<b>Data Summary</b>	
Number of Data Points	300
Min Data Value	7
Max Data Value	232
Sample Mean	67.4
Sample Std Dev	33.9
<b>Histogram Summary</b>	
Histogram Range	= 7 to 232
Number of Intervals	17



<b>Distribution Summary S6</b>	
Distribution:	Gamma
Expression:	33 + GAMM(49.6, 2.07)
Square Error:	0.005353
<b>Chi Square Test</b>	
Number of intervals	8
Degrees of freedom	5
Test Statistic	13.1
Corresponding p-value	0.0229
<b>Kolmogorov-Smirnov Test</b>	
Test Statistic	0.0746
Corresponding p-value	0.0711
<b>Data Summary</b>	
Number of Data Points	300
Min Data Value	33
Max Data Value	621
Sample Mean	136
Sample Std Dev	71.7
<b>Histogram Summary</b>	
Histogram Range	= 33 to 621
Number of Intervals	17

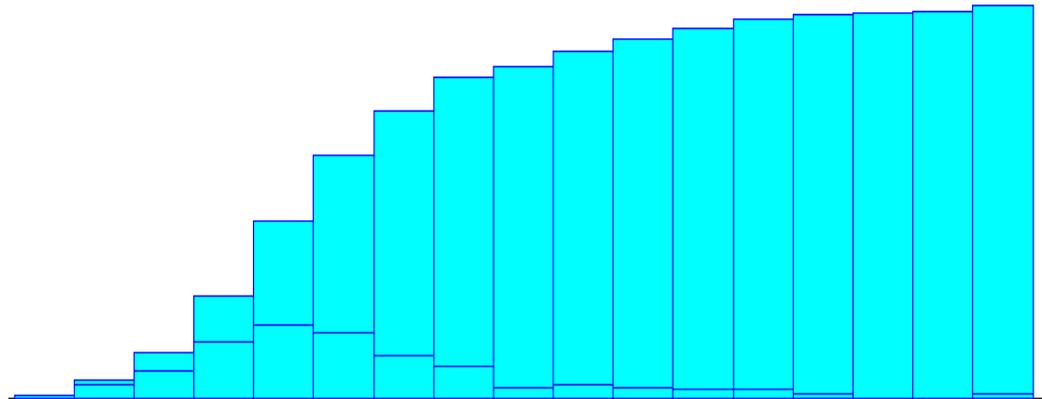


Distribution Summary CEDIS		
Distribution:	Beta	
Expression:	$345 + 1.01e+003 * \text{BETA}(3.17, 5.14)$	
Square Error:	0.004979	
Chi Square Test		
Number of intervals	10	
Degrees of freedom	7	
Test Statistic	14.5	
Corresponding p-value	0.0439	
Kolmogorov-Smirnov Test		
Test Statistic	0.0589	
Corresponding p-value	> 0.15	
Data Summary		
Number of Data Points	300	
Min Data Value	345	
Max Data Value	1360	
Sample Mean	731	
Sample Std Dev	161	
Histogram Summary		
Histogram Range	= 345 to 1.36e+003	
Number of Intervals	17	



## Anexo 4. Distribuciones de probabilidad empíricas discretas para demanda

Distribution Summary S1	
Distribution:	Empirical
Expression:	CONT or DISC (0.000, 9.999,
	0.010, 36.234,
	0.047, 62.470,
	0.118, 88.705,
	0.264, 114.941,
	0.453, 141.176,
	0.622, 167.411,
	0.733, 193.647,
	0.818, 219.882,
	0.848, 246.118,
	0.885, 272.353,
	0.916, 298.589,
	0.943, 324.824,
	0.966, 351.059,
	0.980, 377.295,
	0.983, 403.530,
	0.986, 429.766,
	0.986, 456.001)
Data Summary	
Number of Data Points	296
Min Data Value	10
Max Data Value	456
Sample Mean	166
Sample Std Dev	79.9
Histogram Summary	
Histogram Range	= 10 to 456
Number of Intervals	17



### Distribution Summary S2

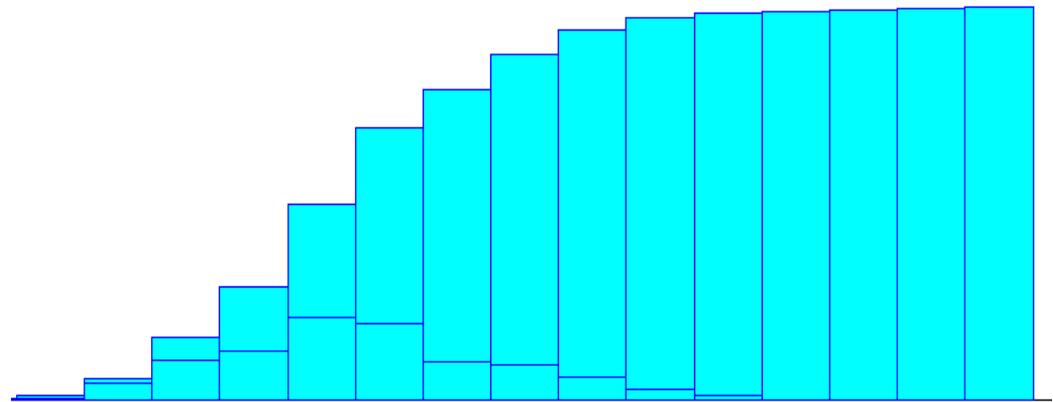
Distribution: Empirical  
Expression: CONT or DISC (0.000, 7.999,  
0.003, 27.234,  
0.007, 46.470,  
0.013, 65.705,  
0.057, 84.941,  
0.161, 104.176,  
0.289, 123.411,  
0.500, 142.647,  
0.695, 161.882,  
0.792, 181.118,  
0.883, 200.353,  
0.943, 219.589,  
0.973, 238.824,  
0.987, 258.059,  
0.990, 277.295,  
0.993, 296.530,  
0.997, 315.766,  
0.997, 335.001)

#### Data Summary

Number of Data Points	298
Min Data Value	8
Max Data Value	335
Sample Mean	147
Sample Std Dev	43.6

#### Histogram Summary

Histogram Range	= 8 to 335
Number of Intervals	17



**Distribution Summary S3**

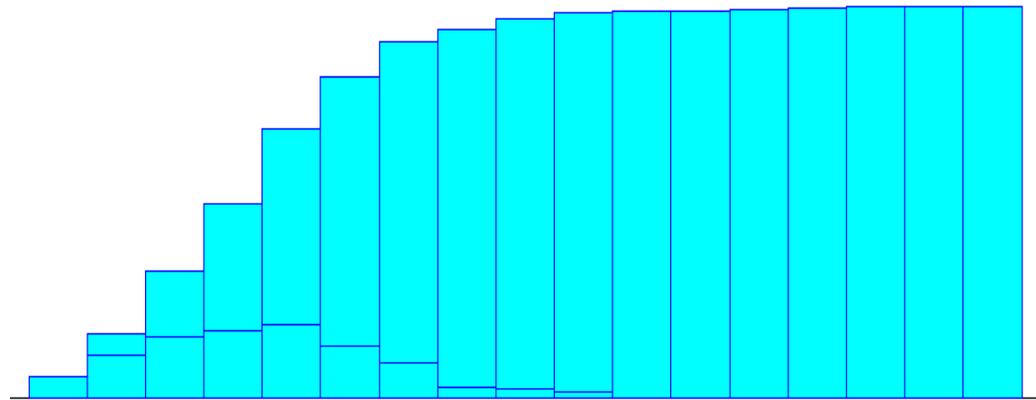
Distribution: Empirical  
 Expression: CONT or DISC (0.000, 17.999,  
 0.057, 40.529,  
 0.167, 63.058,  
 0.323, 85.588,  
 0.497, 108.117,  
 0.687, 130.647,  
 0.820, 153.176,  
 0.910, 175.706,  
 0.940, 198.235,  
 0.967, 220.765,  
 0.983, 243.294,  
 0.987, 265.824,  
 0.987, 288.353,  
 0.990, 310.883,  
 0.993, 333.412,  
 0.997, 355.942,  
 0.997, 378.471,  
 0.997, 401.001)

Data Summary

Number of Data Points 300  
 Min Data Value 18  
 Max Data Value 401  
 Sample Mean 112  
 Sample Std Dev 53.5

Histogram Summary

Histogram Range = 18 to 401  
 Number of Intervals 17



### Distribution Summary S4

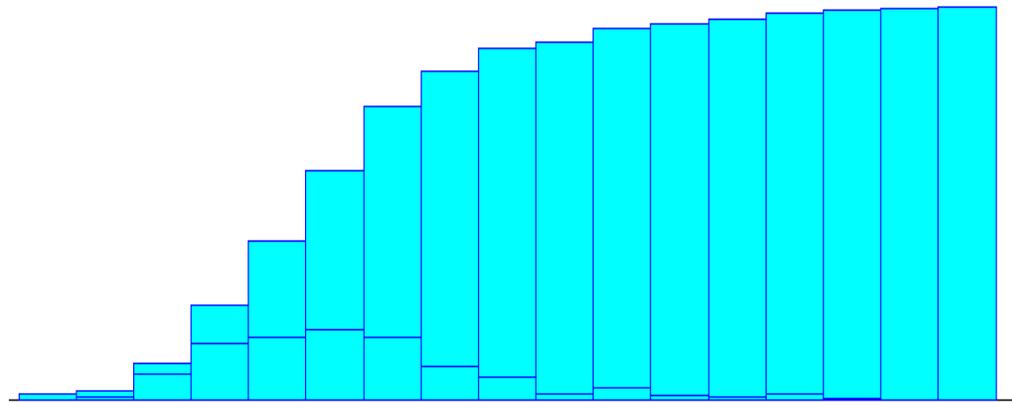
Distribution: Empirical  
 Expression: CONT or DISC (0.000, 2.999,  
 0.017, 20.587,  
 0.027, 38.176,  
 0.097, 55.764,  
 0.243, 73.352,  
 0.407, 90.941,  
 0.587, 108.529,  
 0.750, 126.117,  
 0.837, 143.706,  
 0.897, 161.294,  
 0.913, 178.883,  
 0.947, 196.471,  
 0.960, 214.059,  
 0.970, 231.648,  
 0.987, 249.236,  
 0.993, 266.824,  
 0.997, 284.413,  
 0.997, 302.001)

#### Data Summary

Number of Data Points 300  
 Min Data Value 3  
 Max Data Value 302  
 Sample Mean 106  
 Sample Std Dev 47.9

#### Histogram Summary

Histogram Range = 3 to 302  
 Number of Intervals 17



**Distribution Summary S6**

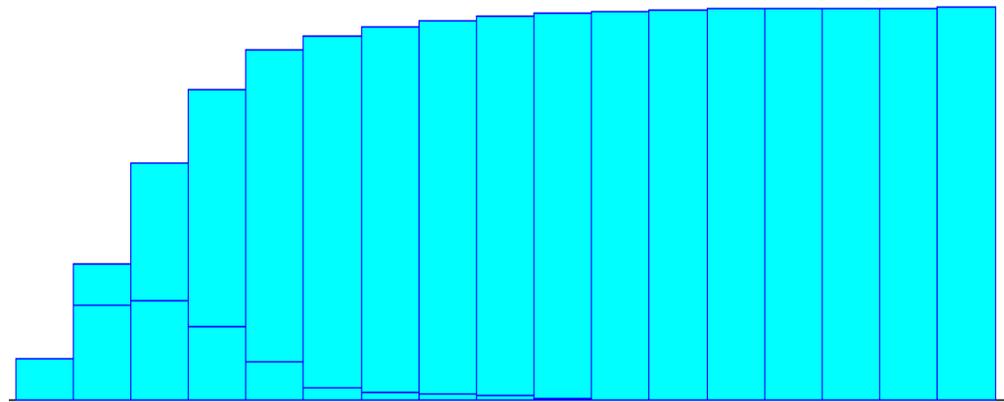
Distribution: Empirical  
 Expression: CONT or DISC (0.000, 32.999,  
 0.107, 67.587,  
 0.350, 102.176,  
 0.603, 136.764,  
 0.793, 171.352,  
 0.893, 205.941,  
 0.927, 240.529,  
 0.950, 275.117,  
 0.967, 309.706,  
 0.980, 344.294,  
 0.987, 378.883,  
 0.990, 413.471,  
 0.993, 448.059,  
 0.997, 482.648,  
 0.997, 517.236,  
 0.997, 551.824,  
 0.997, 586.413,  
 0.997, 621.001)

Data Summary

Number of Data Points 300  
 Min Data Value 33  
 Max Data Value 621  
 Sample Mean 136  
 Sample Std Dev 71.7

Histogram Summary

Histogram Range = 33 to 621  
 Number of Intervals 17



## Anexo 5. Demanda diaria del producto muestra

Locación								Locación								Locación								Locación								Locación								Locación							
Día	S1	S2	S3	S4	S5	S6	CEDIS	Día	S1	S2	S3	S4	S5	S6	CEDIS	Día	S1	S2	S3	S4	S5	S6	CEDIS	Día	S1	S2	S3	S4	S5	S6	CEDIS	Día	S1	S2	S3	S4	S5	S6	CEDIS	Día	S1	S2	S3	S4	S5	S6	CEDIS
1	352	114	172	134	92	218	1082	51	328	204	27	65	25	93	742	101	190	156	83	187	72	103	791	151	211	133	73	92	27	56	592	201	156	113	20	84	31	161	565	251	159	189	54	111	68	102	683
2	186	146	146	189	39	373	1079	52	169	152	101	139	64	95	720	102	173	101	131	180	51	100	736	152	68	118	130	83	88	156	643	202	163	130	94	227	124	621	1359	252	187	149	120	56	95	101	708
3	181	158	47	90	73	73	622	53	87	127	49	65	68	105	501	103	78	139	94	74	96	83	564	153	160	151	135	140	75	158	819	203	84	113	196	122	68	123	706	253	310	156	145	98	92	190	991
4	150	139	154	7	36	142	628	54	136	140	176	244	71	118	885	104	94	186	140	108	67	126	721	154	177	137	80	100	56	67	617	204	209	151	142	63	83	94	742	254	125	154	52	118	98	174	721
5	315	163	120	121	55	183	957	55	273	142	106	62	18	75	676	105	97	154	145	121	12	153	682	155	338	194	196	92	72	132	1024	205	372	113	129	65	62	89	830	255	211	154	128	302	48	155	998
6	30	54	150	125	70	98	527	56	167	138	170	90	35	126	726	106	144	139	26	102	104	93	608	156	134	189	126	92	163	171	875	206	84	146	100	147	61	92	630	256	133	121	154	111	93	196	808
7	41	135	22	36	43	126	403	57	82	98	47	88	78	110	503	107	112	121	75	141	39	95	583	157	101	201	110	87	22	154	675	207	58	211	71	105	32	46	523	257	116	105	93	93	96	141	644
8	184	128	200	144	126	132	914	58	76	100	146	107	95	181	705	108	83	138	122	79	7	166	595	158	139	192	162	52	115	164	824	208	155	165	63	105	49	202	739	258	140	74	124	69	67	108	582
9	447	115	109	56	56	218	1001	59	443	257	109	82	52	60	1003	109	275	99	130	98	40	124	766	159	448	88	93	89	28	147	893	209	309	139	49	129	75	138	839	259	122	163	133	145	47	205	815
10	50	132	112	177	27	175	673	60	132	110	133	92	64	137	668	110	79	139	109	97	123	171	718	160	270	166	44	84	47	262	873	210	195	137	84	68	62	126	672	260	189	116	401	87	49	112	954
11	54	156	150	100	58	140	658	61	109	138	166	116	39	130	698	111	94	161	136	87	47	110	635	161	207	252	77	88	15	160	799	211	195	204	76	69	30	33	607	261	92	150	52	91	45	183	613
12	203	207	121	167	43	122	863	62	191	179	106	48	36	72	632	112	130	139	34	99	232	100	734	162	91	245	64	109	81	137	727	212	86	172	110	56	52	115	591	262	193	149	347	112	47	53	901
13	114	159	139	144	28	137	721	63	404	132	223	65	43	118	985	113	233	183	133	100	20	185	854	163	130	205	199	212	118	304	1168	213	108	120	82	143	120	218	791	263	163	229	97	57	37	61	644
14	215	297	134	229	39	49	963	64	156	175	98	86	70	130	715	114	165	172	54	80	47	125	643	164	198	141	113	188	52	180	872	214	106	132	82	138	44	107	609	264	306	144	251	93	63	117	974
15	109	138	167	61	88	142	705	65	127	186	150	81	108	80	732	115	164	147	169	83	58	57	678	165	120	118	130	100	69	173	710	215	178	133	31	123	75	89	629	265	206	143	55	118	46	71	639
16	175	227	110	91	88	178	869	66	50	119	151	111	88	153	672	116	132	87	67	133	71	107	597	166	113	200	166	133	93	110	815	216	160	99	139	101	16	79	594	266	144	198	174	100	139	99	854
17	192	79	52	78	48	116	565	67	132	88	106	8	42	84	460	117	118	58	66	108	28	133	511	167	99	107	121	141	77	118	663	217	97	172	235	114	41	88	747	267	148	113	144	111	58	160	734
18	305	121	178	92	84	198	978	68	130	148	51	77	45	151	602	118	191	99	52	74	42	105	563	168	136	124	138	118	78	107	701	218	184	118	88	95	55	102	642	268	90	92	182	133	82	135	714
19	71	104	138	99	38	104	554	69	231	99	89	72	62	167	720	119	15	96	95	92	18	113	429	169	104	101	136	114	76	185	716	219	208	136	152	95	63	67	721	269	176	158	137	74	77	159	781
20	10	192	70	83	41	87	483	70	182	195	64	94	48	129	712	120	50	156	78	88	14	95	481	170	103	154	101	45	72	106	581	220	48	100	31	163	32	92	466	270	220	189	116	93	61	73	752
21	173	94	102	45	40	68	522	71	146	93	156	76	57	59	587	121	113	42	97	104	190	48	594	171	162	137	93	43	52	102	589	221	331	80	28	89	48	39	615	271	120	210	52	118	103	195	798
22	141	128	85	125	8	96	583	72	160	112	115	124	60	182	753	122	215	133	88	104	83	160	783	172	91	130	38	114	82	124	579	222	154	137	36	12	20	60	419	272	295	119	163	82	37	99	795
23	346	8	116	40	72	144	726	73	240	113	66	241	83	124	867	123	97	160	23	28	171	56	535	173	193	202	63	61	73	56	648	223	122	129	83	168	32	66	600	273	225	84	150	115	203	158	935
24	101	123	52	3	60	163	502	74	161	144	78	48	52	290	773	124	114	205	333	153	38	101	944	174	85	134	109	113	83	264	788	224	53	173	73	143	44	65	551	274	108	133	114	91	49	71	566
25	203	139	70	97	24	44	577	75	140	165	67	64	65	146	647	125	456	118	128	56	28	136	922	175	186	136	171	191	133	201	1018	225	372	175	156	102	72	115	992	275	186	196	101	70	67	56	676
26	167	157	170	83	16	102	695	76	133	191	66	94	68	185	737	126	102	216	61	110	97	157	743	176	138	207	76	88	65	133	707	226	90	115	105	115	41	108	574	276	174	198	110	235	59	84	860
27	247	228	110	64	56	160	865	77	110	160	136	52	70	159	687	127	116	128	66	108	120	132	670	177	199	184	111	113	48	181	836	227	259	149	88	47	51	47	641	277	156	208	97	137	78	103	779
28	291	152	136	148	119	89	935	78	140	127	127	116	42	209	761	128	108	144	190	156	115	118	831	178	231	124	57	62	97	81	652	228	160	131	50	74	43	39	497	278	91	201	113	118	76	387	986
29	136	98	91	66	61	66	518	79	118	132	48	54	31	95	478	129	113	79	66	110	75	192	635	179	123	196	100	144	75	152	790	229	97	142	126	43	29	97	534	279	282	240	99	161	95	179	1056
30	45	160	204	87	77	136	709	80	326	232	126	64	33	83	864	130	187	80	79	75	40	143	604	180	274	225	60	62	32	103	756	230	140	180	69	156	80	90	715	280	169	87	93	112	81	223	765
31	119	94	90	104	83	93	592	81	270	137	59	61	64	288	879	131	131	133	65	17	55	129	530	181	104	146	97	115	45	105	612	231	278	178	154	124	49	345	1128	281	357	166	232	180	84	112	1131
32	233	145	100	257	81	83	899	82	96	183	109	102	56	142	688	132	252	200	116	86	57	139	850	182	194	151	214	121	73	234	987	232	277	77	118	77	38	285	872	282	200	335	18	44	34	117	748

## Anexo 6. Resultados de simulación de política de inventarios propuesta

9:57:01p. m.

### Category Overview

marzo 7, 2018

*Values Across All Replications*

#### SUCURSAL 1

Replications:2,000

Time Units:Days

#### Entity

##### Other

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 1	0.2490	< 0.00	0.2308	0.2692	0.00	2.0000

#### User Specified

##### Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Inventario_promedio	850.96	< 0.31	829.31	873.03	0.00	1123.00
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda_total	27746.27	< 35.73	25318.91	31074.64	0.00	60312.87
Faltante_Total	29.6260	< 2.12	0.00	327.19	0.00	536.24

Values Across All Replications

**SUCURSAL 2**

Replications:2,000

Time Units:Days

**Entity****Other**

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 1	0.2500	< 0.00	0.2436	0.2596	0.00	2.0000

**User Specified****Time Persistent**

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Inventario_promedio	756.05	< 0.20	741.45	772.32	123.88	991.00
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda_total	24309.88	< 19.73	22871.53	26046.37	0.00	51315.15
Faltante_Total	0.1793	< 0.13	0.00	86.5835	0.00	98.9430

## Values Across All Replications

**SUCURSAL 3**

Replications: 2,000 Time Units: Days

**Entity****Other**

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 1	0.2542	< 0.00	0.2404	0.2740	0.00	2.0000

**User Specified****Time Persistent**

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Inventario_promedio	634.02	< 0.20	618.31	650.38	0.00	815.00
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda_total	19235.71	< 23.72	17579.39	21450.35	0.00	41955.86
Faltante_Total	8.0414	< 0.98	0.00	290.53	0.00	316.35

*Values Across All Replications*

**SUCURSAL 4**

Replications:2,000

Time Units:Days

**Entity**

**Other**

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 1	0.2480	< 0.00	0.2340	0.2660	0.00	2.0000

**User Specified**

**Time Persistent**

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Inventario_promedio	601.82	< 0.19	585.67	616.72	0.00	776.00
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda_total	17873.07	< 21.01	16417.78	19621.51	0.00	38750.62
Faltante_Total	2.7795	< 0.48	0.00	135.84	0.00	168.18

**SUCURSAL 5**

Replications: 2,000 Time Units: Days

**Entity****Other**

Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Demanda	313.00	0.00	313.00	313.00		
Entity 1	312.55	0.02	312.00	313.00		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 1	0.2275	< 0.00	0.2083	0.2436	0.00	2.0000

**User Specified****Time Persistent**

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Inventario_promedio	408.61	< 0.12	396.32	417.38	0.00	520.00
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda_total	10432.99	< 15.18	9295.39	11814.40	0.00	22969.73
Faltante_Total	0.8484	< 0.22	0.00	70.4410	0.00	174.20

**SUCURSAL 6**

Replications: 2,000 Time Units: Days

**Entity****Other**

Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Demanda	313.00	0.00	313.00	313.00		
Entity 1	313.00	0.00	312.00	313.00		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 1	0.2524	< 0.00	0.2372	0.2692	0.00	2.0000

**User Specified****Time Persistent**

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Inventario_promedio	899.77	< 0.26	877.31	919.27	0.00	1125.00
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda_total	23769.55	< 31.91	21676.32	26909.58	0.00	52251.34
Faltante_Total	8.3863	< 1.18	0.00	311.13	0.00	435.18

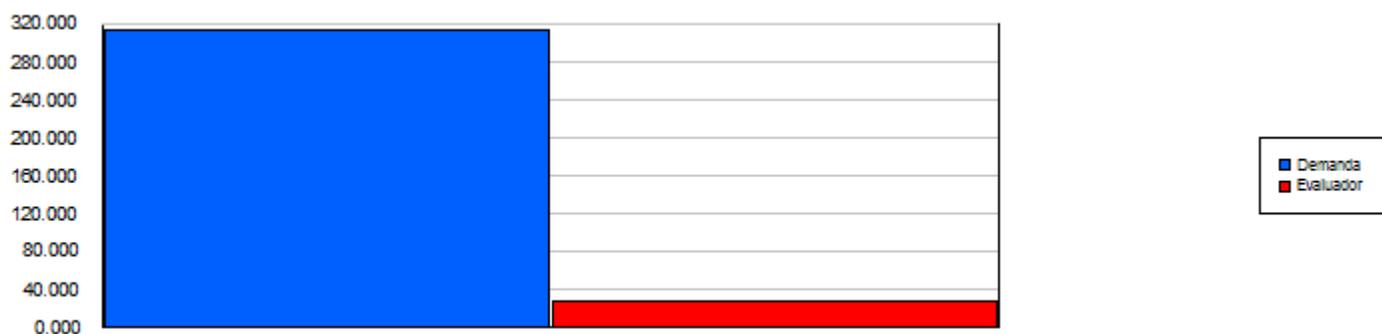
## CEDIS

Replications: 2,000 Time Units: Days

## Entity

## Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Demanda	313.00	0.00	313.00	313.00
Evaluador	27.0000	0.00	27.0000	27.0000



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Demanda	313.00	0.00	313.00	313.00
Evaluador	26.6610	0.02	26.0000	27.0000

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Evaluador	0.1217	< 0.00	0.1154	0.1250	0.00	1.0000

## User Specified

## Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
InvPromedio	14671.23	< 8.33	14123.06	15160.42	1906.75	22904.00
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
DemandaTotal	114314.76	< 71.76	109167.12	120717.66	0.00	239648.67
Faltante	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## Anexo 7. Resultados de simulación de política de inventarios optimizada

07:34:54p.m.

### Category Overview

marzo 14, 2018

*Values Across All Replications*

#### SUCURSAL 1

Replications: 2,000 Time Units: Days

#### Entity

##### Other

Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Demanda	313.00	0.00	313.00	313.00		
Entity 1	312.32	0.02	312.00	313.00		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 1	0.3512	< 0.00	0.3109	0.3894	0.00	2.0000

#### User Specified

##### Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Inventario_promedio	751.30	< 0.29	732.15	774.30	0.00	932.00
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda_total	27746.27	< 35.73	25318.91	31074.64	0.00	60312.87
Faltante_Total	52.6887	< 2.84	0.00	548.08	0.00	813.30

**SUCURSAL 2**

Replications: 2,000 Time Units: Days

**Entity****Other**

Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Demanda	313.00	0.00	313.00	313.00		
Entity 1	312.96	0.01	312.00	313.00		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 1	0.3454	< 0.00	0.3109	0.3846	0.00	2.0000

**User Specified****Time Persistent**

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Inventario_promedio	573.05	< 0.24	557.27	590.85	0.00	744.00
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda_total	24309.88	< 19.73	22871.53	26046.37	0.00	51315.15
Faltante_Total	32.7234	< 1.67	0.00	230.53	0.00	460.18

## SUCURSAL 3

Replications: 2,000 Time Units: Days

## Entity

### Other

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 1	0.3807	< 0.00	0.3397	0.4183	0.00	2.0000

## User Specified

### Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Inventario_promedio	540.98	< 0.19	521.42	555.59	0.00	650.00
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda_total	19235.71	< 23.72	17579.39	21450.35	0.00	41955.86
Faltante_Total	24.1132	< 1.62	0.00	277.57	0.00	473.88

Values Across All Replications

**SUCURSAL 4**

Replications:2,000

Time Units:Days

**Entity****Other**

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 1	0.3628	< 0.00	0.3253	0.4054	0.00	2.0000

**User Specified****Time Persistent**

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Inventario_promedio	479.77	< 0.20	463.16	496.35	0.00	592.00
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda_total	17873.07	< 21.01	16417.78	19621.51	0.00	38750.62
Faltante_Total	25.6457	< 1.51	0.00	260.86	0.00	354.65

## SUCURSAL 5

Replications: 2,000 Time Units: Days

## Entity

### Other

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 1	0.2506	< 0.00	0.2340	0.2708	0.00	2.0000

## User Specified

### Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Inventario_promedio	350.44	< 0.12	339.16	359.94	0.00	450.00
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda_total	10432.99	< 15.18	9295.39	11814.40	0.00	22969.73
Faltante_Total	5.2171	< 0.53	0.00	124.29	0.00	132.64

## SUCURSAL 6

Replications: 2,000 Time Units: Days 912.71

## Entity

### Other

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Entity 1	0.3154	< 0.00	0.2853	0.3542	0.00	2.0000

## User Specified

### Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Inventario_promedio	724.79	< 0.25	706.42	742.89	0.00	900.00
Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda_total	23769.55	< 31.91	21676.32	26909.58	0.00	52251.34
Faltante_Total	39.1218	< 2.66	0.00	570.00	0.00	

## CEDIS

Replications: 2,000 Time Units: Days

## Entity

### Other

Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Demanda	313.00	0.00	313.00	313.00		
Evaludador	26.9350	0.01	26.0000	27.0000		

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Demanda	0.00	< 0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000
Evaludador	0.1244	< 0.00	0.1154	0.1250	0.00	1.0000

## User Specified

### Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
InvPromedio	10410.98	< 6.14	9793.22	10852.21	0.00	18550.00

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
DemandaTotal	114314.76	< 71.76	109167.12	120717.66	0.00	239648.67
Faltante	249.74	< 15.47	0.00	2452.44	0.00	3551.74