



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS – INGENIERÍA INDUSTRIAL

GESTIÓN DEL INVENTARIO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN
DE REMOLQUES CON DEMANDA INTERMITENTE

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. PAMELA ANDREA ROSALES BARBIER

Directora de Tesis:
M.I. Ann Wellens
Facultad de Ingeniería - UNAM

Ciudad Universitaria, CD. MX. febrero 2021

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Rivera Colmenero José Antonio

Secretario: Dra. Segura Pérez Esther

Vocal: M. I. Wellens Ann Godelieve

1^{er.} Suplente: Dr. Gómez Gallardo Wulfrano

2^{do.} Suplente: M. en A. Pinilla Morán Víctor Damián

Lugar donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, CD. MX.

TUTOR DE TESIS:

M.I. ANN WELLENS

AGRADECIMIENTOS

El final de esta etapa, no sólo representa una meta alcanzada, es el cúmulo de esfuerzos de cada una de las personas que han estado a mi lado en este largo camino, gracias por eso y más.

Rosalina Barbier

Gracias mamá, por darme lo que nunca nadie podrá, un amor incondicional. Gracias por ser mi fortaleza, mi inspiración y por ser la mujer más valiente ante cada una de las adversidades que la vida nos ha presentado.

Arnulfo Rosales y Andrea Solano

El amor infinito que me otorgaron en vida, es el impulso de mi día a día para seguir adelante, gracias Papá y Mamá Mía.

Carlos Cristóbal

Amor, gracias por sujetar mis miedos y no sólo mis manos, por alentarme a enfrentar nuevos retos, por ser mi confidente, compañero de vida y complemento. Juntos somos más que dos, pero sin dejar de ser uno.

Sandi Rosales

Las hermanas se enojan, molestan y critican, pero si un problema se me presenta, sé que estarás ahí para defenderme de todos.

Georgina Barbier

La fuerza de su corazón se muestra con el apoyo incondicional, bondad y comprensión que nos ha brindado, gracias.

Familia Barbier

Aún en la distancia siempre están presentes en cada uno de mis logros.

Marco Cristóbal y Helena Vázquez

Detrás de grandes logros hay grandes personas, gracias por su apoyo.

Amigos (En especial Laura Q., Jesús G. y Diego S.)

Las cosas son más sencillas cuando se tienen amigos como ustedes.

Ann Wellens

El recorrer este camino no fue una tarea sencilla, sin embargo, con su guía, conocimientos y paciencia logré concluir algo tan anhelado, gracias Maestra.

Sinodales

Gracias por su valiosa contribución a este trabajo de investigación.

Mi Alma Mater

Gracias “Universidad Nacional Autónoma de México” por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de crecer tanto profesional como personalmente.

“Por mi raza hablará el espíritu”

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	vii
CAPITULO 1 Introducción	8
1.1 Justificación	9
1.2 OBJETIVOS	9
1.2.1 Objetivo general.....	9
1.2.2 Objetivos específicos.....	9
1.3 Alcances.....	10
1.4 Limitaciones	10
1.5 Organización del trabajo	10
CAPITULO 2 Marco teórico.....	11
2.1 Inventarios.....	11
2.1.1 Clasificación ABC multicriterio	12
2.2 Modelos de pronóstico para demanda intermitente.....	14
2.2.1 Caracterización de la demanda	14
2.2.2 Demanda intermitente y pronósticos	15
2.2.3 El método Croston.....	18
2.2.4 Aproximación Syntetos & Boylan	19
2.2.5 Teunter, Syntetos & Babai.....	19
2.3 Medición del error en pronósticos de demanda.....	20
2.3.1 Desviación absoluta media.....	21
2.3.2 Error cuadrático medio	21
2.3.3 Señal de rastreo.....	21
2.4 Modelos de inventario determinísticos	22
2.4.1 EOQ sin faltantes.....	22
2.4.2 EOQ con faltantes.....	24
CAPITULO 3 Metodología	26
3.1 Diagnóstico.....	27
3.2 Análisis de la información	28
3.2.1 Recopilación de datos	28
3.2.2 Depuración y organización de datos	30

3.2.3	Matriz multicriterio ABC XYZ.....	32
3.2.4	Caracterización de la demanda	36
3.3	Gestión del inventario	41
3.3.1	Cálculo de pronósticos	41
3.3.2	Evaluación de pronósticos.....	44
3.3.3	Políticas de inventario	44
CAPITULO 4	Resultados	45
4.1	Procedimiento de control de inventario	45
4.2	Diagrama de Ishikawa	46
4.3	Etapa 1 - Análisis multicriterio	47
4.3.1	Análisis ABC	47
4.3.2	Análisis XYZ.....	51
4.3.3	Matriz multicriterio	55
4.4	Etapa 2 - Caracterización y categorización de la demanda.....	58
4.5	Etapa 3 - Pronósticos.....	63
4.5.1	Selección de los métodos para pronosticar demanda intermitente.....	63
4.5.2	Cálculo de pronósticos	65
4.5.3	Evaluación y selección del método para previsión	74
4.6	Etapa 4 - Políticas de inventario.....	84
4.6.1	Artículo 1 (EOQ sin faltantes).....	86
4.6.2	Artículo 2 (EOQ con faltantes).....	87
4.6.3	Política de inventario para cada artículo.....	88
4.7	Análisis de resultados.....	89
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXO A – DEMOSTRACIÓN DE FORMULAS PARA MODELOS DE INVENTARIOS.....		98
EOQ sin faltantes.....		98
EOQ con faltantes		100
ANEXO B – Resumen de pronósticos y medidas de error.....		102

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Matriz multicriterio	13
Figura 2.2 Clasificación SBC (Syntetos et al., 2005)	16
Figura 2.3 Propuesta de métodos de pronóstico para la clasificación SBC (Teunter et al. 2011)	17
Figura 3.1 Metodología.....	26
Figura 3.2 Orden de trabajo (Parte inicial).....	29
Figura 3.3 Orden de trabajo (Parte final).....	30
Figura 3.4 Base de datos con ruta de acceso para cada orden de trabajo	31
Figura 3.5 Lista general	31
Figura 3.6 Demanda anual por artículo	33
Figura 3.7 ABC 2014	34
Figura 3.8 XYZ 2015.....	34
Figura 3.9 Matriz multicriterio 2016	35
Figura 3.10 Demanda mensual - artículo Ensamble Unimont con ABS	36
Figura 3.11 Plantilla para cálculo de EOQ con y sin faltantes	44
Figura 4.1 Diagrama SIPOC del proceso de control de inventario.....	45
Figura 4.2 Diagrama de Ishikawa	46
Figura 4.3 ABC para costos unitarios, 2014	48
Figura 4.4 ABC para costos unitarios, 2015	49
Figura 4.5 ABC para costos unitarios, 2016	50
Figura 4.6 Análisis XYZ para la frecuencia de pedidos, 2014	52
Figura 4.7 Análisis XYZ para la frecuencia de pedidos, 2015	52
Figura 4.8 Análisis XYZ para la frecuencia de pedidos, 2016	53
Figura 4.9 AX 2014	55
Figura 4.10 AX 2015	55
Figura 4.11 AX 2016	56
Figura 4.12 Artículo 1 - Demanda intermitente y muy variable	58
Figura 4.13 Artículos 2, 3, 4 - Demanda intermitente y constante.....	59
Figura 4.14 Artículos 5, 6, 7 - Demanda intermitente variable.....	61
Figura 4.15 Selección de método de pronóstico en la clasificación SBC obtenida con R	65
Figura 4.16 Descomposición de Croston – Artículo 1	66
Figura 4.17 Descomposición de Croston – Artículos 2, 3 y 4	68
Figura 4.18 Descomposición de Croston - Artículos 5, 6 y 7.....	69
Figura 4.19 Demanda real vs Pronósticos.....	72
Figura 4.20 Demanda real vs Pronósticos (Artículos 5, 6 y 7).....	73
Figura 4.21 Señal de rastreo – Artículo 1.....	77
Figura 4.22 Señal de rastreo para artículos con demanda agrupada	78
Figura 4.23 Señal de rastreo para artículos con demanda grumosa	79
Figura 4.24 Análisis de sensibilidad - Artículo 1.....	90
Figura 4.25 Análisis de sensibilidad - Artículo 2.....	91
Figura A.1 Geometría de un modelo EOQ sin faltantes.....	98
Figura A.2 Geometría de un modelo EOQ con faltantes	100

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Medidas de dispersión	15
Tabla 2.2 Porcentaje de datos dentro de rango de DAMs.....	22
Tabla 3.1 Demanda mensual de artículos seleccionados	37
Tabla 3.2 Demanda de artículo "Ensamble"	39
Tabla 4.1 Análisis ABC 2014	49
Tabla 4.2 Análisis ABC 2015	50
Tabla 4.3 Análisis ABC 2016	50
Tabla 4.4 Artículos de la categoría A, 2014-2016	51
Tabla 4.5 Análisis XYZ 2014.....	52
Tabla 4.6 Análisis XYZ 2015.....	53
Tabla 4.7 Análisis XYZ 2016.....	53
Tabla 4.8 Artículos de la categoría X, 2014-2016.....	54
Tabla 4.9 AX 2014-2016	57
Tabla 4.10 Renombramiento de artículos seleccionados	57
Tabla 4.11 Análisis descriptivo de la demanda	62
Tabla 4.12 Pronósticos Croston, SBA, TSB - Artículos 1, 2, 3 y 4	70
Tabla 4.13 Pronósticos Croston, SBA, TSB - Artículos 5, 6 y 7	71
Tabla 4.14 Medidas de error para artículo con demanda errática (Artículo 1)	75
Tabla 4.15 Medidas de error para artículos con demanda agrupada (Artículos 2, 3 y 4).....	76
Tabla 4.16 Medidas de error para artículos con demanda grumosa (Artículos 5, 6 y 7).....	76
Tabla 4.17 Cálculo de inventario y faltante - Artículo 1.....	81
Tabla 4.18 Inventario y faltantes generados por la elección del método de pronóstico	82
Tabla 4.19 Artículo 1 (Costo por mantener inventario C_m).....	82
Tabla 4.20 Costo por faltante C_f	83
Tabla 4.21 Cuadro comparativo de evaluación de métodos	83
Tabla 4.22 Datos para realizar cálculos.....	85
Tabla 4.23 Políticas de inventario	88
Tabla B.1 Artículo 1	102
Tabla B.2 Artículo 2	103
Tabla B.3 Artículo 3	104
Tabla B.4 Artículo 4	105
Tabla B.5 Artículo 5	106
Tabla B.6 Artículo 6	107
Tabla B.7 Artículo 7	108

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

El concepto de inventario hoy en día es un término cotidianamente utilizado dentro de las empresas, sin importar su tamaño o giro; sin embargo, la aparición de este concepto ocurrió desde tiempos inmemoriales, ya que civilizaciones de la antigüedad como la de los Egipcios (cuando a José se le pidió que interpretara el famoso sueño del faraón, en el que siete vacas flacas y feas, devoran a siete vacas gordas y hermosas, éste predijo siete años de abundancia, a los que seguirían siete años de hambruna, por lo cual recomendó hacer acopio de bienes durante los años de abundancia) solían almacenar grandes cantidades de alimentos para ser utilizados en épocas de sequía y escasez, y de esta forma surge el dilema de llevar un registro, distribución y cuidado de los recursos, para hacer frente a la travesía de sobrevivir. Las técnicas de gestión del inventario o la manera en que se gestione, impactan directamente sobre la cadena de suministro, hasta el punto de poder hacer fracasar al negocio, al generar clientes descontentos por el no cumplimiento de la demanda. Desde su inicio, la gestión del inventario se refiere al control del flujo de productos y servicios dentro de una organización.

La empresa “N” en la que se realizó este proyecto es 100% mexicana y fue fundada en el año de 1959 en la Ciudad de México; su giro principal es la fabricación de remolques y semirremolques de marca propia de la empresa, la cual a través de los años ha ido desarrollando sus diseños con ayuda de ingeniería y tecnología propia. También se dedica a la fabricación de algunas piezas que se utilizan en la construcción de los remolques. Es una empresa que trabaja bajo el esquema de producción *bajo pedido*, también conocida como MTO (*make-to-order*) (Gansterer, 2015), que consiste en concentrar todos los esfuerzos en elaborar un solo producto a la vez. El resultado es diferente en cada ocasión, debido a que cada cliente tiene especificaciones diferentes que la empresa debe cumplir en cada proyecto. Una desventaja del MTO es que la materia prima tiene que llegar a la empresa productora antes de que el producto se pueda comenzar a realizar y es difícil pronosticar las cantidades de las materias primas que se utilizarán en futuros proyectos, puesto que, como ya se ha mencionado, cada proyecto solicitado por los clientes es único y diferente.

Por lo anterior, la principal problemática observada dentro de la empresa es la falta de planeación del inventario, debido a que se produce bajo pedido y los bases de datos son erráticas e inconsistentes, lo que impide tomar decisiones para proveer con anticipación la materia prima que la empresa necesitará para el desarrollo de los proyectos futuros. En ese sentido, este proyecto tiene como objetivo encontrar

el método de pronóstico adecuado para los artículos más importantes que utiliza la empresa como materia prima y con ello sentar las bases para que en un futuro se puedan implementar políticas de inventario que ayuden a la empresa a cumplir con los proyectos, en el tiempo de entrega y con la máxima calidad, de tal manera que el inventario se pueda alinear con las capacidades de ventas y producción.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La empresa fabrica bajo pedido, es decir, no maneja inventarios de productos terminados, sino que elabora productos en la medida que el cliente lo necesita. Los clientes deben ser conscientes de que los tiempos de entrega de las órdenes pueden ser largos.

Por ello, con este trabajo de investigación, se pretende conjugar los métodos de pronósticos con los modelos de inventarios, para crear un inventario flexible y colaborativo, y así eficientar los tiempos de entrega de los productos terminados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente trabajo de investigación es proponer una metodología para la gestión del inventario de una empresa que se dedica a la manufactura metálica, mediante la aplicación combinada de métodos de pronósticos y modelos de inventarios, para mejorar la planeación del inventario.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los problemas relevantes que se tienen en la gestión del inventario para diseñar una metodología que ayude a solucionarlos.
- Seleccionar un método de pronóstico para cada artículo y así poder estimar su demanda para un determinado periodo futuro.
- Seleccionar un modelo de inventario de acuerdo con la etapa en que se utiliza cada artículo, para calcular la cantidad óptima que se debe ordenar de cada uno de ellos.

1.3 ALCANCES

Los alcances de este trabajo de investigación consisten en:

- Seleccionar el método de pronóstico para los siete artículos que se utilizan con mayor frecuencia y aportan mayor valor monetario al inventario.
- Crear una política de inventario para cada uno de los siete artículos.

1.4 LIMITACIONES

En este trabajo de investigación se encontraron las siguientes limitaciones:

- Bases de datos erráticas e inconsistentes.
- Más de 545 artículos utilizados como materia prima.
- Los artículos presentan una demanda intermitente.
- No fue posible la implementación de la propuesta, debido a que la empresa, se encontraba en un proceso de liquidación.
- Acceso limitado a la información por ser confidencial.

1.5 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

Este trabajo se divide en cuatro capítulos: (i) En el **Capítulo 1** se describe brevemente el proyecto realizado, su justificación, objetivos, alcance y limitaciones; (ii) el **Capítulo 2** consiste en una breve explicación de los conocimientos indispensables para el desarrollo del presente proyecto; (iii) el **Capítulo 3** es la metodología que explica el paso a paso de lo realizado para conseguir los resultados deseados; (iv) el **Capítulo 4** es la aplicación de la metodología; (v) el **Capítulo 5** analiza los resultados obtenidos; y finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron a lo largo de la realización del proyecto.

2.1 INVENTARIOS

El inventario es un recurso que se almacena y al que se recurre para satisfacer una necesidad actual o para prever una demanda en el futuro (Gutiérrez et al., 2013). En el lenguaje económico se denomina inventario o *stock* al conjunto de mercancías acumuladas en un almacén en espera de ser vendidas o ser utilizadas durante el proceso de producción.

Las funciones más utilizadas de los inventarios son (Peregrina, 2000):

1. Permitir que las operaciones continúen sin que se produzcan paros por falta de productos o materias primas.
2. Obtener descuentos por volumen de compra, ya que, si la adquisición de artículos se produce en grandes cantidades, el costo de cada unidad suele disminuir.
3. Proporcionar reservas de artículos para satisfacer la demanda de los clientes.
4. Separar los procesos de producción y distribución. Así, por ejemplo, si la demanda de un producto es elevada sólo durante el invierno, la empresa puede elaborarlo a lo largo de todo el año y almacenarlo, evitando de este modo su escasez en invierno.
5. Salvaguardarse de la inflación y de los cambios en el precio.
6. Protegerse de las roturas de inventario que pueden producirse por productos defectuosos, el mal tiempo, fallos de suministro de los proveedores, problemas de calidad o entregas inadecuadas.

Existen varios tipos de inventarios (Miguez y Bastos, 2006), con diferencias notables entre las distintas industrias; los más comunes son los siguientes:

- **Inventarios de materias primas:** se denominan inventarios de materias primas a aquéllos que están constituidos por los productos que van a ser procesados. Los inventarios de este tipo transmiten información relativa a la producción prevista y a su estacionalidad, a la eficacia de la planificación y la seguridad de las fuentes de suministros.
- **Inventarios de mercancías:** éstos incluyen los bienes adquiridos por las empresas, que van a ser vendidos sin someterse a procesos de transformación.

- **Inventarios de productos en proceso:** están formados por los bienes en proceso de manufactura, es decir, por aquellos artículos que están siendo utilizados durante el proceso de producción. Se trata de productos parcialmente terminados.
- **Inventarios de productos terminados:** se trata de inventarios que agrupan todos aquellos productos transformados y manipulados por la empresa mediante los procesos de producción. Estos productos se almacenan a la espera de ser vendidos.
- **Inventarios de materiales y suministros:** están constituidos por los elementos necesarios para la elaboración de los productos. Entre dichos elementos destacan: las materias primas secundarias, que se diferencian por industrias; los productos de consumo necesarios para el proceso de producción (combustibles, pinturas, etc.); y, por último, el material para mantenimiento, necesario para la reparación y conservación de la maquinaria.

Para que la cantidad del inventario sea la adecuada, debe haber un riguroso registro de entrada y salida de los artículos que se manejen en él y esto ayude a saber, en todo momento, los productos que hay en el almacén (Escobar, 2011). Además, se debe tener en cuenta que para que un almacén posea una correcta organización, éste debe tener un acceso limitado, de modo que no pueda entrar cualquier empleado y llevarse algún producto. Por lo tanto, además de contar con una buena gestión, debe tener un acceso restringido. Lo anterior es de utilidad para que los directivos pueden tomar decisiones precisas sobre la emisión de órdenes, la programación y los envíos en el aprovisionamiento de sus materias primas, insumos, entre otro.

2.1.1 CLASIFICACIÓN ABC MULTICRITERIO

El análisis ABC/XYZ es una extensión de la clasificación ABC y XYZ separadas (Garzón, 2018), este método toma en consideración no sólo el valor de un criterio, sino también, la variación de la demanda. Se crea una matriz de tres por tres en la que las filas son la clasificación ABC según el valor del inventario y las columnas son una clasificación XYZ según la variabilidad de la demanda o el número de líneas de pedidos. De esta forma, las referencias de productos quedarán clasificadas en nueve categorías: AX, AY, AZ, BX, BY, BZ, CX, CY y CZ. Lo anterior se observa en la **Figura 2.1**, donde se ejemplifica una matriz multicriterio.

	X Número de pedidos poca variación	Y Mayor variación del número de pedidos	Z Irregular número de pedidos
A Valor de inventario alto	AX	AY	AZ
B Valor de inventario moderado	BX	BY	BZ
C Valor de inventario bajo	CX	CY	CZ

Figura 2.1 Matriz multicriterio

Para la **Figura 2.1** se utiliza un código de colores, para indicar la importancia de cada categoría, importancia alta (azul oscuro), importancia media (azul), importancia baja (azul claro). A continuación se explica lo que significa que un producto se encuentre clasificado dentro de una categoría u otra.

Típicamente, menos del 8% de las referencias corresponderán a la categoría AX, que pueden llegar a significar el 50% de las ventas (Escobar, 2011). Estos son los productos que tienen el valor más alto y a la vez se venden con mayor frecuencia, presentando una demanda estable de poca volatilidad. Siendo los productos de la categoría AX los de mayor importancia para el negocio, se deberían centrar en ellos los mayores esfuerzos en la negociación con proveedores, puesto que variaciones en los precios tendrán un gran impacto. Es recomendable aprovisionarse de forma frecuente en pequeñas cantidades para tener bajos niveles de inventario.

En cambio los artículos AZ y BZ corresponden a productos de alta rentabilidad (por estar en la categoría A) pero que se venden con menos frecuencia (por estar en la categoría Z); se recomienda el suministro bajo pedido. De otra forma, el costo de un nivel de servicio razonable sería muy alto, generando altos niveles de obsolescencia.

Los artículos AY presentan un alto valor de salida y variabilidad media; se recomiendan reaprovisamientos frecuentes y en cantidades pequeñas como en los clasificados en AX. Artículos pertenecientes a la clasificación BX y BY presentan un valor medio y baja variabilidad, no es necesario reaprovisionar tan frecuentemente ya que el impacto del inventario es menor. Finalmente, los artículos CX, CY y CZ presentan un bajo valor y baja o media variabilidad. Como tienen un bajo impacto en el costo del inventario, se recomienda minimizar los costos operativos tratando de minimizar el número de pedidos y de transacciones.

2.2 MODELOS DE PRONÓSTICO PARA DEMANDA INTERMITENTE

2.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA

Para la caracterización y categorización de la demanda, es indispensable el uso de la estadística descriptiva que es la rama de las matemáticas que recolecta, presenta y caracteriza un conjunto de datos con el fin de describir apropiadamente las diversas características de ese conjunto. Sirve para identificar las características en el comportamiento de la demanda de los productos que se encuentran dentro del inventario, en los que se necesita describir su tendencia central, qué tan dispersas están las demandas con respecto a la media de las demandas, con el objetivo de definir si la demanda es heterogénea u homogénea, variable o constante, continua o intermitente, con un comportamiento normal, entre otras características. La demanda constante se caracteriza por no responder fácilmente a estímulos; por ejemplo, el consumo de sal no responde fácilmente a los efectos de la publicidad. Por otra parte, la demanda variable es aquella que se puede predecir si se conoce su variabilidad en el tiempo.

Las medidas de dispersión muestran la variabilidad de un conjunto de datos, indicando la mayor o menor concentración de datos alrededor de las medidas de centralización (media \bar{x} , mediana, moda). La **Tabla 2.1** define las medidas de dispersión más usadas en el análisis de los inventarios, siendo la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Para mayor información, se puede consultar Montgomery (1996).

Tabla 2.1 Medidas de dispersión

Medida de dispersión	Descripción	Fórmula
Varianza (S^2)	Mide la dispersión de los datos de una muestra respecto a la media, calculando la media de los cuadrados de las distancias de todos los datos.	$S^2 = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$
Desviación estándar (S)	Medida de dispersión asociada a la media. Mide el promedio de las desviaciones de los datos respecto a la media en las mismas unidades de los datos.	$S = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$
Coefficiente de variación	Mide la variación de los datos respecto a la media, sin tener en cuenta las unidades en la que están.	$CV = \frac{S}{ \bar{x} }$

2.2.2 DEMANDA INTERMITENTE Y PRONÓSTICOS

Por más que la demanda de un producto se pueda pronosticar, éste no necesariamente presenta una demanda continua en todos los períodos de estudio. La **demanda intermitente** (también conocida como **demanda esporádica**) se produce cuando un producto experimenta varios períodos de demanda cero (Cruz y Correa, 2017). A menudo, la demanda es pequeña en estas situaciones y, a veces, de tamaño muy variable. La demanda intermitente suele presentarse en industrias como la aviación, la automoción y la industria militar; típicamente, también ocurre con productos que se acercan al final de su ciclo de vida.

La categorización más utilizada para la demanda intermitente es la creada por Syntetos y Boylan, basada en el método de Croston, también abreviada SBC por las iniciales de sus apellidos (Syntetos et al., 2005) que calcula la variabilidad del tamaño de la demanda y el intervalo medio de demanda. Posteriormente, el uso de valores de corte propuestos por Syntetos y Boylan (coeficiente de variación cuadrático y el intervalo promedio entre demandas) para estas dos variables divide los componentes en cuatro grupos, de acuerdo con la siguiente nomenclatura:

- **Demanda suave:** la demanda de los producto tienen un comportamiento muy regular en tiempo y cantidad. Los productos con demanda suave son de baja rotación.
- **Demanda errática:** la demanda de los productos tiene ocurrencias regulares en el tiempo pero con grandes variaciones de cantidad.
- **Demanda grumosa:** es caracterizada por varios periodos en los que la demanda es cero y cuando la demanda ocurre, presenta gran variabilidad en la cantidad demandada.

- **Demanda agrupada:** es caracterizada por una demanda esporádica, es decir se observan varios periodos en los que la demanda es cero y no hay una marcada variabilidad en la cantidad demandada; es decir, cuando la demanda ocurre es constante o casi constante.

La clasificación SBC se muestra en la **Figura 2.2**.

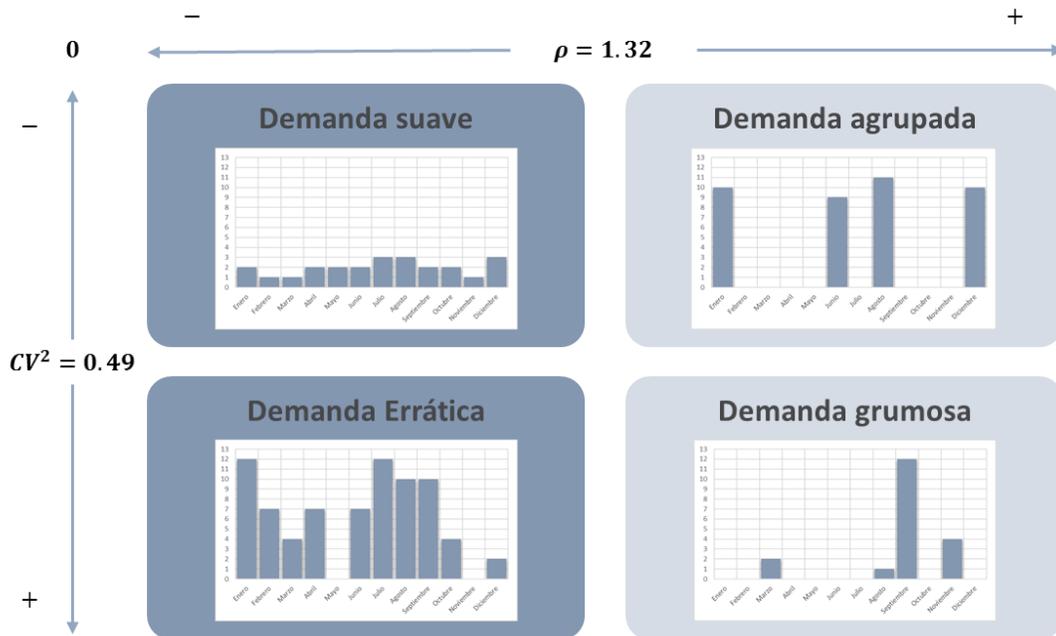


Figura 2.2 Clasificación SBC (Syntetos et al., 2005)

Donde:

$\rho =$ Intervalo promedio entre demandas (ADI por sus siglas en inglés “Average Demand Interval”) (variabilidad en el tiempo de la demanda).

$CV^2 =$ coeficiente de variación cuadrático (variabilidad en la cantidad demandada).

Los conceptos anteriores, se explicarán con más detalle en el **Capítulo 3**.

La clasificación SBC también sugiere métodos de pronóstico para cada tipo de demanda:

- El método Croston para demandas suaves, basado en el intervalo promedio entre demandas.
- El método Syntetos & Boylan (SBA), que está basado en el método de Croston, pero considera un factor de corrección para adecuar el suavizamiento para demandas erráticas, grumosas y agrupadas.

En 2011, Teunter, Syntetos & Babai desarrollaron un nuevo método de pronóstico, TSB, para productos con demanda intermitente grumosa, como por ejemplo los productos de moda, que generalmente presentan obsolescencia y pueden presentar una variabilidad extrema. El modelo propuesto es dinámico y considera la probabilidad de que ocurra o no la demanda (Teunter et al., 2011). Esta modificación se debe a que los métodos Croston y SBA no reaccionan rápidamente a situaciones donde los productos presentan una obsolescencia repentina.

La **Figura 2.3** resume los métodos de pronóstico propuestos para la clasificación SBC:

- Método Croston para demanda suave.
- Método Syntetos & Boylan (SBA) para demanda errática y agrupada.
- Método Teunter, Syntetos & Babai (TSB) para demanda grumosa.

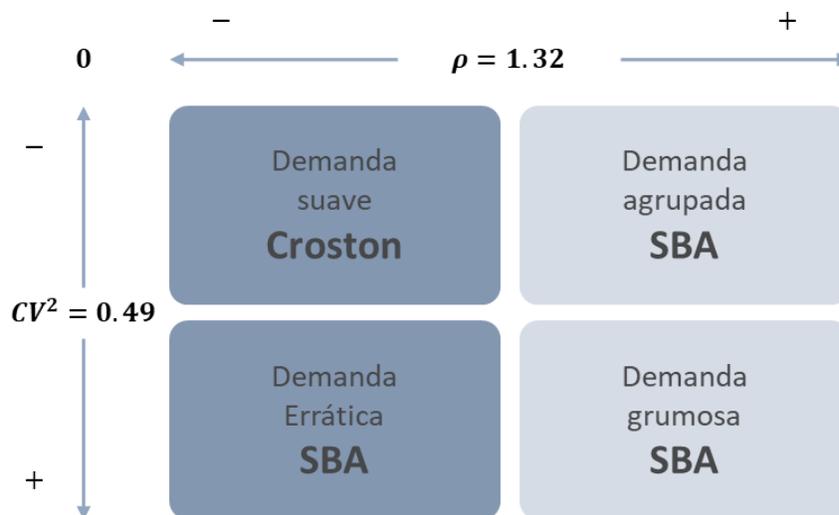


Figura 2.3 Propuesta de métodos de pronóstico para la clasificación SBC (Teunter et al. 2011)

2.2.3 EL MÉTODO CROSTON

Para patrones de demanda aleatorios, en donde se pretende eliminar el impacto de los datos históricos irregulares, uno de los métodos más usados es el del suavizado exponencial, SES, que toma en cuenta los datos históricos mediante un factor de ponderación o suavizado, α . Sin embargo, es un método de un solo paso adelante, es decir, supone que los pronósticos de cualquier período serán los mismos, cuando la serie es estacionaria. El SES pone más peso en los datos más recientes, lo que resulta, en el caso de una demanda intermitente, en una serie de estimaciones que son más altas justo después de que ocurra una demanda y más bajas justo antes de que la demanda vuelva a ocurrir, generando sobreestimaciones justo después de la demanda esperada y subestimaciones justo antes de la demanda esperada.

Por el contrario del método SES, el método Croston (1972) separa los componentes de la demanda en dos estimados: intervalos de interdemanada (tiempo entre observaciones) y en magnitud de sus observaciones (tamaño de la demanda), y de esta forma logra pronosticar separadamente el tamaño de la demanda no nula y el tiempo entre arribos de las demandas sucesivas no nulas, utilizando el SES. El método utiliza las siguientes fórmulas:

$$F_i = \frac{z_i}{p_i} \quad (1)$$

Con:

$$z_i = z_{i-1} + \alpha(D_{i-1} - z_{i-1}) \quad (2)$$

$$p_i = p_{i-1} + \alpha(q - p_{i-1}) \quad (3)$$

Donde:

F_i = Demanda pronosticada

z_i = Dimensión de la demanda para el período pronosticado

p_i = Intervalo entre la ocurrencia de cada demanda

α = Constante de suavizado

D_{i-1} = Demanda observada para el periodo anterior al análisis

q = Número de intervalos consecutivos con demanda observada

El coeficiente de suavizamiento de los datos, α , funciona como un factor de ponderación y su variación se hace de acuerdo con la necesidad de darle más peso a datos recientes (alfa más elevado) o a datos anteriores (alfa más bajo); puede tomar un valor entre 0 y 1. Este valor puede ser determinado por una persona o una empresa con base en sus requerimientos y realidad laboral, o bien, se puede hallar el valor óptimo con técnicas de investigación de operaciones.

2.2.4 APROXIMACIÓN SYNTETOS & BOYLAN

Syntetos y Boylan (2001), a través de un estudio de caso, demostraron que el método Croston daba, aunque ligeramente por encima, un rendimiento muy similar a otros métodos tradicionales de pronóstico en cuanto a costos y beneficios se refería. Sin embargo, para valores de alfa inferiores a 0.15, en donde se toman en cuenta los valores históricos solamente en una muy pequeña proporción, los pronósticos de la demanda se incrementaban de forma artificialmente alta, por lo que propusieron una modificación (Syntetos y Boylan, 2001), creando el modelo SBA; agregaron un factor de corrección a la fórmula, que obliga a tomar en cuenta más los datos históricos, conforme vaya disminuyendo alfa, provocando que el valor pronosticado no se incremente de forma artificialmente alta. La fórmula queda de la siguiente manera:

$$F_i = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) * \frac{z_i}{p_i} \quad (4)$$

2.2.5 TEUNTER, SYNTETOS & BABAI

Teunter et al. (2011), consideraron el aspecto de la obsolescencia en la previsión de la demanda intermitente, separando los datos de los períodos con demanda de los que no la tienen. Denominado modelo TSB por las iniciales de los apellidos de sus autores, propone la previsión para el período como la multiplicación del resultado de la atenuación exponencial de las demandas positivas por la probabilidad de no tener demanda nula en ese período. De esta manera, la estimación de la probabilidad de una demanda es actualizada para cada período.

La fórmula es la siguiente:

$$F_i = p'_i * z'_i \quad (5)$$

Con:

$$p'_i = \begin{cases} p'_{i-1} + \beta(0 - p'_{i-1}), y_{i-1} = 0 & \text{Si existió demanda en el período anterior} \\ p'_{i-1} + \beta(1 - p'_{i-1}), y_{i-1} = 1 & \text{Si no existió demanda en el período anterior} \end{cases} \quad (6)$$

$$z'_i = \begin{cases} z'_{i-1}, y_{i-1} = 0 & \text{Si existió demanda en el período anterior} \\ z'_{i-1} + \alpha(z'_i - z'_{i-1}), y_{i-1} = 1 & \text{Si no existió demanda en el período anterior} \end{cases} \quad (7)$$

Donde:

F_i = Demanda pronosticada

p'_i = Probabilidad estimada de demanda

z'_i = Dimensión de demanda estimada

α y β = Constantes de suavizado (Pueden tomar un valor entre 0 y 1)

y_{i-1} = Indicador de demanda para el período anterior al análisis

Este último, es un indicador que puede tomar un valor entre 0 y 1, dependiendo de la demanda observada del componente. Es 1 si el componente tuvo una demanda en el período anterior al análisis y 0 si no se observó demanda en este período.

El método TSB (Teunter et al., 2011) recalcula en cada periodo la probabilidad de que exista una ocurrencia (un valor distinto de 0 entre los datos). Por lo tanto, trata por separado la probabilidad de ocurrencia y el tamaño de dicha ocurrencia. Por ese motivo, existe un segundo valor o factor de suavizamiento en la fórmula, denominado beta, que está ligado única y exclusivamente a la probabilidad de ocurrencia, y el factor alfa tiene el mismo significado de factor de suavizamiento de la cantidad en cada período, como en los métodos explicados anteriormente.

2.3 MEDICIÓN DEL ERROR EN PRONÓSTICOS DE DEMANDA

Existe un gran número de indicadores de error del pronóstico (Calderon y Supelano, 2012), dentro de los que se destacan:

- Desviación absoluta media
- Error cuadrático medio
- Señales de rastreo
- Desviación estándar
- Error porcentual

Muchos expertos prefieren considerar la señal de rastreo como el indicador por excelencia para un adecuado control del pronóstico. Una señal de rastreo es un indicador de cuán bien se ajustan las predicciones de un pronóstico al comportamiento real de la demanda.

2.3.1 DESVIACIÓN ABSOLUTA MEDIA

La Desviación Absoluta Media o DAM es el valor absoluto de la diferencia entre la demanda real y el pronóstico, dividido sobre el número de periodos (Render et al., 2006):

$$DAM = \frac{\sum |Real_i - Pronóstico_i|}{n} \quad (8)$$

Mide el error de pronóstico promedio o, dicho de otra forma, la medición del tamaño del error en unidades de la demanda.

2.3.2 ERROR CUADRÁTICO MEDIO

Al igual que el DAM, el Error Cuadrático Medio (ECM) es una medida de qué tan alejado, en promedio, es el valor pronosticado con respecto al valor real de la demanda, al elevar al cuadrado los términos de error aumenta la “penalización” para los errores grandes (Render et al., 2006). Así, un solo error grande aumenta mucho el ECM. El ECM se define como:

$$ECM = \frac{\sum (Real_i - Pronóstico_i)^2}{n} \quad (9)$$

2.3.3 SEÑAL DE RASTREO

La señal de rastreo (*Tracking Signal* o TS) es una medida de desempeño que indica qué tan bien el pronóstico predice los valores reales y expresa el valor del error con respecto a la desviación absoluta media o DAM (Render et al., 2006). Se puede interpretar como la cantidad de veces la DAM que el pronóstico está sobre o bajo la demanda real. La fórmula para calcular la señal de rastreo es:

$$TS = \frac{\sum (Real_i - Pronóstico_i)}{DAM} \quad (10)$$

Si la TS es negativa, el valor pronosticado está por encima del valor real, mientras que, si es positiva, el pronóstico subestima la demanda real. El valor ideal sería 0. Usualmente se considera como límites aceptables una señal de rastreo que varía en el rango de [-4,4] DAM. Para calificar el desempeño del método de pronóstico empleado, se recomienda comparar los valores semanales o mensuales obtenidos dentro de un diagrama temporal, especificando los valores límite de [-4,4] DAM. Si se considera que la TS tiene un comportamiento aproximadamente normal, se espera obtener el 99.86% de los datos pronosticados dentro de estos límites (ver **Tabla 2.2.**).

Tabla 2.2 Porcentaje de datos dentro de rango de DAMs

Límites (# DAMs)	% Datos dentro del rango
±1	57.62%
±1.5	76.98%
±2	89.04%
±3	98.36%
±4	99.86%

2.4 MODELOS DE INVENTARIO DETERMINÍSTICOS

Los modelos de inventarios son métodos matemáticos que determinan la cantidad de productos de cierto tipo a producir u ordenar. Su finalidad es contar con información para ajustar, reducir o minimizar los niveles de inventario requeridos en la producción. Los modelos de inventario determinísticos son aquellos realizados para una demanda conocida (Babiloni, 2009). Esta puede estar dada por pronósticos de demanda o pedidos reales de los clientes. Dentro de este trabajo, se utilizarán los modelos EOQ, que determinan la cantidad de productos a ordenar.

2.4.1 EOQ SIN FALTANTES

El modelo EOQ (Economic Order Quantity) o cantidad económica de pedido, toma en cuenta una demanda constante y conocida, y con base a eso trata de saber mediante el costo de mantenimiento de un inventario y el costo de ordenar el pedido se puedan obtener las cantidades óptimas a pedir, todo ello minimizando el costo de inventario al máximo (Bustos y Chacón, 2012).

Sus características son:

- La demanda es uniforme y determinística
- No se permiten faltantes

- No hay tiempo de entrega
- Todo lo ordenado llega al mismo tiempo (tasa de reabastecimiento infinita)

La ecuación general para el modelo es la siguiente (Perera et al., 2017):

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (11)$$

Donde:

Q^* = Cantidad óptima que se debe ordenar.

A = Costo de la orden de compra o de preparación para la producción.

D = Demanda anual.

h = Costo anual de mantenimiento del inventario

Las ecuaciones para calcular el tiempo de reabastecimiento, número total de pedidos al año y el costo total anual promedio para este modelo, son (Izar et al., 2016):

$$T = \frac{Q}{D} \quad (12)$$

$$N = \frac{D}{Q} \quad (13)$$

$$K(Q) = cD + \frac{AD}{Q} + \frac{hQ}{2} \quad (14)$$

$$K(Q^*) = cD + \sqrt{2ADh} \quad (15)$$

Donde:

T = Tiempo de reabastecimiento

N = Número total de pedidos al año

$K(Q^*)$ = Costo total anual promedio que considera el costo anual de compra, costo anual de ordenar y costo anual de mantener (C_m). Calculado con la cantidad a ordenar óptima.

2.4.2 EOQ CON FALTANTES

La diferencia entre el modelo EOQ sin faltantes (ecuación 12) y EOQ con faltantes, radica en que este último admite faltantes. Se puede utilizar para pedidos en donde los elementos faltantes puedan cubrirse en un momento futuro conocido, aunque el proceso de producción ya haya empezado (Bustos y Chacón, 2012). La ecuación general para el modelo es la siguiente (Perera et al., 2017):

$$Q = \sqrt{\frac{2AD(C_f + h)}{C_f * h}} \quad (16)$$

Donde:

Q = Cantidad óptima que se debe ordenar

A = Costo de la orden de compra o de preparación para la producción

d = Demanda anual

h = Costo anual de mantenimiento del inventario

C_f = Costo por faltante

Las ecuaciones 12 y 13 para el cálculo de frecuencia y número total de pedidos, también se utilizan en este modelo EOQ con faltantes. Y las ecuaciones para el cálculo del nivel máximo óptimo de faltantes y el costo total anual promedio, son (Izar et al., 2016):

$$b^* = \sqrt{\frac{2ADh}{C_f(C_f + h)}} \quad (17)$$

$$K(Q^*, b^*) = cD + \frac{AD}{Q} + \frac{(Q - b)^2 h}{2Q} + \frac{b^2 C_f}{2Q} \quad (18)$$

Donde:

b^* = Nivel máximo óptimo de faltantes

$K(Q^*, b^*)$ = Costo total anual promedio que considera el costo anual de compra, costo anual de ordenar, costo anual de mantener (C_m) y costo anual por faltantes.

El costo anual de mantenimiento del inventario, h , se usa tanto en el modelo EOQ sin faltantes (ecuación 11) y con faltantes (ecuación 15). Contempla los siguientes conceptos:

- **Costo de almacenamiento:** cuando se reciben los artículos en las bodegas deben ordenarse y almacenarse adecuadamente. Algunas veces hasta es necesario utilizar equipo especial como montacargas o grúas para movilizarlos y colocarlos en un lugar apropiado.
- **Costo de conservación del inventario:** existen productos que necesitan cuidados especiales para que no se deterioren mientras se encuentren en las bodegas.
- **Control de bodegas:** debido al movimiento de entradas y salidas constantes se hace necesario disponer de un buen sistema de control contable con el propósito de mantener los registros actualizados.
- **Obsolescencia:** reviste de gran importancia cuando se trata de artículos que pasan de moda con mucha facilidad. Es un costo que se asigna a los artículos de alto riesgo de hacerse obsoletos, entre mayor es el riesgo mayor es el costo.
- **Seguros:** es necesario proteger los inventarios por daños que puedan sufrir a consecuencia de incendios, robos o cualquier otro accidente, debido a lo cual hay que pagar primas de seguros de acuerdo con el valor asegurado de las existencias.
- **Inmovilización financiera:** los fondos que se usan para financiar la inversión en inventarios tienen un costo para la empresa, ya que esos recursos se podrían haber desplazado en otras inversiones que produzcan cierta rentabilidad con un menor riesgo, tales como bonos, acciones u otros valores.

La demostración de las formulas explicadas anteriormente, se encuentran en el **ANEXO A.**

CAPITULO 3 METODOLOGÍA

Este proyecto se llevó a cabo en la empresa “N”, que se dedica a la manufactura de remolques y se caracteriza por tener una producción bajo pedido. Cabe mencionar que la empresa en los último años ha presentado una disminución en la colocación de pedidos. Se espera que la metodología propuesta a continuación ayude a que dicha empresa cuente con una mejor planeación del inventario, donde su base no sea principalmente la expertisw del personal que labora en ella, sino que sea sólo un complemento a una pleaneación estructurada.

Para la mejora de la gestión del inventario y de su eficiencia, se implementaron tres etapas de actuación. La **Figura 3.1** es un esquema de la secuencia de cómo se realizaron las actividades propuestas para este proyecto.



Figura 3.1 Metodología

Las actividades son:

- **Diagnóstico:** identificar cómo es el proceso para el control del inventario, así como los problemas que evitan que este se lleve a cabo. Reconocer si la empresa utiliza algún método, metodología o técnica para la caracterización de su demanda y el pronóstico de la misma; así como saber si se maneja algún modelo de inventario. Recopilar datos históricos de su demanda.
- **Análisis de información:** Realizar una clasificación de productos (materia prima, en proceso y terminados). Hacer un análisis ABC y XYZ, para crear una matriz multicriterio. Caracterizar y categorizar la demanda de los productos obtenidos en la matriz multicriterio.
- **Gestión del inventario:** Encontrar un método de pronósticos que se ajuste al comportamiento de la demanda de cada uno de los productos y con base en ello, proponer algunas políticas de inventario que mejor convengan a la empresa.

A continuación, se desglosa con mayor detalle cada una de las etapas de la metodología.

3.1 DIAGNÓSTICO

Para la identificación de cómo es el proceso de control de inventario, se realizaron entrevistas al Director General, al encargado de compras, al encargado de control de inventarios y al ingeniero de producción de la empresa “N” (Por confidencialidad no se puede dar información detallada de la empresa); así mismo, se realizó una visita de campo para observar cómo se llevaba a cabo el proceso de control de inventario y así realizar el diagrama de flujo del mismo. Las entrevistas realizadas y la visita de campo sirvieron para conocer si en la empresa se utilizan técnicas para pronosticar la demanda y/o si cuentan con un modelo de inventario, así como los tipos de productos que guardan en su almacén (materia prima, en proceso y terminados). Se utilizó el diagrama de flujo del proceso, el análisis de los datos históricos de compras y de la base de datos de entradas y salidas de inventario, así como un diagrama de Ishikawa para la detección de los problemas que evitan que se lleve a cabo el correcto manejo del inventario.

En cuanto a la recopilación de datos históricos, se revisaron las bases de datos del departamento de compras, ventas e inventarios, aunque esta última no aportó datos útiles para el proyecto, ya que no cuentan con el historial de entradas y salidas de artículos, sólo cuentan con un contador que muestra la cantidad actual de sus piezas.

3.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Los datos históricos que se recabaron son los pertenecientes al período 2014-2016 (el proyecto se comenzó en el año 2017), y para el análisis de estos, se utilizaron los siguientes programas: Excel y R (R Core Team, 2017). Se decidió utilizar R porque es un software libre, multiplataforma, de código abierto y gratuito. Además, permite la automatización, lectura de datos y trabajar con grandes volúmenes de datos sin reducir la velocidad de procesamiento, lo cual es de gran utilidad para la depuración y organización de los datos recabados. La base de datos trabajada cuenta con una gran cantidad de registros, aproximadamente 4200 registros, en la que se necesitó automatizar algunas tareas para aportar facilidad al análisis. Así mismo, R cuenta con una plataforma estadística avanzada y gráficos de alta calidad, lo que facilitó el análisis de los datos con el uso de distintas técnicas, de una manera sencilla y exacta. Paralelamente, una vez depurada y organizada la base de datos con R, se utilizó Excel para hacer cálculos más sencillos, ya que este software permite introducir y analizar datos con rapidez y exactitud en una interfaz gráfica muy sencilla e intuitiva.

Los paquetes utilizados en R son:

- Readxl (Wickham y Bryam, 2017)
- Dplyr (Wickham et al., 2017)
- Lubridate (Grolemund y Wickham, 2011)
- Data.table (Dowle y Srinivasan, 2018)
- Qcc (Scrucca, 2004)
- Xlsx (Gragulescu y Arendt, 2018)
- Nortest (Gross y Ligges, 2015)
- Moments (Komsta y Novomestky, 2015)
- Forecast (Hyndman, 2017)
- Seewave (Sueur et al., 2008)
- Tsintermittent (Kourentzes y Fotios, 2016)

3.2.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

La base de datos que se recopiló en la empresa fue proporcionada por el área de compras. Ésta se encuentra compuesta por varios archivos de Excel que ellos llaman “órdenes de trabajo”; cada archivo mantiene un formato similar en el cual se indica cantidad y tipo de materia prima utilizada para cada remolque ya fabricado. La **Figura 3.2** muestra como ejemplo el encabezado o parte inicial de una orden de trabajo del control de compras.

CONTROL COMPRAS DE MATERIALES POR ORDENES DE TRABAJO							10	
1	ORDEN DE TRABAJO No.	027/2014	SERIE:	FM021003	8			
2	TIPO DE UNIDAD:	PLATAFORMA PLANA 39' 2EN						9
3	MATERIALES REQUERIDOS	TRINITY INDUSTRIES DE MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.						
	DESCRIPCION	CANTIDAD	PROVEEDOR	FACTURA	FECHA	SURTIDO	P.VENTA	
4	EJES	2 COMP.					\$ 302,000.00	
	TUBO 5" X 1580 MM	154	T.B.H.M.	77325-01	14-oct-14	C-10023	\$ 32.28	\$ 4,971.12
	BARRA ACERO 5" MUÑON"							
	RETENES	10	ELDA	22	26-oct-14	C-10059	\$ 62.00	\$ 620.00
	MATRACAS AUTOAJUSTABLES	5	DAVASA	53693	27-oct-14	C-10100	\$ 375.00	\$ 1,875.00
	GAVILANES	4	SUDIMEX	5762	23-oct-14	C-10055	\$ 395.00	\$ 1,580.00
	ARAÑAS DE FUNDICION	14	SUDIMEX	5527	06-oct-14	C-10014	\$ 554.00	\$ 7,756.00
	CAMARAS DOBLES 30-30	5	DAVASA	53693	27-oct-14	C-10100	\$ 300.00	\$ 1,500.00
	MANITAS DE ACOPLE							
	BALEROS T127							
	ABRAZADERAS Y ASIENTOS	20	GENA TILO	24981	28-oct-14	C-10074	\$ 136.79	\$ 2,735.80
	ABRAZADERAS							
	ENSAMBLES UNIMONT CON ABS	4	MINGLER	205244	24-oct-14	C-10034	\$ 1,956.98	\$ 7,827.90
	BALATAS							
	ZAPATAS	25	DAVASA	A53691	27-oct-14	C-10091	\$ 204.00	\$ 5,100.00
	GRASA MOBILGREASE	1	LUB.FIL.	286718	29-oct-14	C-10069	\$ 1,405.77	\$ 1,405.77
	BALERO HDHM518445 GRANDE	8	TRISEAL	6844	29-oct-14	C-10081	\$ 290.00	\$ 2,320.00
	BALERO HM212049							

Figura 3.2 Orden de trabajo (Parte inicial)

Los conceptos de la **Figura 3.2** son:

1. **Orden de trabajo:** es la forma en que la empresa lleva un control del número de unidades fabricadas cada año; por ejemplo, la orden de trabajo de la **Figura 3.2** corresponde a la unidad 27 del año 2014.
2. **Tipo de unidad:** indica el tipo de remolque que se fabricó.
3. **Descripción:** es el tipo de materia prima utilizada en cada unidad. Cabe mencionar que esta lista de materiales ya está preestablecida en el formato, y en cada archivo sólo se llenan los campos de los materiales requeridos para esa orden de trabajo.
4. **Cantidad:** es el número de unidades requeridas de cada artículo.
5. **Proveedor:** nombre del proveedor que surte cada artículo.
6. **Factura:** número de factura de la orden de compra del artículo.
7. **Fecha:** es la fecha en que se utilizó dicho artículo.
8. **Precio unitario** del artículo.
9. **Precio total** del artículo, es decir, la cantidad requerida por el precio unitario.
10. **Precio de venta** de la unidad fabricada.

La **Figura 3.3** es la parte final del archivo del ejemplo de la **Figura 3.2**.

LAMINA CAL. 12 CUBIERTA PISO							
PISO MADERA 1-1/2"	1	HIRMA	505	29-oct-14	C-10070	\$ 5,520.00	\$ 5,520.00
MADERA 1-1/2"							
VALVULA 110700, CAMARAS ETC.							
VALVULA 110700							
VALVULA 110415							
							\$ 239,544.52
							\$ 62,455.48
DEPTO DE COMPRAS:							
CONSTRUCTORA DE SILVA, S.A. DE C.V.							

Figura 3.3 Orden de trabajo (Parte final)

Los conceptos de la **Figura 3.3** son:

11. **Precio total** de materia prima
12. **Diferencia entre el precio de venta y el precio total**, por lo que se podría considerar que ahí están incluidos los precios de los insumos, mano de obra, utilidades, entre otros.

3.2.2 DEPURACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE DATOS

El primer paso para la depuración de datos es juntar en un archivo de Excel cada una de las ordenes de trabajo, para leer todos los datos en R (Guisande y Vaamonde, 2006) y desde ahí comenzar con el análisis de datos.

En la **Figura 3.4** se representa una parte del archivo que contiene la ruta de acceso de cada orden de trabajo en la computadora empleada, el cual después es procesado en R para depurar, organizar y dar un formato unitario a cada orden de trabajo.

2	C:/Users/Andrea RB/Documents/Tesis Maestria/DATOS/CONTROL DE COMPRAS POR ORDENES DE TRABAJO 2014/TANQUES/TERMINADAS/TANQUE PARA GASOLINA 18500 LTS. O.T. 023-2014 DESARROLLO.xls
3	C:/Users/Andrea RB/Documents/Tesis Maestria/DATOS/CONTROL DE COMPRAS POR ORDENES DE TRABAJO 2014/TANQUES/TERMINADAS/TANQUE PARA GASOLINA 20000 LTS. O.T. 021-2014 ORSAN.xls
4	C:/Users/Andrea RB/Documents/Tesis Maestria/DATOS/CONTROL DE COMPRAS POR ORDENES DE TRABAJO 2014/TANQUES/TERMINADAS/TANQUE PARA GASOLINA 10000 LTS. O.T. 022-2014 ZAPATA.xls
5	C:/Users/Andrea RB/Documents/Tesis Maestria/DATOS/CONTROL DE COMPRAS POR ORDENES DE TRABAJO 2014/TANQUES/TERMINADAS/TANQUE PARA ASFALTO 23500 LTS. O.T. 004-2014 TERM. 07 TEGRASECA, S.A. DE C.V..xlsx
6	C:/Users/Andrea RB/Documents/Tesis Maestria/DATOS/CONTROL DE COMPRAS POR ORDENES DE TRABAJO 2014/TANQUES/TERMINADAS/TANQUE PARA ASFALTO 23500 LTS. O.T. 003-2014 TERM. 06 TEGRASECA, S.A. DE C.V..xlsx
7	C:/Users/Andrea RB/Documents/Tesis Maestria/DATOS/CONTROL DE COMPRAS POR ORDENES DE TRABAJO 2015/TANQUES/TERMINADAS/TANQUE PARA ACIDOS 15000 LTS. O.T. 03-2015 ZAPATA.xls
8	C:/Users/Andrea RB/Documents/Tesis Maestria/DATOS/CONTROL DE COMPRAS POR ORDENES DE TRABAJO 2015/TANQUES/TANQUE ACEITES 30000 LTS. O.T. 68-2015 TERM GM021043 RALOY.xls
9	C:/Users/Andrea RB/Documents/Tesis Maestria/DATOS/CONTROL DE COMPRAS POR ORDENES DE TRABAJO 2015/TANQUES/TANQUE ACEITES 30000 LTS. O.T. 69-2015 TERM GM021044 RALOY.xls

Figura 3.4 Base de datos con ruta de acceso para cada orden de trabajo

La empresa no maneja un formato único ni unificado para las ordenes de trabajo; los archivos contienen filas o columnas distintas. En esta etapa se generó una propuesta de formato general para su uso futuro en la empresa. De cada archivo, se eliminaron todos los registros vacíos, es decir, aquellos materiales que no se utilizan en cada orden de trabajo. Después se unió toda la información en una tabla llamada “*ListaGeneral*”, como se observa en la **Figura 3.5**.

	DESCRIPCION	CANTIDAD	PROVEEDOR	FACTURA	FECHA	COSTO_UNI	COSTO_TO	ORDEN_DE_TRABAJO	TIPO_DE_UNIDAD
1	ABRAZADERAS	12	GEN.A.T.	24158	2014-02-21	129.33500	1552.020	008/2014	JEEP DOLLY
2	ABRAZADERAS	12	G.A.T.	24585	2014-07-10	129.33500	1552.020	018/2014	CAMA BAJA CAP. 55 TONS. CUELLO FIJO
3	ABRAZADERAS	1	G.A.T.	26170	2016-05-13	680.00000	680.000	007/2016	REPARACION CAMA BAJA
4	ABRAZADERAS	8	PRATSA	15997	2016-09-02	121.73750	973.900	016/2016	CAMA BAJA CAP. 80 TONS. CUELLO DESMC
5	ABRAZADERAS	20	PRATSA	19520	2017-03-10	123.19858	2463.972	008/2017	CAMA BAJA CAP. 55 TONS. CUELLO DESMC
6	ABRAZADERAS SOLERA	1	UMYCSA	11772	2015-07-24	210.00000	210.000	018/2015	KIT DESCARGA Y CUENTA LITROS
7	ABRAZADERAS SOLERA	1	G.A.T.	25545	2015-08-03	3496.00000	3496.000	023/2015	REPARACION CAMA BAJA

Figura 3.5 Lista general

La “*ListaGeneral*” representada en la **Figura 3.5**, conformada por 4147 registros, consiste en una tabla con las siguientes especificaciones:

- DESCRIPCIÓN: nombre de la materia prima utilizada
- CANTIDAD: cantidad usada de cada producto
- PROVEEDOR
- FACTURA
- FECHA: fecha de suministro
- COSTO_UNI: costo unitario de cada artículo
- COSTO_TOT: cantidad ordenada por el costo unitario
- ORDEN_DE_TRABAJO: número de orden de trabajo a la que pertenece ese artículo utilizado
- TIPO DE UNIDAD: tipo de remolque en la que se requirió ese artículo

Finalmente, se unificó la terminología; por ejemplo, en la lista aparece “LLANTAS 11R22.5 RADIAL MICHELIN” y “LLANTAS 11R22.5 RADIAL”, que hacen referencia a un mismo tipo de artículo, por lo que se unificó el concepto llamando a todos esos artículos “LLANTAS 11R22.5 RADIAL”, y lo mismo se realizó con los artículos que presentan ese problema. Para la realización de lo anterior, se pidió acceso a cada una de las facturas, para poder revisar y ejecutar los cambios de forma correcta y no arbitrariamente. Como el acceso fue limitado, no todos los conceptos se lograron corregir. Otro de los problemas encontrados dentro de la base de datos, fue que las unidades de cada material no se encuentran unificadas, también se trataron de corregir en su mayoría.

3.2.3 MATRIZ MULTICRITERIO ABC XYZ

Debido a que el inventario de la empresa cuenta con alrededor de 545 artículos diferentes considerados como materia prima, se utilizó un análisis multicriterio ABC XYZ para determinar los artículos que aportan mayor valor al inventario y que además son los que se utilizan con mayor frecuencia, para cumplir con los alcances de este proyecto. Con el análisis ABC se obtuvieron los artículos que aportan mayor valor al inventario, sin embargo, hay artículos que aportan un gran valor al inventario porque su costo es estratosférico, pero sólo se utilizan una o dos veces al año y el tiempo de reabastecimiento no demora más de uno o dos días, y no afecta el comienzo de una nueva orden de trabajo, sino que se puede solicitar el reabastecimiento en el transcurso de la fabricación del nuevo remolque. Se optó por realizar un análisis XYZ y con él obtener los artículos utilizados con frecuencia, y posteriormente hacer un análisis multicriterio que diera como resultado los artículos más utilizados y que al mismo tiempo aportaran un valor alto al inventario.

La creación de la matriz multicriterio se hizo mediante R y Excel. Con la lista general, en R se encontró el consumo anual de cada artículo.

En la **Figura 3.6** se observa cómo se hizo el recuento del consumo anual para cada artículo; hay cinco variables, “DESCRIPCIÓN” (nombre del artículo), “AniO” (año en que se tuvo esa demanda), “Cantidad” (Demanda anual), “frec_uso” (frecuencia en que se ordenan más unidades). Tomando de ejemplo el artículo “GANCHO DE JALON”, su demanda anual para el 2014 fue de 17 unidades, en el 2015 de ocho unidades y en el 2016 de ocho unidades.

	DESCRIPCION	AniO	Cantidad	frec_uso	COSTO_UNI
314	FILTRO DIESEL T	2014	1	1	1718.2900
315	FLECHA CARDAN	2014	1	1	1229.0520
316	FLEXOMETROS ETC.	2014	1	1	459.4500
317	FORRO LAMINA A.INOX. KGS CPO.	2014	2	2	8454.8100
318	FORRO LAMINA A.INOX. KGS TAPAS	2014	2	2	4006.1595
319	GANCHO DE JALON	2014	17	17	3464.3359
320	GANCHO DE JALON	2015	8	8	4215.2081
321	GANCHO DE JALON	2016	8	8	4656.0000
322	GANCHO HOLLAND	2016	1	1	4112.9250
323	GAS	2015	6	6	725.2367
324	GAS	2016	15	15	1349.0573

Figura 3.6 Demanda anual por artículo

El análisis ABC y XYZ se aplicó por año, debido a la demanda cada año no es constante y se pretende comparar los cambios que se presentan cada año dentro de la clasificación ABC y XYZ. Los datos mostrados en la **Figura 3.6** se exportaron a Excel, para realizar el análisis ABC, XYZ y multicriterio.

Para el análisis ABC, se creó una tabla por año como la mostrada en la **Figura 3.7**, que contiene la demanda anual, el costo unitario, la valorización del consumo, el porcentaje del consumo y el porcentaje acumulado. Los porcentajes asignados para cada zona se realizaron con el costo total del inventario, la zona A estaría conformada por el 70% total del inventario, la zona B por un 25% y la zona C por un 5%. Los porcentajes anteriores se eligieron porque son los comúnmente utilizados para este tipo de análisis (Escobar, 2011); sin embargo, en estudios posteriores se podría llegar a variar cada uno de ellos para medir el impacto de los coeficientes sobre el análisis.

# ARTICULO	DESCRIPCION	CONSUMO ANUAL (Unidades)	COSTO UNITARIO (\$)	CONSUMO (\$)	% DEL CONSUMO	VALOR ACUMULADO (%)	CLASE
29	PISO MADERA 1-1/2"	522	3336.53	1741670.40	12.1502%	12.1502%	
21	TUBO 5" X 1580 MM	2181	510.94	1114211.49	7.7730%	19.9232%	
28	SOLVENTES	903	1111.43	1003616.78	7.0014%	26.9246%	
43	LLANTAS 255/70/22.5	188	3945.86	741822.26	5.1751%	32.0997%	
77	SOLDADURA	40	12543.10	501724.11	3.5001%	35.5998%	
1	PLACA 3/8"	44465	11.04	491091.33	3.4259%	39.0258%	
61	ENSAMBLES UNIMONT SIN ABS	77	5501.68	423629.62	2.9553%	41.9811%	
73	BUJES DE BRONCE	46	9057.17	416629.77	2.9065%	44.8876%	
2	PLACA 1/4"	35945	11.36	408302.52	2.8484%	47.7360%	
3	PLACA 3/4"	28655	12.48	357614.40	2.4948%	50.2308%	
6	PLACA 1"	26345	12.75	335898.75	2.3433%	52.5741%	A
72	LLANTAS 11R24.5 XZE2 MICHELIN	48	6459.50	310056.00	2.1630%	54.7371%	
4	LAMINA CAL. 10	27640	10.97	303286.18	2.1158%	56.8529%	
5	PLACA 3/16"	26904	10.85	291987.53	2.0370%	58.8898%	
63	LLANTAS 11R24.5	72	3571.00	257111.82	1.7937%	60.6835%	
76	LLANTAS TRIANGLE 11R24.5	40	5749.65	229986.17	1.6044%	62.2879%	
37	RINES UNIMONT 825 X 22.5	258	822.13	212110.54	1.4797%	63.7676%	
52	ENSAMBLES UNIMONT CON ABS	104	2017.13	209782.00	1.4635%	65.2311%	
59	BUJES TRIFUNCIONALES	88	2352.84	207050.31	1.4444%	66.6755%	
44	ABRAZADERAS Y ASIENTOS	167	1021.73	170628.45	1.1903%	67.8659%	
7	SOLERAS DE 5/8"X6"	13976	11.87	165915.07	1.1575%	69.0233%	
9	MUÑON	6025	23.97	144409.59	1.0074%	70.0308%	
82	SISTEMA ABS.	26	5099.48	132586.60	0.9249%	70.9557%	B
31	BALERO HDHM518445	424	290.00	122960.00	0.8578%	71.8135%	

Figura 3.7 ABC 2014

Para el análisis XYZ, se crearon tablas similares al análisis ABC, la diferencia radicó en que esta clasificación se hizo de acuerdo con la frecuencia de pedidos de cada artículo, es decir, basado en los que se utilizan más. Los porcentajes asignados fueron iguales que los del ABC: para la zona X se asignó un 70% del total de la frecuencia de pedidos, para la zona Y 25% y zona Z 5%. La **Figura 3.8** representa una pequeña parte de esta clasificación, en específico los artículos contenidos en la zona X.

# ARTICULO	DESCRIPCION	No. DE PEDIDOS ANUALES	% DE PEDIDOS	VALOR ACUMULADO %	CLASE
57	OXIGENO Y GAS	65	7.3613%	7.36%	
83	SOLDADURA	20	2.2650%	9.63%	
59	ARAÑA	16	1.8120%	11.44%	
86	PERNO REY	16	1.8120%	13.25%	X
88	SISTEMA ABS.	16	1.8120%	15.06%	
37	BALERO HDHM518445	15	1.6988%	16.76%	

Figura 3.8 XYZ 2015

Finalmente, la matriz multicriterio fue creada a partir de los resultados del análisis ABC y XYZ. Es decir, es una matriz bidimensional, en la que se trata de encontrar la intersección entre las zonas A y X, B y X, C y X, y así sucesivamente, para obtener los artículos que representan un mayor costo del inventario y al mismo tiempo son los más utilizados; estos son los que pertenecen a la zona o intersección AX, mostrada en la **Figura 3.9**, que es una representación de una parte de la matriz multicriterio del año 2016.

DENOMINACION		X																	
		61	27	92	37	50	101	102	70	55	68	8	48	59	63	107	1	3	43
A	SOLDADURA	27	x																
	ACEROS COLD ROLLED VARIOS	46																	
	MANGUERAS FRENOS	38																	
	ACEITE HIDRAULICO	49																	
	LLANTAS 255/70/22.5	54																	
	PLACA 1/4"	2																	
	PLACA 3/4"	1																	x
	CILINDROS DOBLE ACCION	113																	
	PLACA 3/8"	3																	
	BUJES DE BRONCE	77																	
	ENSAMBLES UNIMONT SIN ABS	63													x				
	ENSAMBLES UNIMONT CON ABS	70						x											
	MUÑON	8									x								
	PLACA DE 1-1/4"	4																	
	RINES UNIMONT 825 X 22.5	48													x				
	PLACA 1"	5																	
	LLANTAS 11R24.5	72																	
PLACA 1/2"	6																		
OXIGENO Y GAS	61	x																	
B	PISO MADERA DE PINO 3"	128																	
	PLACA 5/8"	7																	
	BALERO HDHM518445	37				x													
	MUELLES MUCST-005	103																	
	LLANTAS 11R22.5 RADIAL	106																	
	RINES UNIMONT 825 X 24.5	66																	
	PLACA DE 1-1/2"	10																	
	INSERTOS	81																	
	MAMELONES PLATAFORMA	98																	
	SOLERAS DE 3/4"X6"	9																	
	SEGUROS, CARRETILLAS ETC.	52																	
	VIGAS IPR 10" X 8"	11																	
	ARAÑA PARA EJE	87																	
	ARAÑA	59																	
	PISO MADERA	165																	
	SOLERA 3/4" X 8"	12																	
	MOTOR KOHLER 23 HP	162																	
	LLANTAS 355/70/22.5 RADIAL	97																	
	PINTURA POLIURETANO	127																	
	ZAPATAS HUASA, VALVULAS ETC	191																	
	MAMELON CLLO.	114																	
	BARRA HUECA	17																	
	VIGAS IPR	13																	
ZAPATAS	55																		
PATINES	116																		
MOTOR 23 H.P.	181																		
VIGAS IPR 10"	14																		

Figura 3.9 Matriz multicriterio 2016

Las “x” marcan la intersección de dos clasificaciones, AX, BX y así sucesivamente.

3.2.4 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA

Para la caracterización de la demanda de los artículos seleccionados con la matriz multicriterio, se utilizó R y Excel. Con R, se extrajo la demanda por mes, por año y por artículo. La **Figura 3.10** es la tabla resumen de la demanda mensual de uno de los artículos (Ensamble Unimont con ABS). La tabla resumen de cada artículo se exportó a Excel.

MES	AniO	Suma
3	2014	12
10	2014	48
11	2014	40
12	2014	4
4	2015	44
8	2015	6
9	2015	8
1	2016	32
2	2016	6
4	2016	8
11	2016	24
12	2016	12
2	2017	30

Figura 3.10 Demanda mensual - artículo Ensamble Unimont con ABS

Con la tabla resumen de cada artículo, se creó la **Tabla 3.1**, que es una tabla general que contiene la demanda mensual de cada artículo, desglosada por año y mes.

A partir de la **Tabla 3.1**, se creó en Excel una plantilla formulada; en ella se calcula el comportamiento de la demanda para cada producto, durante los meses de enero 2014 hasta diciembre del 2016. La plantilla calcula las medidas estadísticas descriptivas que permiten identificar características en el comportamiento de la demanda de los productos, como tendencia central, dispersión con respecto a la media de las demandas y gráficos.

Con base en la tabla de resultados (ver capítulo de resultados), se categoriza la demanda, se agrupan los productos cuyos patrones de demanda presentan características similares (Rosas y Cortes, 2013). Las características consideradas incluyen temporalidad, variabilidad y tendencia (cfr. incisos 2.2.1 y 2.2.2).

Tabla 3.1 Demanda mensual de artículos seleccionados

Año	Mes	Período	Ensamble	Llantas	Muñón	Placa 1/4"	Placa 3/8"	Rines	Soldadura
2014	Enero	1				3735	2105		1
	Febrero	2		8	1068	7500	7045	8	4
	Marzo	3	12	24		6120	2110	32	4
	Abril	4		36	611	3270	2820	52	2
	Mayo	5		36	276	1395	4930	36	3
	Junio	6		12				12	
	Julio	7		12		4690	4945	12	2
	Agosto	8						1	2
	Septiembre	9							
	Octubre	10	48		3190	4975	16305	34	7
	Noviembre	11	40	20	528	2770	4205	62	7
	Diciembre	12	4	40	352	1490		9	8
2015	Enero	13							
	Febrero	14							2
	Marzo	15		24	1584	585	3075	23	4
	Abril	16	44			2370	3495	16	2
	Mayo	17		16	445	6050		32	5
	Junio	18		28	265	2880	4200	28	1
	Julio	19							2
	Agosto	20	6					20	
	Septiembre	21	8						3
	Octubre	22							
	Noviembre	23							
	Diciembre	24				463	2344	16	1
2016	Enero	25	32		220		3516		4
	Febrero	26	6		1540	2790			3
	Marzo	27		8				8	9
	Abril	28	8	12	2420	4712	4998	12	5
	Mayo	29		16		2212		16	8
	Junio	30		24	880	2340	3530	24	8
	Julio	31		28	572			28	2
	Agosto	32		12	924	6118	2824	12	5
	Septiembre	33						16	4
	Octubre	34						24	
	Noviembre	35	24	16	528	5670	8219	16	21
	Diciembre	36	12	48		3870	3805	48	2

La categorización consta de cuatro pasos:

- La categoría uno depende de la ocurrencia de los eventos de la demanda, que puede ser:
 1. Demanda continua
 2. Demanda intermitente

Para esta categorización, se realizaron gráficas de barras para cada producto para así identificar si la demanda es continua o intermitente y también se generó un código para la **Tabla 3.1** para comprobar lo observado en las gráficas.

- La categoría dos va de acuerdo con la variabilidad de los datos de la demanda y se basa en:
 1. Coeficiente de variación (CV) para los ítems que presentan demanda continua.
 2. Coeficiente de variación cuadrática (CV^2) para los ítems que presentan demanda intermitente.

Para la demanda intermitente se desarrolló el cálculo del coeficiente de variación cuadrático con el fin de determinar si los productos tienen un comportamiento constante u homogéneo en la demanda y cuántos tienen un comportamiento variable o heterogéneo. Se generó un formato en el que se calcula el coeficiente de variación cuadrático de todos los productos con demanda intermitente y con la definición de un criterio con la función “si” de Excel, que permita establecer una decisión lógica en la que devuelva el nombre de “variable” si $CV^2 > 0.49$, de lo contrario devuelve la palabra “constante”.

- La categoría tres consiste en agrupar los productos según su tendencia y su coeficiente de variación, pero sólo aplica para los ítems que presentaron una demanda continua en la categorización uno.

Los artículos seleccionados para estudio en este proyecto no presentan una demanda continua, por lo que la categoría tres no aplicaría para los artículos en estudio.

- La categoría cuatro aplica para los productos que en la categoría uno resultaron tener demanda intermitente. Se basa en el esquema de categorización para demanda intermitente SBC. Consiste en agrupar los productos según el intervalo promedio entre demandas (ADI) y el coeficiente de variación cuadrático.

En esta categoría, se deben seguir los siguientes pasos para determinar qué tipo de demanda presenta cada artículo, de acuerdo con la clasificación SBC (Petrooulos y Kourentzes, 2016):

1. Se toma como base la **Tabla 3.1**, que se utiliza para el cálculo del coeficiente de variación cuadrático.
2. Se calcula el intervalo de ocurrencia entre dos demandas (Q_i), luego se suman todos los intervalos de ocurrencia entre dos demandas encontrados en los 36 meses (3 años de estudio para este proyecto) de demanda histórica ($\sum Q_i$).
3. Se calcula el número de períodos donde la demanda no es cero (N), esto se realiza con la función “contar.si” de Excel y se coloca el criterio diferente de cero, el cual recuenta sólo las demandas que sean mayor a cero.
4. Se calcula el intervalo promedio entre demandas (ADI); esto se realiza dividiendo $\sum Q_i$ entre N .
5. Finalmente se calcula la categorización de la demanda intermitente según la clasificación SBC; esta se realiza con dos funciones lógicas de Excel, la función “si” y la función “y”; si $CV^2 < 0.49$ y $ADI < 1.32$, devuelve el nombre de demanda “suave”. Si no, evalúa si $CV^2 > 0.49$ y $ADI < 1.32$, cuando devuelve el nombre de demanda “errática”. Cuando $CV^2 > 0.49$ y $ADI > 1.32$, devuelve el nombre de demanda “grumosa”, y, finalmente, si no cumple con ninguna de las anteriores devuelve el nombre de demanda “agrupada”.

Para ejemplificar los cinco pasos requeridos para definir la categoría cuatro, éstos se desglosan para el artículo “Ensamble”; para el resto de los artículos, los cálculos se hacen de manera automatizada en Excel y R.

Paso 1: se utiliza la **Tabla 3.1**, para extraer la demanda del artículo “Ensamble”. Con los datos de la demanda del artículo “Ensamble” se crea la **Tabla 3.2**.

Tabla 3.2 Demanda de artículo "Ensamble"

Mes	Año	Período	Ensamble	Año	Período	Ensamble	Año	Período	Ensamble	
Enero	2014	1	12	2015	13	44	2016	25	32	
Febrero		2			14			26	6	
Marzo		3			15			27		
Abril		4			16			28	8	
Mayo		5			17			29		
Junio		6			18			30		
Julio		7			19			31		
Agosto		8			20			32	6	
Septiembre		9			21			33	8	
Octubre		10			22			34	48	
Noviembre		11			23			35	40	24
Diciembre		12			24			36	4	12

Paso 2: Con los datos de la **Tabla 3.2** se calcula el intervalo de ocurrencia entre dos demandas (Q_i); esto se realiza con la diferencia entre los períodos en que ocurren dos demandas.

Los 36 meses de los años 2014 a 2016 equivalen cada uno a un período. Por ejemplo, para el cálculo de Q_1 , en la **Tabla 3.2**, se observa que la primera demanda ocurre en el período 3 y antes de ello no hay ninguna otra, por lo que Q_1 es la diferencia del período 3 menos el período 0. Para calcular Q_2 , en la **Tabla 3.2** se observa que la siguiente demanda después del período 3, es la del período 10, por lo que Q_2 se obtiene con la diferencia del período 10 y el período 3, y así se calcula sucesivamente para las siguientes Q .

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= 3 - 0 = 3 \\
 Q_2 &= 10 - 3 = 7 \\
 Q_3 &= 11 - 10 = 1 \\
 Q_4 &= 12 - 11 = 1 \\
 Q_5 &= 16 - 12 = 4 \\
 Q_6 &= 20 - 16 = 4 \\
 Q_7 &= 21 - 20 = 1 \\
 Q_8 &= 25 - 21 = 4 \\
 Q_9 &= 26 - 25 = 1 \\
 Q_{10} &= 28 - 26 = 2 \\
 Q_{11} &= 35 - 28 = 7 \\
 Q_{12} &= 36 - 35 = 1
 \end{aligned} \tag{19}$$

A continuación, se suman todos los intervalos de ocurrencia entre dos demandas ($\sum Q_i$).

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 3 + 7 + 1 + 1 + 4 + 4 + 1 + 4 + 1 + 2 + 7 + 1 = 36 \tag{20}$$

Paso 3: Se cuenta el número de períodos donde la demanda no es cero (N).

$$N = 12 \tag{21}$$

Paso 4: Se calcula el intervalo promedio entre demandas (ADI), esto se realiza dividiendo $\sum Q_i$ entre N .

$$ADI = \frac{\sum Q_i}{N} = \frac{36}{12} = 3 \tag{22}$$

Paso 5: finalmente se calcula la categorización de la demanda intermitente según la clasificación SBC.

$$CV^2 = 0.66 \quad (23)$$

$$ADI = 3 \quad (24)$$

Como $CV^2 > 0.49$ y $ADI > 2.92 \rightarrow$ La demanda del artículo “*Ensamble*”, es grumosa.

3.3 GESTIÓN DEL INVENTARIO

Para la gestión del inventario, se seleccionó el mejor método de pronóstico para cada artículo y una vez calculados los pronósticos se construyeron las políticas de inventario pertinentes.

3.3.1 CÁLCULO DE PRONÓSTICOS

Después de la caracterización y categorización de la demanda, se analizan distintos métodos de pronóstico que sirvan para el tipo de demanda que presentan los artículos seleccionados.

A pesar de que la demanda es intermitente, se utilizará un método para tiempos regulares no estocásticos como el Holt Winter, para corroborar porque los métodos para demanda continua no funcionan con demanda intermitente.

El código en R para pronosticar con este método es el siguiente:

```
#Holt Winter
hw1 <- HoltWinters(Serie1)
forecast <- predict(hw, n.ahead = 12, prediction.interval = T,
level = 0.95)
```

El método Holt Winter utiliza las siguientes fórmulas:

$$\text{Estimación del nivel} \rightarrow S_t = \alpha(d_t) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + B_{t-1}) \quad (25)$$

$$\text{Estimación de la tendencia} \rightarrow B_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)B_{t-1} \quad (26)$$

$$\text{Estimación de la estacionalidad} \rightarrow C_t = \gamma\left(\frac{d_t}{S_t}\right) + (1 - \gamma)(C_{t-1}) \quad (27)$$

Donde:

d_t = Demanda real en el período t

S_t, S_{t-1} = Estimación de la constante en el período t, t-1

B_t, B_{t-1} = Estimación de la tendencia en el período t, t-1

C_t, C_{t-1} = Estimación de la estacionalidad en el período t, t-1

α = Ponderación para el proceso constante

β = Ponderación para el proceso tendencial

γ = Ponderación para el proceso estacional

Una vez corroborado que los métodos de pronóstico tradicionales para demanda continua no funcionan con demanda intermitente, mediante el paquete *tsintermittent* (Kourentzes y Petropoulos, 2016) contenido en R, el cual contiene la función *idclass* (Kourentzes, 2014), se seleccionan los métodos de pronóstico apropiados para demanda intermitente:

```
#Clasificación SBC  
Idclass(DEMANDA_ENSAMBLE$Demanda, type = "SBC")
```

La instrucción anterior ayuda a seleccionar el mejor método de pronóstico basado en la clasificación SBC, considerando los dos métodos más utilizados para demanda intermitente:

- Método de Croston
- Método SBA

El resultado obtenido en R es la base para la selección de los métodos de pronósticos a utilizar. También se utiliza el método TSB, ya que en la modificación a la selección del mejor método de pronóstico en la clasificación SBC (Teunter et al., 2011), este método se considera el mejor para la demanda grumosa.

El código (Kourentzes y Petropoulos, 2016) realizado para los tres pronósticos elegidos, se muestra a continuación.

```
# 1. Conversión de datos a serie de tiempo
Serie1<-ts(DEMANDA_ENSAMBLE$Demanda, frequency=12,start=c(2014,1))
# 2. Croston's method
Croston1<-crost(Serie1, h = 12, outplot = 1)
# 3. Syntetos and Boylan approximation
Sba1<-crost(Serie1, h = 12, type = "sba", outplot = 1)
# 4. Teunter-Syntetos-Babai method
Tsb1<-tsb(Serie1,h = 12, outplot = 1)
```

Las líneas del código se describen a continuación:

1. Conversión de datos a serie de tiempo (RPubs, 2017).
2. Cálculo del pronóstico para los siguientes 12 períodos con el método Croston (Hyndman y Athanasopoulos, 2018).
3. Cálculo del pronóstico para los siguientes 12 períodos con el método SBA .
4. Cálculo del pronóstico para los siguientes 12 períodos con el método TSB.

Estás líneas de código se replicaron para cada uno de los siete artículos.

3.3.2 EVALUACIÓN DE PRONÓSTICOS

Para la selección del método de pronóstico adecuado para los datos históricos de cada artículo, se realizaron tablas en Excel con los siguientes indicadores.

1. Indicadores de pronóstico DAM y ECM.
2. Señal de rastreo para medir la desviación del pronóstico respecto a variaciones en la demanda. Los límites de control (superior e inferior) utilizados para evaluar la señal de rastreo tienen un nivel de confianza del 99.86%, que garantiza que la dispersión del pronóstico de la demanda se encuentra dentro de ± 4 DMA, conforme a lo que se establece en la **Tabla 2.2**.

3.3.3 POLÍTICAS DE INVENTARIO

Para la creación de las políticas de inventario, se elaboraron dos plantillas sencillas en Excel, para el cálculo de Q (cantidad de pedido), T (tiempo de reabastecimiento), N (número de pedidos realizados al año), b (máximo nivel de faltantes) y K (costo total anual promedio), donde los datos a ingresar son: D (demanda anual), c (costo unitario), i (costo total anual de mantener el inventario), A (costo por ordenar), C_f (costo por faltante) y $h = c \cdot i$ (Izar et al., 2016). La plantilla de Excel se muestra en la **Figura 3.11**.

EOQ con faltantes				EOQ sin faltantes				
Ingresar datos		Resultados		Ingresar datos		Resultados		
D		Q		D		Q		
i		b		T		i		T
c		T		c		N		
h		N		h		K		
A		K		A				
Cf								

Figura 3.11 Plantilla para cálculo de EOQ con y sin faltantes

Las ecuaciones (11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17) utilizadas para los cálculos realizados en esta plantilla son las mencionadas en el subtema 2.4 *Modelos de inventario determinísticos*.

CAPITULO 4 RESULTADOS

Como consecuencia de lo explicado en los capítulos anteriores, en el **Capítulo 4** se presentan los resultados de la implementación y ejecución del marco teórico y la metodología, al caso objeto de estudio del presente proyecto.

4.1 PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE INVENTARIO

En la **Figura 4.1**, se observa el diagrama de flujo del procedimiento especificado por la empresa para el control del inventario, tomando en cuenta las actividades que cada área realiza.

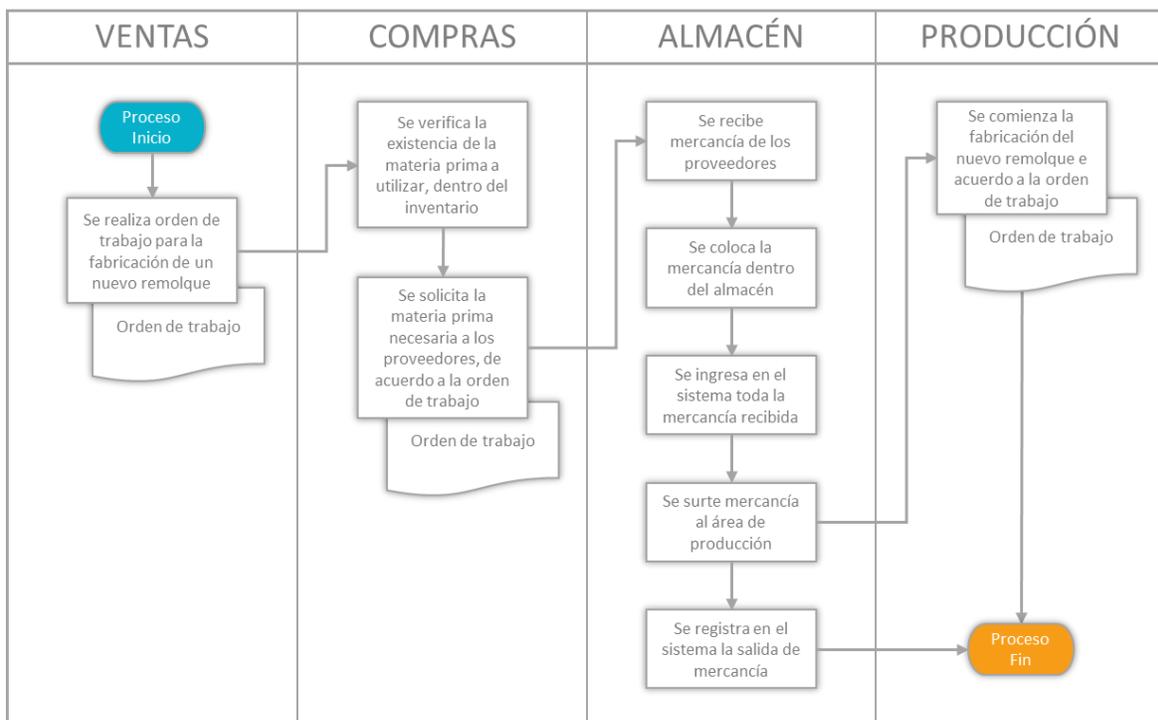


Figura 4.1 Diagrama SIPOC del proceso de control de inventario

Comparando las actividades que el personal lleva a cabo en la práctica, observadas a través de una visita de campo, con el diagrama existente, se observó que éstas no corresponden con las descritas en el diagrama de flujo. Por ejemplo, se advirtió un control inadecuado de los registros de entrada y salida, debido a que el encargado del almacén no sólo se dedica al control del mismo, sino que tiene diversas tareas dentro de la empresa. Esto tiene como consecuencia que, cuando el departamento de producción necesita material y el encargado del inventario no

se encuentra, el departamento de producción tiene libre acceso al almacén y se puede tomar cualquier tipo de artículo, que no queda registrado como una salida dentro del sistema. También ocurre que si llega materia prima nueva y el encargado de almacén no se encuentra, el departamento de producción lo toma para comenzar con la fabricación de unidades, sin que se registre su entrada dentro del sistema. Por lo anterior, las bases de datos de la empresa cuentan con muchos errores por omisión.

Asimismo, gracias a la vista de campo, las entrevistas y el diagrama de flujo, se concluyó que la empresa no cuenta con ningún tipo de modelo, sistema o técnica para la gestión o planeación de su inventario. Más bien, su manejo de inventario es a través de la experiencia del personal. Como la producción es bajo pedido, únicamente se solicita materia prima cuando llega una orden de trabajo nueva, sin pensar en los costos que se generan al realizar cada orden de compra o en los costos que se podrían ahorrar al tener una planeación al respecto.

4.2 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

Se realizó el diagrama de Ishikawa, mostrado en la **Figura 4.2**, para identificar las principales causas por las que no hay un manejo adecuado del inventario dentro de la empresa.

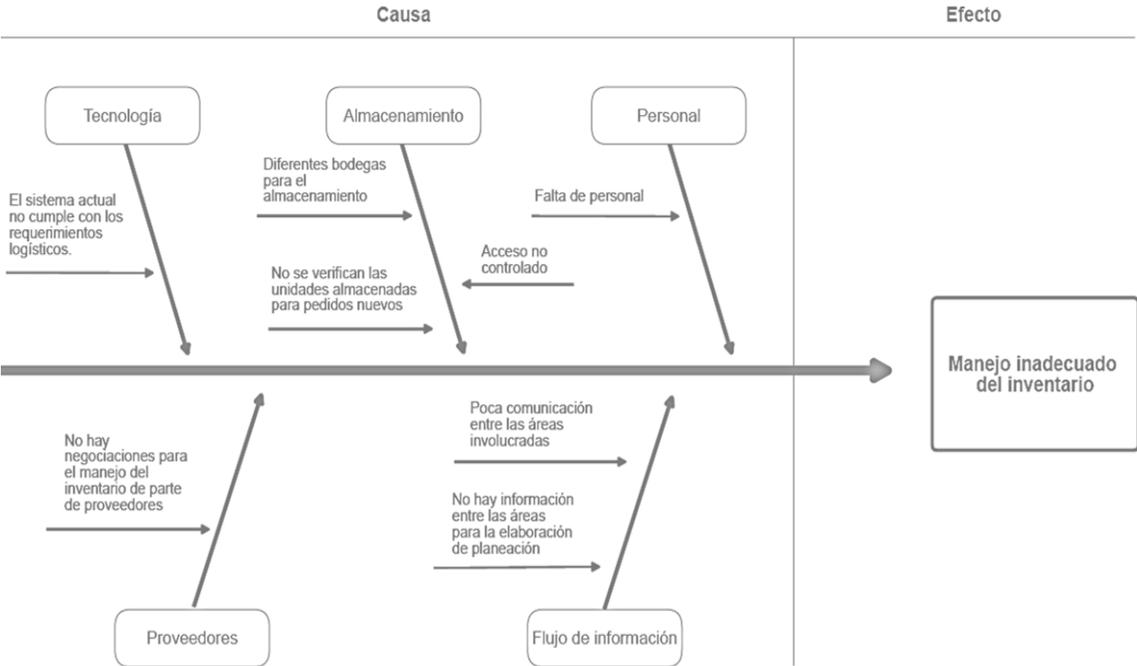


Figura 4.2 Diagrama de Ishikawa

Una de las causas principales del manejo inadecuado del inventario es la falta de personal dedicado exclusivamente al control del mismo, lo que causa que las bases de datos de la empresa no sean confiables para poder tomar decisiones a partir de ellas. Además, no hay personal especializado para la gestión del mismo, lo que conlleva a la falta de planeación del inventario.

Con base en lo observado en la visita de campo, se asumieron algunos hechos para la realización de este trabajo, debido a que, por el problema descrito anteriormente, las bases de datos no reflejan el 100% de la realidad de lo que representa el inventario de la empresa.

Estos hechos y supuestos se resumen en:

- La empresa realiza una planeación de inventarios.
- Se identificó que la empresa sólo cuenta con un inventario de materia prima, ya que como se trabaja por proyecto, los productos terminados se entregan inmediatamente y no existen productos en proceso, se fabrican de forma continua hasta terminar los productos de cada pedido.
- No se utilizan pronósticos para evaluar la demanda futura.
- No se maneja ningún modelo de inventario.
- No se cuenta con inventario de seguridad de casi ningún producto; conforme se genera la orden de producción de un proyecto, se coloca la orden de compra de materia prima.
- Los proveedores tardan en promedio una semana en surtir las órdenes de compra hechas por la empresa.
- No se lleva un control adecuado de la información del inventario; es decir, no se registran correctamente las entradas y las salidas.
- Las bases de datos necesitan unificarse en cuanto al nombre de los artículos, de las unidades, de los precios, del nombre de los proveedores y de los conceptos.
- Hay productos que se ordenan a los proveedores con mucha frecuencia.

4.3 ETAPA 1 - ANÁLISIS MULTICRITERIO

4.3.1 ANÁLISIS ABC

Como ya se ha mencionado, los datos recabados corresponden a los años 2014, 2015 y 2016; en primera instancia se realizó un análisis ABC para cada uno de ellos, basado en el criterio de clasificación de costo unitario. Se determinaron los artículos que dan mayor valor al inventario en cada año. La **Figura 4.3**, **Figura 4.4** y **Figura**

4.5, así como, la **Tabla 4.1**, **Tabla 4.2** y **Tabla 4.3** presentadas a continuación resumen el análisis ABC de cada año.

A partir de los resultados obtenidos con lo explicado en el apartado 2.2.3 *Matriz multicriterio ABC XYZ*, se obtuvieron las gráficas y tablas resumen anteriores. Para este análisis se consideró que el porcentaje a cumplir para pertenecer al grupo A es del 70%, el 25% para el grupo B y el 5% restante al C.

En el año 2014 se utilizaron 285 artículos en la producción de la empresa. Como es difícil visualizar una gráfica con 285 artículos, se relacionó la clasificación ABC con los parámetros de consumo anual y frecuencia acumulada, con el objetivo de revisar el porcentaje de participación de los 285 productos en cada tipo de clase (A, B, o C).

Con la información recabada en el análisis ABC del 2014, su gráfica (**Figura 4.3**) y tabla resumen (**Tabla 4.1**), se observa que el 8% de los productos del inventario de la empresa concentraron la mayor parte del capital invertido en este, los cuales equivalen a 22 artículos y representan el 70% del costo total del inventario con un monto de \$10,038,535.10 pesos. Segundo, también se puede aseverar que el 29% de dichos artículos que suponen 82 tipos de productos generan tan solo el 25% del costo del inventario con un monto de \$3,592,810.83 pesos. Y tercero y último, que tan sólo el 5% del costo total del inventario equivalente a \$703,118.22 son producidos por el 64% de los diferentes artículos restantes que adquiere la compañía, que en este caso equivalen a 181 artículos. Por lo tanto, para este trabajo, los artículos de la categoría A, son más relevantes que la categoría B y C. Y de esta forma se pudo priorizar sobre que artículos era necesario comenzar a trabajar, que son los de la clasificación A.

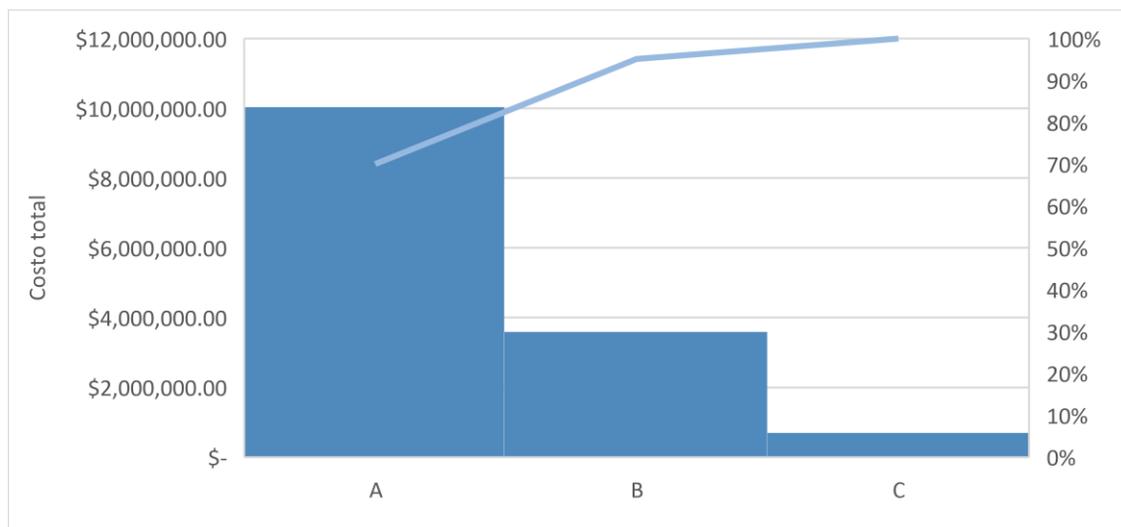


Figura 4.3 ABC para costos unitarios, 2014

Tabla 4.1 Análisis ABC 2014

% DEL CONSUMO	CLASIFICACION	CANTIDAD ARTÍCULOS	PARTICIPACIÓN	VALORIZACIÓN	PARTICIPACIÓN COSTO
0 % - 70 %	A	22	8%	\$10,038,535.10	70%
71 % - 95 %	B	82	29%	\$ 3,592,810.83	25%
95 % - 100 %	C	181	64%	\$ 703,118.22	5%

En el año 2015, se utilizaron 238 artículos distintos en la producción de los diferentes remolques.

Para el caso del ABC del año 2015, se observa en la **Figura 4.4** y **Tabla 4.2**, que la clasificación A representa 15% de los productos del inventario, equivalente a 33 productos y que a su vez es el 70% del costo total del inventario con un monto de 3,822,582.18 pesos. Los artículos de la clasificación B concentran medianamente parte del capital invertido en el inventario (en teoría, está compuesto por el 37% del inventario y concentra el 25% del costo total del mismo). Y finalmente los artículos de la clasificación C concentran un mínimo del capital invertido en el inventario (en teoría, está compuesto por el 49% del inventario y concentra el 5% del costo total del mismo).

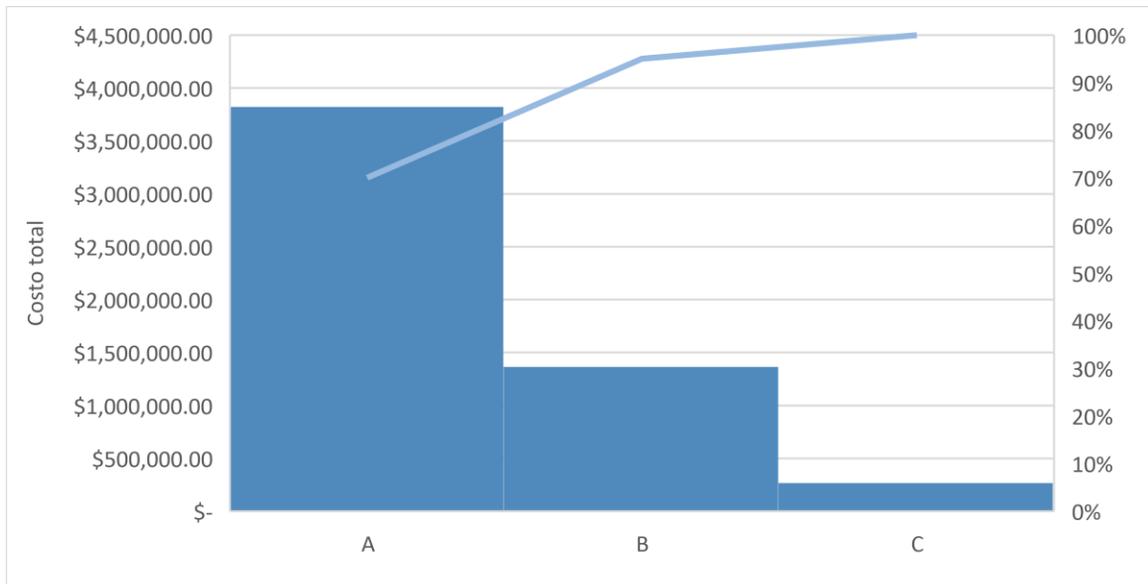


Figura 4.4 ABC para costos unitarios, 2015

Tabla 4.2 Análisis ABC 2015

% DEL CONSUMO	CLASIFICACION	CANTIDAD ARTÍCULOS	PARTICIPACIÓN	VALORIZACIÓN	PARTICIPACIÓN COSTO
0 % - 70 %	A	33	14%	\$ 3,822,582.18	70%
71 % - 95 %	B	86	37%	\$ 1,365,677.22	25%
95 % - 100 %	C	116	49%	\$ 269,719.13	5%

En el caso del año 2016, el recuento de los artículos utilizados para su producción fue de 235. En el ABC del 2016 (**Figura 4.5** y **Tabla 4.3**) ocurre lo mismo que en los años anteriores, la clasificación A es la que representa el 70% del costo total del inventario, sólo que con un monto de \$9,208,798.59.

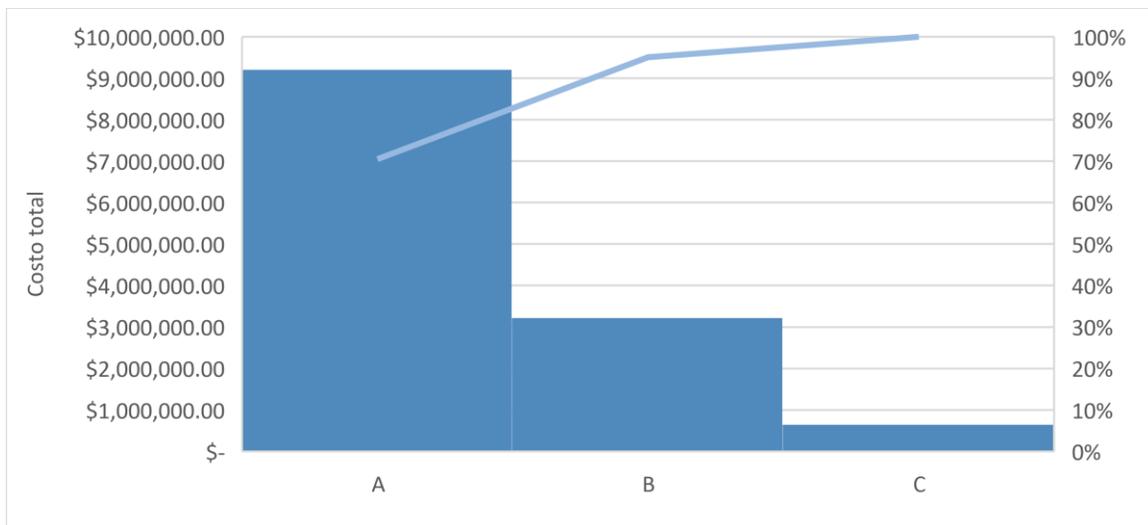


Figura 4.5 ABC para costos unitarios, 2016

Tabla 4.3 Análisis ABC 2016

% DEL CONSUMO	CLASIFICACION	CANTIDAD ARTÍCULOS	PARTICIPACIÓN	VALORIZACIÓN	PARTICIPACIÓN COSTO
0 % - 70 %	A	19	8%	\$ 9,208,798.59	70%
71 % - 95 %	B	73	29%	\$ 3,219,244.89	25%
95 % - 100 %	C	157	63%	\$ 645,143.16	5%

La **Tabla 4.4** es un resumen de los artículos que se encuentran dentro de la categoría A, y los artículos sombreados en color gris son aquellos que permanecen dentro de esta categoría de forma constante cada año. Se observa en la **Tabla 4.4** que los artículos que se encuentran dentro de la clasificación A varían cada año; sólo 11 o menos artículos son los que cada año permanecen constantes dentro de esta clasificación.

Tabla 4.4 Artículos de la categoría A, 2014-2016

Clasificación A		
2014	2015	2016
ABRAZADERAS Y ASIENTOS	BALERO HDHM518445	ACEITE HIDRAULICO
BUJES DE BRONCE	BOLSAS DE AIRE	ACEROS COLD ROLLED VARIOS
BUJES TRIFUNCIONALES	BUJES TRIFUNCIONALES	BUJES DE BRONCE
ENSAMBLES UNIMONT CON ABS	CAMARAS DOBLES 30-30	CILINDROS DOBLE ACCION
ENSAMBLES UNIMONT SIN ABS	CUENTA LITROS M7GX1	ENSAMBLES UNIMONT CON ABS
LAMINA CAL. 10	ENSAMBLES UNIMONT CON ABS	ENSAMBLES UNIMONT SIN ABS
LLANTAS 11R24.5	ENSAMBLES UNIMONT SIN ABS	LLANTAS 11R24.5
LLANTAS 11R24.5 XZE2 MICHELIN	ESCOTILLA CIEGA Y OTROS	LLANTAS 255/70/22.5
LLANTAS 255/70/22.5	LAMINA CAL. 10 A.INOX 316 L	MANGUERAS FRENOS
LLANTAS TRIANGLE 11R24.5	LAMINA CAL. 12	MUÑÓN
MUÑÓN	LAMINA CAL. 8	OXIGENO Y GAS
PISO MADERA 1-1/2"	LLANTAS 11R22.5 RADIAL	PLACA 1"
PLACA 1"	LLANTAS 11R24.5	PLACA 1/2"
PLACA 1/4"	LLANTAS 11R24.5 XZE2 MICHELIN	PLACA 1/4"
PLACA 3/16"	LLANTAS 255/70/22.5	PLACA 3/4"
PLACA 3/4"	LLANTAS TRIANGLE 11R24.5	PLACA 3/8"
PLACA 3/8"	MANGUERAS FRENOS	PLACA DE 1-1/4"
RINES UNIMONT 825 X 22.5	MUÑÓN	RINES UNIMONT 825 X 22.5
SOLDADURA	OXIGENO Y GAS	SOLDADURA
SOLERAS DE 5/8"X6"	PATINES	
SOLVENTES	PLACA 1"	
TUBO 5" X 1580 MM	PLACA 1/4"	
	PLACA 3/16"	
	PLACA 3/4"	
	PLACA 3/8"	
	PLACA DE 1-1/4"	
	RINES UNIMONT 825 X 22.5	
	RINES UNIMONT 825 X 24.5	
	SALPÍCADERAS ALUMINIO	
	SISTEMA ABS.	
	SOLDADURA	
	SOLERAS DE 5/8"X6"	
	SOLVENTES	

4.3.2 ANÁLISIS XYZ

También se hizo un análisis XYZ, para determinar los artículos que se solicitan con mayor frecuencia a proveedores, es decir, que se utilizan con mayor frecuencia dentro de la producción de remolques. Las siguientes gráficas muestran el comportamiento de la clasificación para cada año.

Del análisis XYZ del año 2014 (**Figura 4.6** y **Tabla 4.5**), se desprende que el 20% de los artículos del inventario equivalente a 58, representan el 70% de la frecuencia con la que se realiza los pedidos de los mismos, y se encuentran dentro de la clasificación X, en la que se centró este trabajo.

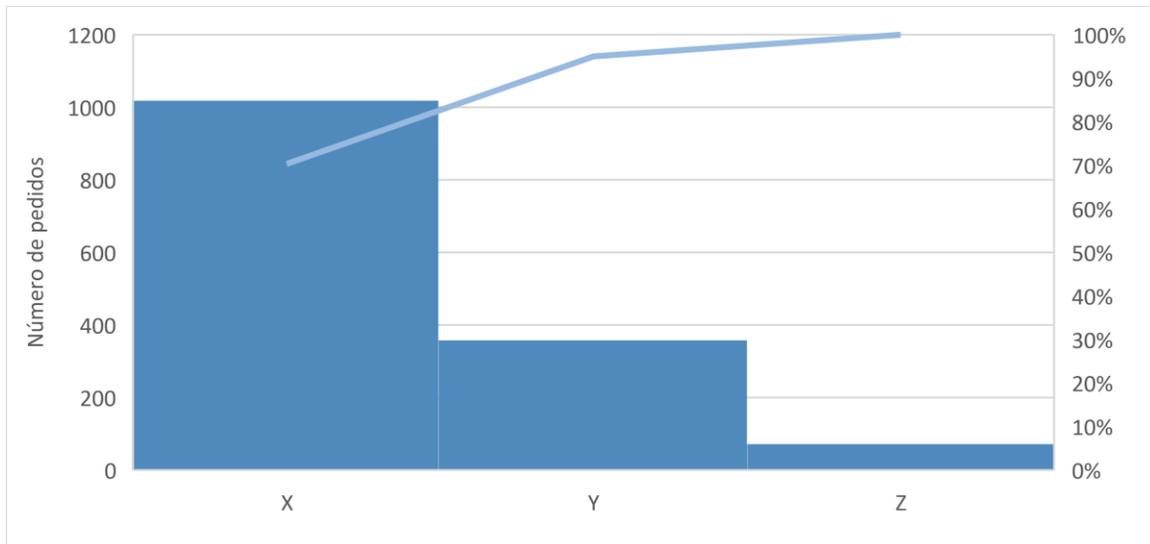


Figura 4.6 Análisis XYZ para la frecuencia de pedidos, 2014

Tabla 4.5 Análisis XYZ 2014

% DEL PEDIDOS	CLASIFICACION	CANTIDAD ARTÍCULOS	PARTICIPACIÓN	# PEDIDOS	PARTICIPACIÓN PEDIDOS
0 % - 70 %	X	58	20%	1018	70%
71 % - 95 %	Y	155	54%	358	25%
95 % - 100 %	Z	72	25%	72	5%

De la clasificación XYZ del año 2015 (**Figura 4.7** y **Tabla 4.6**), la clasificación X concentra el 31% de artículos, igual a 73, lo que quiere decir que el 74% representa la frecuencia con la que se realiza los pedidos de los mismos, igual a 655 pedidos.

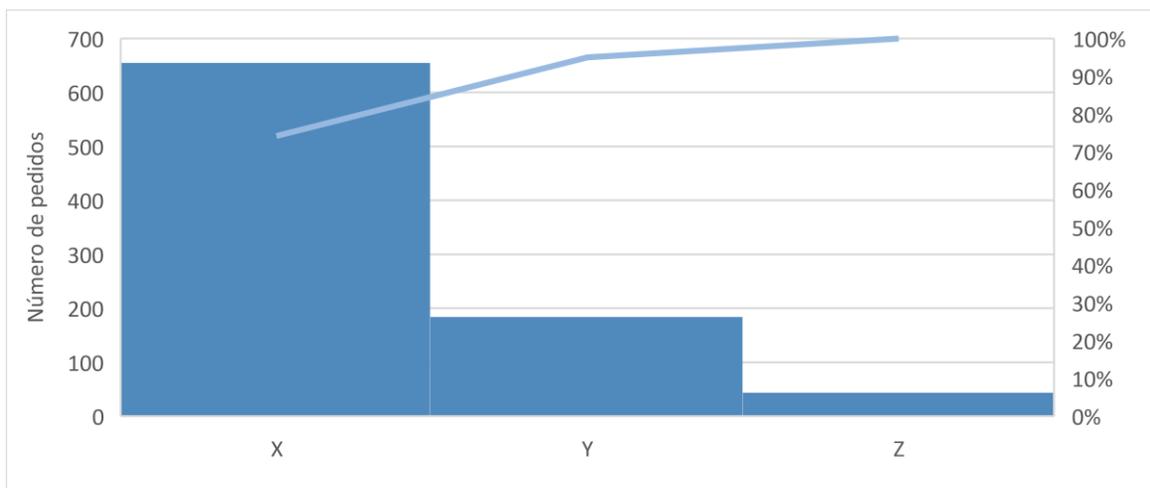


Figura 4.7 Análisis XYZ para la frecuencia de pedidos, 2015

Tabla 4.6 Análisis XYZ 2015

% DEL PEDIDOS	CLASIFICACION	CANTIDAD ARTÍCULOS	PARTICIPACIÓN	# PEDIDOS	PARTICIPACIÓN PEDIDOS
0 % - 70 %	X	73	31%	655	74%
71 % - 95 %	Y	118	50%	184	21%
95 % - 100 %	Z	44	19%	44	5%

Para el caso del año 2016 (**Figura 4.8** y **Tabla 4.7**), dentro de la clasificación X se encuentran 66 artículos equivalente al 27% del total de ellos, y la frecuencia con la que se realizan los pedidos de estos artículos representa el 70%, igual a 857 pedidos al año.

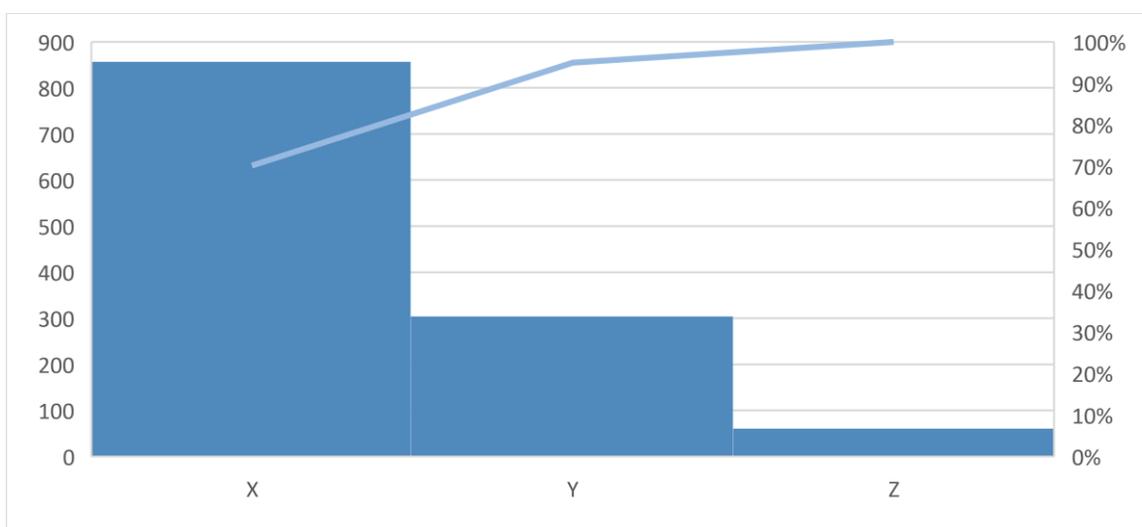


Figura 4.8 Análisis XYZ para la frecuencia de pedidos, 2016

Tabla 4.7 Análisis XYZ 2016

% DEL PEDIDOS	CLASIFICACION	CANTIDAD ARTÍCULOS	PARTICIPACIÓN	# PEDIDOS	PARTICIPACIÓN PEDIDOS
0 % - 70 %	X	66	27%	857	70%
71 % - 95 %	Y	122	49%	304	25%
95 % - 100 %	Z	61	24%	61	5%

La **Tabla 4.8** resume los artículos encontrados para la categoría X, y los artículos sombreados en color gris, permanecen dentro de esta categoría cada año. La categoría X corresponde a los artículos más solicitados a proveedores, la variación para cada año no es tan notoria, eso significa que cada año, los artículos más utilizados para la fabricación de unidades, casi siempre es igual. Sin embargo, se observa que cada año la frecuencia de pedidos disminuye, posiblemente por la falta de apoyo a la industria en la que este tipo de remolques son utilizados.

Tabla 4.8 Artículos de la categoría X, 2014-2016

Clasificación X		
2014	2015	2016
ABRAZADERAS Y ASIENTOS	ABRAZADERAS SUSP.NEUM.	ABRAZADERAS SUSP.NEUM.
AMORTIGUADORES	ABRAZADERAS Y ASIENTOS	ABRAZADERAS Y ASIENTOS
ARAÑA	AMORTIGUADORES	ARAÑA
BALERO HDHM518445	ARANDELA CENTRICA	BALERO HDHM518445
BOLSAS DE AIRE	ARANDELA EXCENTRICA	BARRA ACERO 4-1/4" SUSPENSION
BUJES DE BRONCE	ARAÑA	BARRA ACERO 5" MUÑON"
BUJES TRIFUNCIONALES	BALERO HDHM518445	BATERIA Y CABLES
CAMARAS DOBLES 30-30	BOLSAS DE AIRE	BUJES DE BRONCE
COPAS CODESI	BUJES TRIFUNCIONALES	BUJES NEOPRENO Y TACONES
EMBLEMAS CODESI	CABLE 7 POLOS ARNES	BUJES TRIFUNCIONALES
ENSAMBLES UNIMONT CON ABS	CAMARAS DOBLES 30-30	CAMARAS DOBLES 30-30
ENSAMBLES UNIMONT SIN ABS	CAMARAS DOBLES 30-30	CONEXIONES
GANCHO DE JALON	CANDADOS TWIST LOCKS	COPAS CODESI
GAVILANES	CONEXIONES	DISCOS Y CINTAS
INSERTOS	COPAS CODESI	EMBLEMAS CODESI
KIT DE FRENOS 2 EJES	COPLES	EMPAQUE DE COPA
KIT DE FRENOS 2 EJES PARA DOLLY	EMBLEMAS CODESI	ENCHUFES HEMBRA
KIT ELECTRICO	ENCHUFES HEMBRA	ENSAMBLES UNIMONT CON ABS
KIT TORNILLERIA	ENSAMBLES UNIMONT CON ABS	ENSAMBLES UNIMONT SIN ABS
LAMINA CAL. 10	ENSAMBLES UNIMONT SIN ABS	GANCHO DE JALON
LLANTAS 11R24.5	ESCOTILLA CIEGA Y OTROS	GAS
LLANTAS 255/70/22.5	GANCHO DE JALON	GAVILANES
LODERAS CODESI	GAS	INSERTOS
MANGUERAS FRENOS	GAVILANES	KIT DE FRENOS 2 EJES
MATERIAL ELECTRICO	GAVILANES Y ARAÑA	KIT DE FRENOS 2 EJES PARA DOLLY
MATRACAS AUTOAJUSTABLES	GAVILANES, TCAS, VARIOS ETC.	KIT ELECTRICO
MUÑON	IPR 10"	KIT TORNILLERIA
OXIGENO Y GAS	KIT DE FRENOS 2 EJES	LLANTAS 11R24.5
PALETA HOLLAND REFORZADA	KIT DE FRENOS 2 EJES PARA DOLLY	LLANTAS 255/70/22.5
PATINES	KIT ELECTRICO	MAMELONES PLATAFORMA
PERNO REY	KIT TORNILLERIA	MANGUERAS FRENOS
PINTURA ESMALTE AMARILLO	LAMINA CAL. 12	MANITAS DE ACOPLA
PINTURA ESMALTE BLANCO	LAMINA CAL. 8	MATERIAL ELECTRICO
PINTURA ESMALTE NEGRO	LLANTAS 11R24.5	MATRACAS AUTOAJUSTABLES
PINTURA PRIMER GRIS	LLANTAS 11R24.5 XZE2 MICHELIN	MUELLES MUCST-005
PISO MADERA 1-1/2"	LLANTAS 255/70/22.5	MUÑON
PISO MADERA DE PINO 3"	MATERIAL ELECTRICO	NIPLE BASTIDOR
PLACA 1"	MATRACAS AUTOAJUSTABLES	OXIGENO Y GAS
PLACA 1/2"	MUÑON	PATINES
PLACA 1/4"	NIPLES DE 3"	PERNO REY
PLACA 3/16"	OXIGENO Y GAS	PINTURA ESMALTE AMARILLO
PLACA 3/4"	PALETA HOLLAND REFORZADA	PINTURA ESMALTE NEGRO
PLACA 3/8"	PASTA ULTRAESTAÑO	PINTURA POLIURETANO
PLACA 5/16	PATINES	PINTURA PRIMER GRIS
RETENES	PERNO REY	PISO MADERA DE PINO 3"
RINES UNIMONT 825 X 22.5	PINTURA BLANCO	PLACA 1/2"
RINES UNIMONT 825 X 24.5	PINTURA ESMALTE AMARILLO	PLACA 1/4"
SISTEMA ABS.	PINTURA ESMALTE VERDE	PLACA 3/4"
SOLDADURA	PINTURA PRIMER GRIS	PLACA 3/8"
SOLERAS DE 5/8"X6"	PLACA 1"	PLACA 5/8"
SOLVENTES	PLACA 1/4"	RESORTES PERNOS BUJES ETC
TORNILLERIA	PLACA 3/16"	RETENES
TORNILLERIA KIT	PLACA 3/8"	RINES UNIMONT 825 X 22.5
TUBO 5" X 1580 MM	PLACA 5/16"	RINES UNIMONT 825 X 24.5
TUBO 5" X 1680 MM	PLACA DE 1-1/4"	SOLDADURA
TUBO C-120 6"	RETENES	SOLERAS DE 3/4"X6"
VALVULA NIVELADORA	RINES UNIMONT 825 X 22.5	TACONES CUELLO
ZAPATAS	RINES UNIMONT 825 X 24.5	TUBO 5" X 1580 MM
	SALPICADERAS ALUMINIO	TUBO 6" X 5" X 130 MM CHUM.CH800
	SISTEMA ABS.	TUBO 6" X 5" X 210 MM CHUM.CH800
	SOLDADURA	TUERCAS CASTILLO PUNTA EJE
	SOLERAS DE 5/8"X6"	TUERCAS UNIMONT
	SOLVENTES	VALVULA 110415
	SENSOR Y TAPONES	VALVULA 110700
	TORNILLERIA KIT	VALVULA, BOMBA. MANOMETRO
	TRAPO PARA LIMPIEZA	ZAPATAS
	TUBO 5" X 1580 MM	
	TUBO C-120 6"	
	VALVULA DE EMERGENCIA Y PAL	
	VALVULA MARIPOSA 4"	
	VALVULA NIVELADORA	
	ZAPATAS	

4.3.3 MATRIZ MULTICRITERIO

Con la clasificación ABC y XYZ se realizó una matriz multicriterio por año, para determinar los artículos que dan mayor valor al inventario y que al mismo tiempo son los que se usan con una frecuencia alta dentro de la producción, los cuales corresponden al área AX. Las intersecciones AX de cada año se exponen a continuación, puesto que estas son del interés de este proyecto. La **Figura 4.9** representa la intersección AX del 2014, la **Figura 4.10** representa la zona AX del año 2015 y la **Figura 4.11** representa la zona AX del año 2016.

DENOMINACION	# ARTÍCULO	X																				
		77	9	1	52	59	37	2	4	44	5	43	21	29	7	28	61	3	6	63	73	
PISO MADERA 1-1/2"	29												x									
TUBO 5" X 1580 MM	21												x									
SOLVENTES	28																					
LLANTAS 255/70/22.5	43												x									
SOLDADURA	77	x																				
PLACA 3/8"	1			x																		
ENSAMBLES UNIMONT SIN	61																					
BUJES DE BRONCE	73																					x
PLACA 1/4"	2																					
PLACA 3/4"	3																					
PLACA 1"	6																					
LAMINA CAL. 10	4																					
PLACA 3/16"	5																					
LLANTAS 11R24.5	63																					
RINES UNIMONT 825 X 22.5	37																					
ENSAMBLES UNIMONT CON	52																					
BUJES TRIFUNCIONALES	59																					
ABRAZADERAS Y ASIENTOS	44																					
SOLERAS DE 5/8"X6"	7																					
MUÑON	9																					

Figura 4.9 AX 2014

DENOMINACION	# ARTÍCULO	X																											
		57	83	88	37	43	55	61	90	4	3	63	11	6	54	7	64	1	69	70	5	9	118	120	2	32	75	121	
LLANTAS 11R24.5 XZE2 MICHELIN	64																												
PLACA 1"	1																												
SOLDADURA	83																												
SOLVENTES	32																												
LLANTAS 255/70/22.5	54																												
PLACA DE 1-1/4"	2																												
LLANTAS 11R24.5	69																												
PLACA 1/4"	4																												
PLACA 3/8"	3																												
ENSAMBLES UNIMONT CON ABS	63																												
RINES UNIMONT 825 X 22.5	43																												
LAMINA CAL. 8	5																												
SISTEMA ABS.	88																												
PLACA 3/16"	6																												
SOLERAS DE 5/8"X6"	7																												
BUJES TRIFUNCIONALES	55																												
BOLSAS DE AIRE	61																												
ENSAMBLES UNIMONT SIN ABS	75																												
BALERO HDHM518445	37																												
MUÑON	11																												
ESCOTILLA CIEGA Y OTROS	118																												
OXIGENO Y GAS	57	x																											
PATINES	90																												
RINES UNIMONT 825 X 24.5	70																												
SALPICADERAS ALUMINIO	120																												
LAMINA CAL. 12	9																												
CAMARAS DOBLES 30-30	121																												

Figura 4.10 AX 2015

	DENOMINACION	# ARTÍCULO	X															
			61	27	70	8	48	63	1	3	2	54	6	72	77	38		
A	SOLDADURA	27	x															
	MANGUERAS FRENOS	38															x	
	LLANTAS 255/70/22.5	54										x						
	PLACA 1/4"	2									x							
	PLACA 3/4"	1							x									
	PLACA 3/8"	3								x								
	BUJES DE BRONCE	77															x	
	ENSAMBLES UNIMONT SIN ABS	63							x									
	ENSAMBLES UNIMONT CON ABS	70		x														
	MUÑÓN	8				x												
	RINES UNIMONT 825 X 22.5	48					x											
	LLANTAS 11R24.5	72															x	
	PLACA 1/2"	6											x					
	OXIGENO Y GAS	61	x															

Figura 4.11 AX 2016

En la **Figura 4.9**, **Figura 4.10** y **Figura 4.11** se aprecian los artículos que resultaron de la convergencia de dos criterios distintos de clasificación, ABC y XYZ. Para una comparación detallada se presenta la siguiente tabla resumen (**Tabla 4.9**), en la cual se colocan los artículos que resultaron de la matriz multicriterio de cada año y de la intersección AX, ordenados de manera alfabética.

La **Tabla 4.9** es un resumen de la clasificación AX del análisis multicriterio 2014-2016 y la parte sombreada en gris indica los artículos que son constantes cada año, esto quiere decir que cada año esos artículos agregan el mayor valor al inventario y además son los más solicitados a proveedores. Este proyecto se enfoca en estos siete artículos, para caracterizar su demanda y crear una política de inventario que se ajuste a las necesidades de la empresa, y con ello sentar las bases para que en un futuro se caractericen todos los artículos manejados por la empresa.

Tabla 4.9 AX 2014-2016

INTERSECCIÓN AX		
2014	2015	2016
ABRAZADERAS Y ASIENTOS	BALERO HDHM518445	BUJES DE BRONCE
BUJES DE BRONCE	BOLSAS DE AIRE	ENSAMBLES UNIMONT CON ABS
BUJES TRIFUNCIONALES	BUJES TRIFUNCIONALES	ENSAMBLES UNIMONT SIN ABS
ENSAMBLES UNIMONT CON ABS	CAMARAS DOBLES 30-30	LLANTAS 11R24.5
ENSAMBLES UNIMONT SIN ABS	ENSAMBLES UNIMONT CON ABS	LLANTAS 255/70/22.5
LAMINA CAL. 10	ENSAMBLES UNIMONT SIN ABS	MANGUERAS FRENOS
LLANTAS 11R24.5	ESCOTILLA CIEGA Y OTROS	MUÑON
LLANTAS 255/70/22.5	LAMINA CAL. 12	OXIGENO Y GAS
MUÑON	LAMINA CAL. 8	PLACA 1/2"
PISO MADERA 1-1/2"	LLANTAS 11R24.5	PLACA 1/4"
PLACA 1"	LLANTAS 11R24.5 XZE2 MICHELIN	PLACA 3/4"
PLACA 1/4"	LLANTAS 255/70/22.5	PLACA 3/8"
PLACA 3/16"	MUÑON	RINES UNIMONT 825 X 22.5
PLACA 3/4"	OXIGENO Y GAS	SOLDADURA
PLACA 3/8"	PATINES	
RINES UNIMONT 825 X 22.5	PLACA 1"	
SOLDADURA	PLACA 1/4"	
SOLERAS DE 5/8"X6"	PLACA 3/16"	
SOLVENTES	PLACA 3/8"	
TUBO 5" X 1580 MM	PLACA DE 1-1/4"	
	RINES UNIMONT 825 X 22.5	
	RINES UNIMONT 825 X 24.5	
	SALPÍCADERAS ALUMINIO	
	SISTEMA ABS.	
	SOLDADURA	
	SOLERAS DE 5/8"X6"	
	SOLVENTES	

De aquí en adelante se hará referencia a los artículos seleccionados de la siguiente forma, artículo 1, artículo 2 y así sucesivamente, conforme la **Tabla 4.10**.

Tabla 4.10 Renombramiento de artículos seleccionados

Artículo 1	SOLDADURA
Artículo 2	LLANTAS 255/70/22.5
Artículo 3	PLACA 1/4"
Artículo 4	RINES UNIMONT 825 X 22.5
Artículo 5	ENSAMBLES UNIMONT CON ABS
Artículo 6	MUÑON
Artículo 7	PLACA 3/8"

4.4 ETAPA 2 - CARACTERIZACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LA DEMANDA

Se realizaron gráficos de líneas para representar las series de tiempos y poder observar el comportamiento de la demanda de cada artículo y se calcularon distintas medidas estadísticas para sustentar lo observado en las gráficas y finalmente categorizar cada artículo.

Es importante mencionar, que las series de tiempo tienen dos características principales, cantidad y momento en qué ocurre. Y aquí el principal problema que se observa, es que en las series de tiempo graficadas a continuación, la demanda y los períodos en que ocurre, son estocásticos.

La **Figura 4.12** muestra la gráfica del comportamiento de la demanda del artículo 1. Sólo el 19% de los períodos en estudio presentan una demanda nula, y el 81% de ellos presentan una gran variabilidad en la cantidad demandada. El haber pocos períodos con demanda nula puede deberse a que el artículo 1 es la soldadura que se utiliza en la fabricación (unión de distintas piezas) de todos los remolques sin importar si los diseños son diferentes. Por otro lado, la variabilidad en el tamaño de la demanda se puede explicar porque se encuentra asociada a los proyectos que ingresan a la empresa. Este tipo de demanda es intermitente y errática.

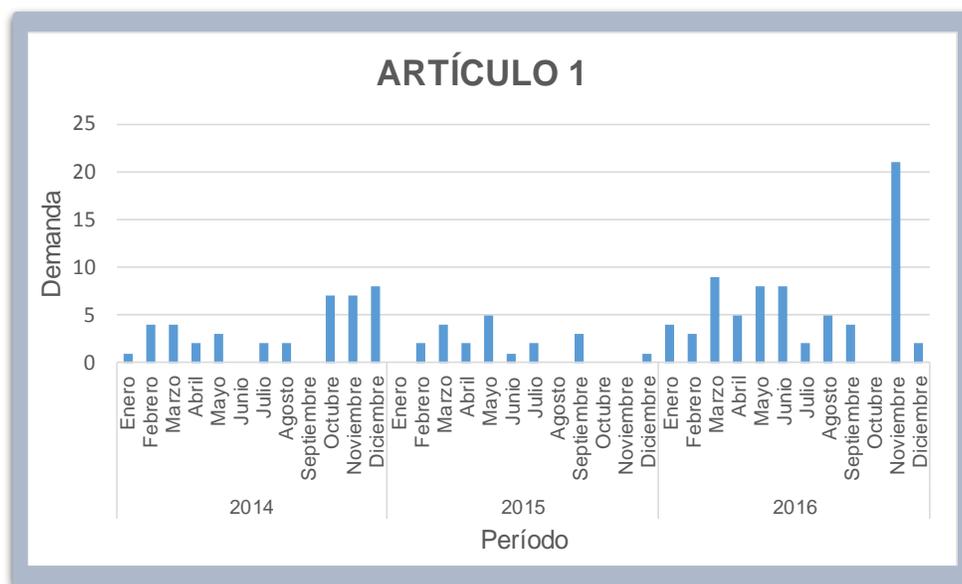


Figura 4.12 Artículo 1 - Demanda intermitente y muy variable

En la **Figura 4.13** se encuentra gráficamente el comportamiento de la demanda de los artículos 2, 3 y 4.

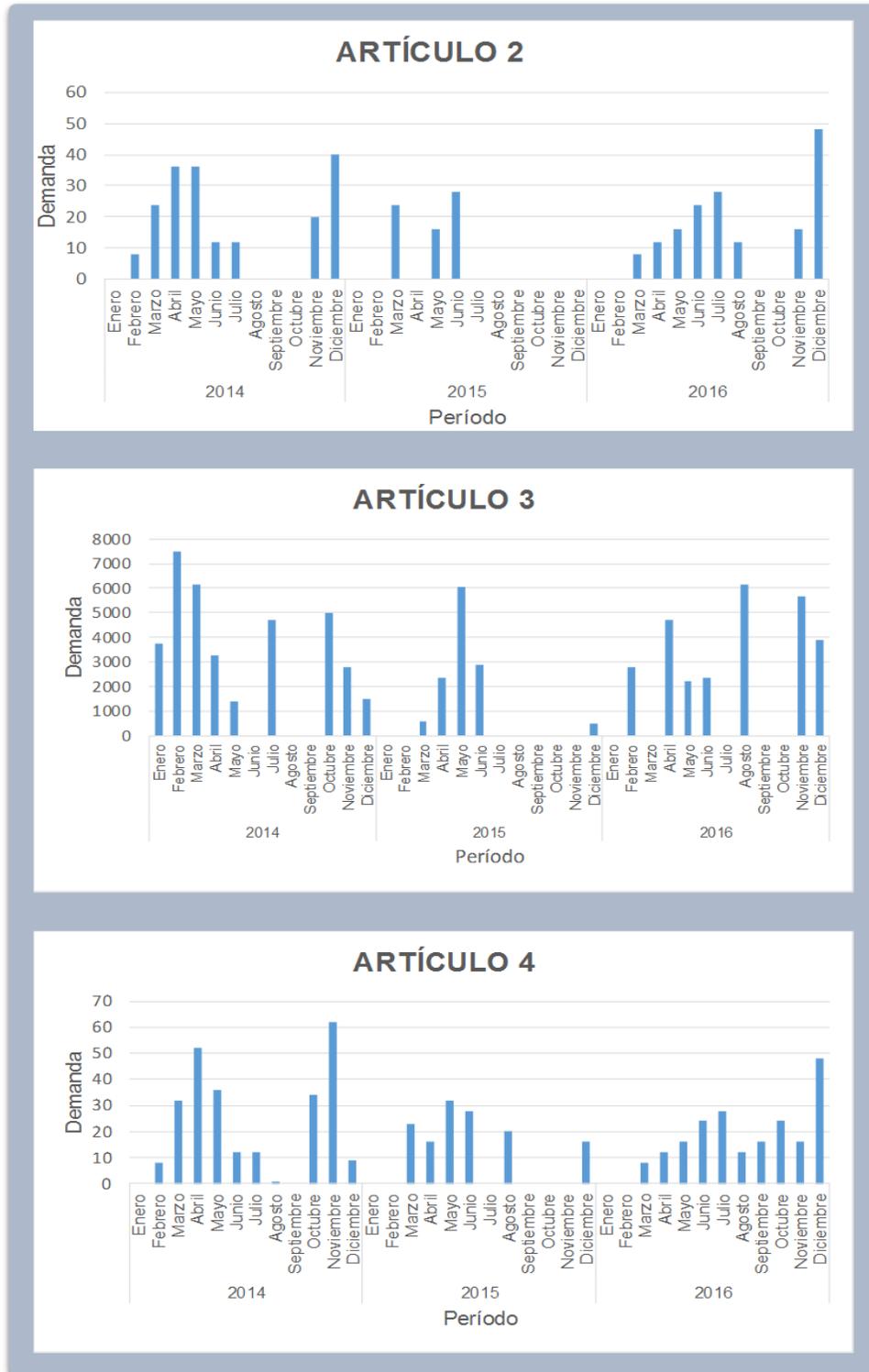


Figura 4.13 Artículos 2, 3, 4 - Demanda intermitente y constante

A diferencia del artículo 1, para el que sólo 7 períodos presentan demanda nula, en el artículo 2 los períodos con demanda cero aumentan, y en este caso ascienden a

17 períodos. Además, cuando la demanda es diferente a cero, no presenta una marcada variabilidad en la cantidad solicitada y esto se podría explicar porque este artículo son llantas que se utilizan en la mayoría de los remolques fabricados; de los 98 proyectos que se tuvieron entre el 2014 y 2016, en el 45% de ellos se utilizó este tipo de llantas, y en el 55% restante se utilizaron otras cinco clases de llantas. Otra de las diferencias entre en la soldadura (artículo 1) y las llantas (artículo 2), es que la primera se ocupa en cualquier tipo de remolque y es fundamental para la fabricación de estos, y las llantas no se ocupan en todos los remolques, puesto que depende mucho de las características del proyecto para definir el uso de una llanta u otra.

Se puede apreciar en la gráfica que su uso ocurre generalmente entre febrero – agosto y noviembre – diciembre, posiblemente porque sólo en esos períodos se ingresaron proyectos nuevos a la empresa. Para los artículos 3 y 4, se observó un comportamiento similar: una demanda intermitente pero agrupada.

La demanda de los artículos 2, 3, 4 contenidos en la **Figura 4.13** presentan entre el 30% y 45% de períodos con demanda nula, con respecto a los 36 períodos en estudio. Cuando la demanda ocurre es constante o casi constante, se presenta en el período de febrero – agosto y noviembre – diciembre. Además, son artículos que se utilizan para remolques con capacidad entre 35 y 70 toneladas, que constituyen más del 50% de los diseños que fabrica la empresa, con lo que probablemente se pueda explicar por qué la demanda de los artículos presenta un comportamiento muy similar en el tiempo y que además cuando ocurre sea casi constante.

El comportamiento de la demanda del artículo 5, representada en la **Figura 4.14**, muestra muy pocos períodos con demanda diferente de cero y el tamaño de estas presentan una variabilidad alta. Los períodos con demanda nula representan más del 66% de los períodos en estudio, esto probablemente se explica porque el artículo 5 son ensambles que se ocupan para la suspensión de los remolques, por lo que es un artículo muy utilizado y probablemente los pedidos grandes se deban a la economía de escalas. Además, se observó que las órdenes de compra no se basan en una planeación, por lo que pueden ocurrir períodos en que se acabe el producto antes de finalizar los proyectos correspondientes a la orden de compra en turno. A diferencia de las llantas (artículo 2), la alta variabilidad en la demanda de este artículo puede deberse a que se utiliza en más del 60% de los remolques, puesto que sólo existen dos tipos de ensamble (con ABS y sin ASB), a diferencia de las llantas donde existen seis distintos tipos de llantas, por lo que cuando se solicita este tipo de artículo se hace en mayor cantidad.

El comportamiento de los artículos 6 y 7 (Figura 4.14) es similar al artículo 5, donde la demanda ocurre muy esporádicamente y cuando lo hace presenta una alta variabilidad. El porcentaje de demandas nulas oscila entre el 50% y 70% con respecto a los 36 períodos de estudio.

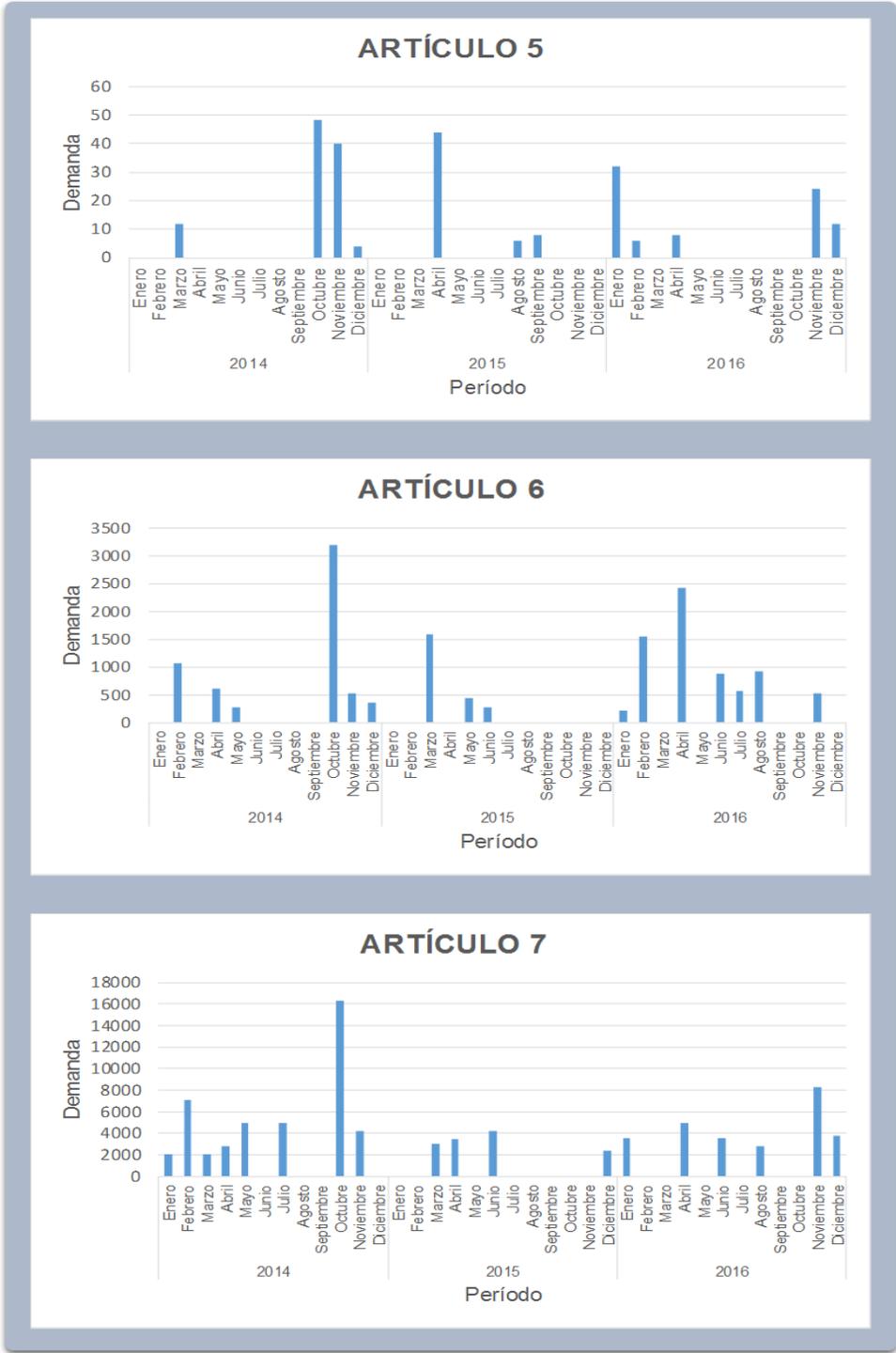


Figura 4.14 Artículos 5, 6, 7 - Demanda intermitente variable

La **Tabla 4.11** se elaboró de acuerdo con los pasos explicados en el subtema 3.2.5 *Categorización de la demanda* y con la información contenida en la **Tabla 3.1** *Demanda mensual de artículos seleccionados*. La tabla contiene las medidas estadísticas necesarias para la categorización de la demanda de cada artículo. El intervalo de ocurrencia entre dos demandas (Q_i) se calcula con ayuda de las ecuaciones 15 y 16, el número de períodos donde la demanda no es cero (N) con la ecuación 17 y el intervalo promedio entre demandas (ADI) con la ecuación 18.

Tabla 4.11 *Análisis descriptivo de la demanda*

	Artículo 1	Artículo 2	Artículo 3	Artículo 4	Artículo 5	Artículo 6	Artículo 7
Media	5	22	3619	23	20	963	4693
Desviación estándar	4	11	1973	15	16	842	3316
CV	0.87	0.52	0.55	0.64	0.81	0.87	0.71
CV²	0.77	0.27	0.30	0.41	0.66	0.76	0.50
Mínimo	1	8	463	1	4	220	2105
Máximo	21	48	7500	62	48	3190	16305
Serie Tiempo	Intermitente						
Comportamiento	Variable	Constante	Constante	Constante	Variable	Variable	Variable
N	29	19	21	26	12	16	18
ADI	1.24	1.89	1.71	1.38	3	2.19	2
Caracterización	Errática	Agrupada	Agrupada	Agrupada	Grumosa	Grumosa	Grumosa

De la **Tabla 4.11** se puede observar lo siguiente:

- El artículo 1 presenta una demanda mínima de una unidad, su máxima es de 21 unidades. Como medida de tendencia central, la media de las demandas es de cinco unidades con una desviación estándar de cuatro unidades. El intervalo promedio entre demandas es de 1.24 y su coeficiente de variación cuadrático es de 0.77, lo que significa que el comportamiento de su demanda es heterogénea o variable; es decir, la media va perdiendo representatividad. La demanda del artículo es una serie de tiempo intermitente y conforme al esquema de categorización SBC presenta demanda errática.
- Los artículos 2, 3 y 4 tienen un coeficiente de variación cuadrático entre 0.27 y 0.41, lo que significa que la demanda es homogénea o constante; es decir, la media es representativa del total de observaciones. El intervalo promedio entre demandas va de 1.38 a 1.89 períodos. Como son artículos donde el CV^2 es menor a 0.49 y ADI mayor a 1.32, conforme a la clasificación SBC presentan demanda intermitente agrupada.
- Conforme a la clasificación SBC, los artículos 5, 6 y 7 se catalogan dentro de la demanda intermitente grumosa, puesto que su ADI es mayor a 1.32 ya que oscila entre dos y tres períodos y su CV^2 es mayor a 0.59 debido a que fluctúa

entre 0.50 y 0.76. Su CV^2 también indica que el comportamiento de la demanda en estos artículos es variable, lo que revela que la media va perdiendo representatividad.

4.5 ETAPA 3 - PRONÓSTICOS

Una vez obtenidos los productos con alta frecuencia de uso y el análisis de la demanda que presentan, se evaluaron distintos métodos de pronóstico (Croston, SBA y TSB) para seleccionar el adecuado para cada uno de los siete artículos en estudio y realizar la previsión de la demanda para el año 2017.

4.5.1 SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS PARA PRONOSTICAR DEMANDA

INTERMITENTE

Los métodos tradicionales de pronóstico, como el suavizado exponencial simple (SES) o Holt Winter (Lee, 2013), a menudo no son adecuados en escenarios de demanda intermitente (Waller, 2014).

En R se pronosticó con el método Holt Winter para los siete artículos (cfr. inciso 3.3.1), y el resultado de las iteraciones para encontrar el valor de los parámetros de suavizamiento α , β y γ fue 1, para los siete artículos, esto implica que dentro de las ponderaciones para realizar los pronósticos, se le da mayor valor a las observaciones recientes.

Lo anterior se corrobora sustituyendo los valores de suavizamiento en las ecuaciones 24, 25 y 26, dando como resultado las ecuaciones 28, 29 y 30, donde los valores ya se encuentran sustituidos:

$$S_t = 1(d_t) + (1 - 1)(S_{t-1} + B_{t-1}) = d_t \quad (28)$$

$$B_t = 1(S_t - S_{t-1}) + (1 - 1)B_{t-1} = S_t - S_{t-1} \quad (29)$$

$$C_t = 1\left(\frac{d_t}{S_t}\right) + (1 - 1)(C_{t-1}) = \frac{d_t}{S_t} \quad (30)$$

Con la demostración anterior, se observa que para la componente de nivel (S_t) sólo se está considerando la demanda del período más reciente, d_t . Esto quiere decir

que para la componente de tendencia no se considera la tendencia de observaciones pasadas B_{t-1} , y para la componente de estacionalidad no se considera la estacionalidad de observaciones anteriores C_{t-1} ; lo anterior no es algo bueno para pronosticar demanda con comportamiento intermitente, puesto que el considerar sólo observaciones recientes para el cálculo del pronóstico, puede hacer que este sea incorrecto. Para un período anterior donde la demanda es cero, el pronóstico del siguiente período tendería a ser cero, pues no se considera la tendencia o estacionalidad que presentan los datos históricos, y lo mismo pasaría para períodos donde exista demanda diferente a cero, el siguiente período pronosticado sería igual al anterior, sin considerar que posiblemente en años pasados en ese período la demanda pudiera haber sido nula.

Con la demostración anterior, se corroboró que el método Holt Winter no funciona para demanda con comportamiento intermitente, por lo que se decidió hacer uso del método de Croston y sus variantes (SBA y TSB) (Syntetos y Boylan, 2005), que aplican el suavizado exponencial por separado a los intervalos entre las demandas no nulas y sus tamaños, y son los enfoques más utilizados que abordan los problemas relacionados con la previsión de la demanda intermitente (Rosas y Cortes, 2013). Con ayuda del código *idclass* del paquete *tsintermittent* en R, se determinaron los métodos de pronóstico apropiados para la demanda intermitente de los artículos, de acuerdo con la clasificación (SBC) (Anurag, 2016). El seleccionar los métodos de pronóstico para los siete artículos es fácil de realizar con el uso de la **Figura 2.2**, ya que son pocos productos; sin embargo, cuando se necesita aplicar esto para varios artículos, lo más adecuado sería hacerlo en forma automatizada con ayuda de algún *software* especializado; en este trabajo se programó con R, usando la función *idclass*.

La **Figura 4.15** es el resultado de utilizar la función anterior para los siete artículos seleccionados. El recuadro en rojo que encierra “Croston: 0”, que indica que ninguno de los artículos se debe pronosticar con este método, y el recuadro en verde “SBA:7” significa que los siete artículos son candidatos para aplicarles el método de pronóstico SBA. Lo anterior es congruente, puesto que en la **Tabla 4.11** se indica que el tipo de demanda de estos siete artículos varía entre errática, grumosa y agrupada, pero ninguna es “suave”, para la que el método sugerido de pronosticó es el de Croston.

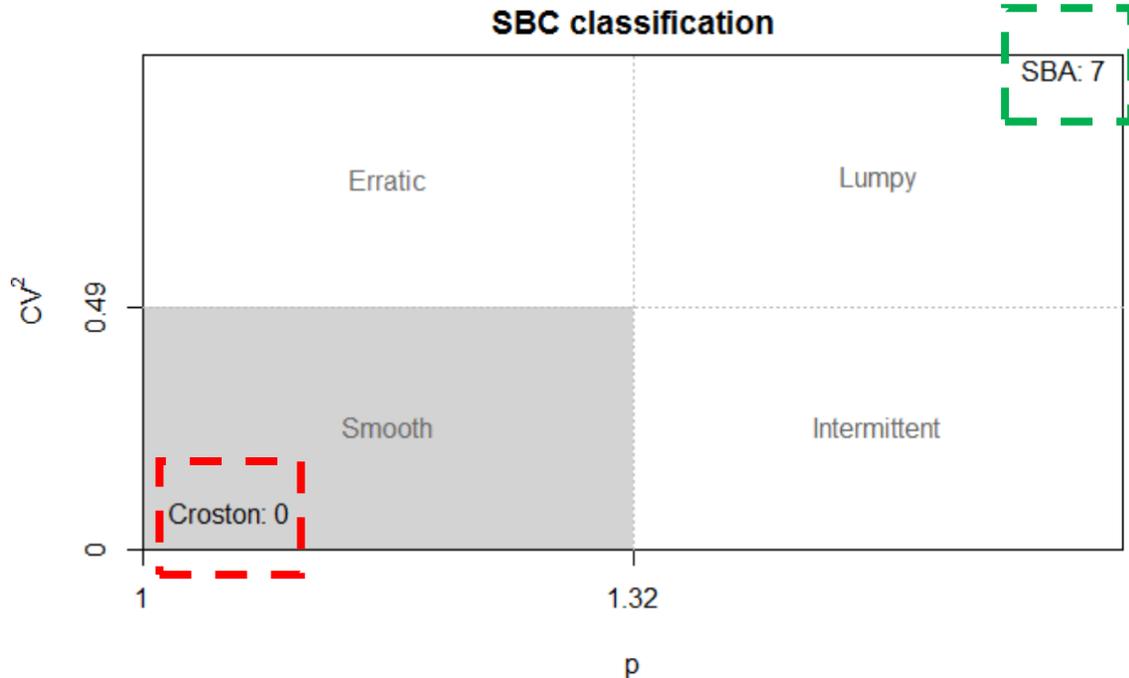


Figura 4.15 Selección de método de pronóstico en la clasificación SBC obtenida con R

Pero con el método modificado para la selección del método de pronóstico en la clasificación SBC propuesta por Teunter (2011) mostrada en la **Figura 2.3**, se tiene que para los artículos 1, 2, 3 y 4 el mejor método es SBA, y para los artículos restantes (5, 6 y 7) es el método TSB. Por lo anterior, se decide hacer uso de los tres métodos, porque el método clásico arroja SBA para todos los artículos, el método modificado arroja TSB para tres artículos, y se utiliza Croston sólo para verificar hasta qué grado es inadecuado utilizarlo para productos con demanda intermitente que no sea del tipo suave.

4.5.2 CÁLCULO DE PRONÓSTICOS

Una vez seleccionados los métodos de pronóstico a probar con cada uno de los siete artículos, se procede con el cálculo de ellos. El cálculo de los pronósticos se realiza con R (cfr. inciso 4.5.3). Esto sirve para establecer el modelo (SBA, TSB o Croston) que será usado para la previsión de la demanda del año 2017.

Para comenzar el cálculo del pronóstico con el método de Croston, se requiere descomponer la serie original de datos en dos series, una es la magnitud de la demanda en los períodos con demanda distinta de cero y la segunda son los intervalos entre demandas (cfr. incisos 2.2.3, 2.2.4, 2.2.5, 3.2.4), lo cual también se realiza para el cálculo con los métodos SBA y TSB, que sólo son modificaciones del

primer método. La descomposición de series también se utiliza realizar la clasificación de la demanda intermitente (cfr. inciso 2.2.5). La descomposición de series se grafica con Excel, para tener el antecedente de cómo se tienen que comenzar a realizar cualquiera de los tres métodos seleccionados.

La **Figura 4.16** ejemplifica la descomposición de Croston para el artículo 1. La primera gráfica llamada “Serie original” contiene los datos de la demanda para cada uno de los 36 períodos en estudio. La segunda gráfica llamada “Magnitud de la demanda”, se compone por los períodos donde la demanda es distinta a cero, y se indica el tamaño de la demanda en cada uno de ellos. Y la tercera figura llamada “Intervalos entre demanda”, indica el tamaño del intervalo entre la ocurrencia de una demanda y otra. En la segunda gráfica se observa que el tamaño de la demanda no es tan variable; sin embargo, en el penúltimo período el tamaño de la demanda se dispara y hace que la variabilidad aumente. Por otro lado, en la tercera gráfica se observa que el intervalo entre las demandas tiende a ser uno, lo que significa que los períodos con demanda distinta a cero son en su mayoría continuos y sólo existe un intervalo en donde se aprecia que entre la ocurrencia de una demanda y otra tuvieron que pasar tres períodos. Las características anteriores coinciden con la clasificación de la demanda de este artículo, demanda intermitente errática.

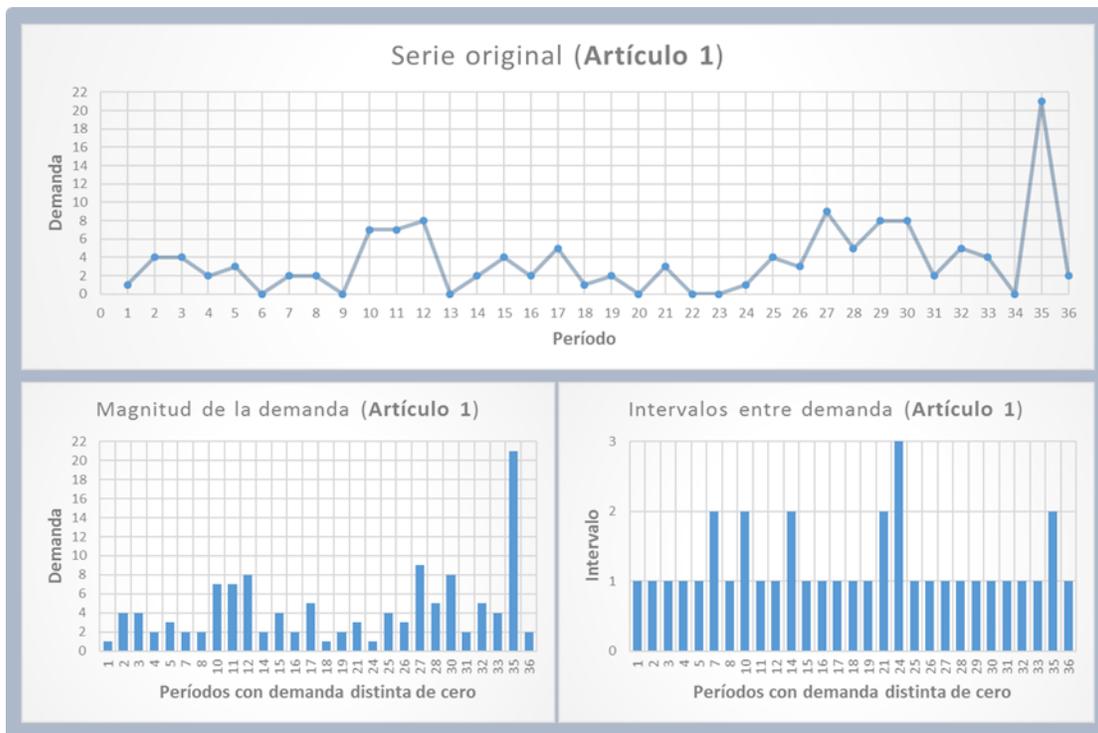


Figura 4.16 Descomposición de Croston – Artículo 1

La **Figura 4.17** se compone por la descomposición de la serie de los artículos 2, 3 y 4. En la segunda gráfica de cada artículo, se observa como el tamaño de la demanda comienza a ser más variable en cada periodo en comparación con la del artículo 1 y el número de periodos con demanda distinta a cero disminuye. Además, en la tercera gráfica de cada artículo, el tamaño del intervalo entre la ocurrencia de una demanda y otra es más variable, el tamaño mínimo se encuentra en uno, y el intervalo máximo se encuentra entre los valores de 4, 6 y 9; es decir, tuvieron que haber pasado hasta nueve periodos para que se presentara una nueva demanda de productos. Lo anterior concuerda con la clasificación de la demanda de estos artículos, demanda intermitente agrupada, donde la ocurrencia entre demandas es más espaciada y el tamaño de la demanda variable.

En la **Figura 4.18** se observa la descomposición de las series de los artículos 5, 6 y 7, que son artículos que presentan demanda intermitente grumosa y se caracterizan por tener tamaño de demanda muy variable y periodos de ocurrencia entre una demanda y otra muy largos. En la tercera gráfica de cada artículo, se observa que el tamaño de los intervalos de ocurrencia es más variable que en los artículos 1, 2, 3 y 4. A diferencia de los artículos 2, 3 y 4, donde los periodos de ocurrencia también son largos, es que para ellos el intervalo máximo se produce una sola vez, lo que no ocurre en los artículos 5, 6 y 7, donde el tamaño máximo del intervalo oscila entre siete y nueve, y la frecuencia de repetición es de tres a cuatro veces.

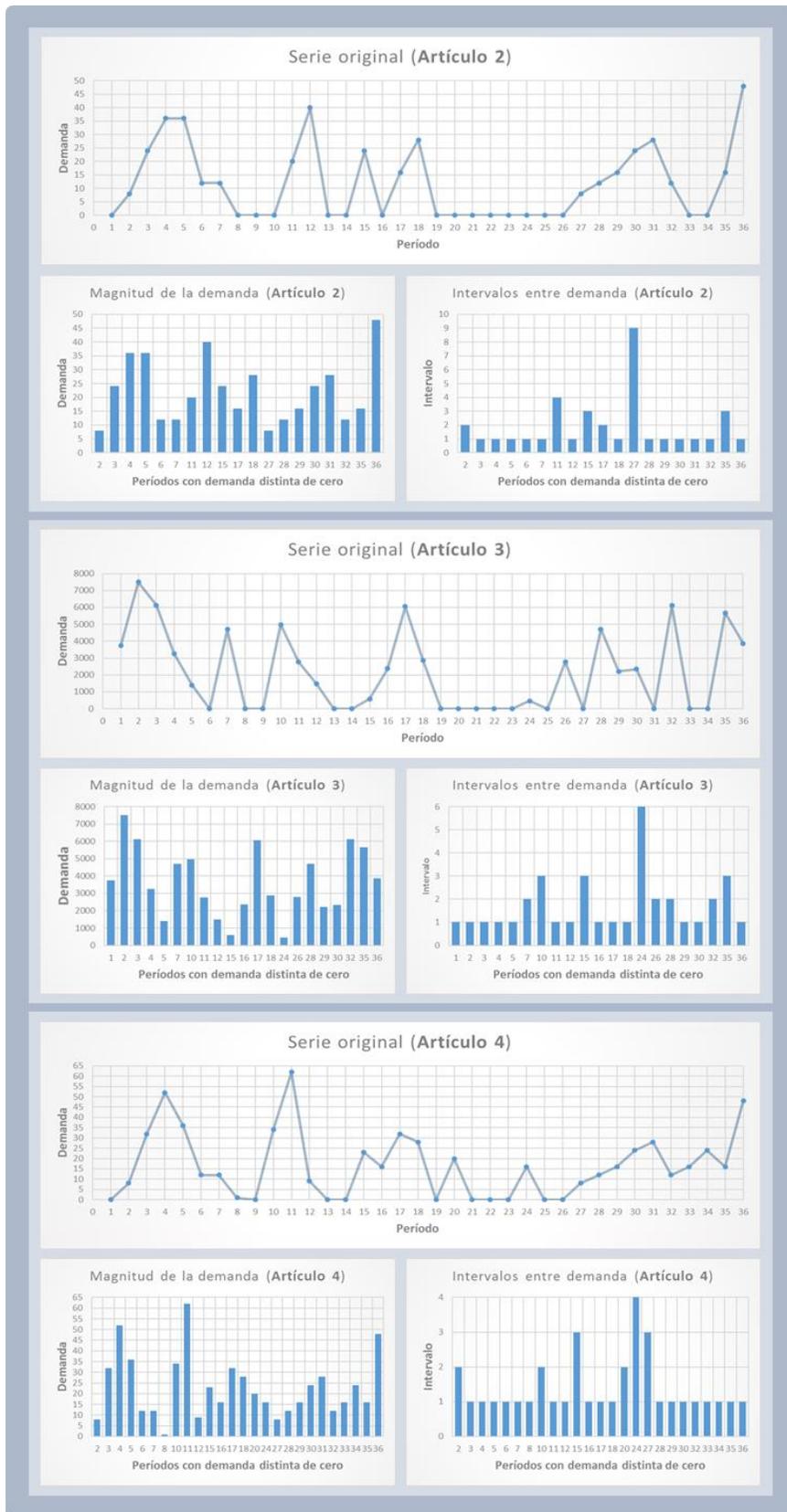


Figura 4.17 Descomposición de Croston – Artículos 2, 3 y 4

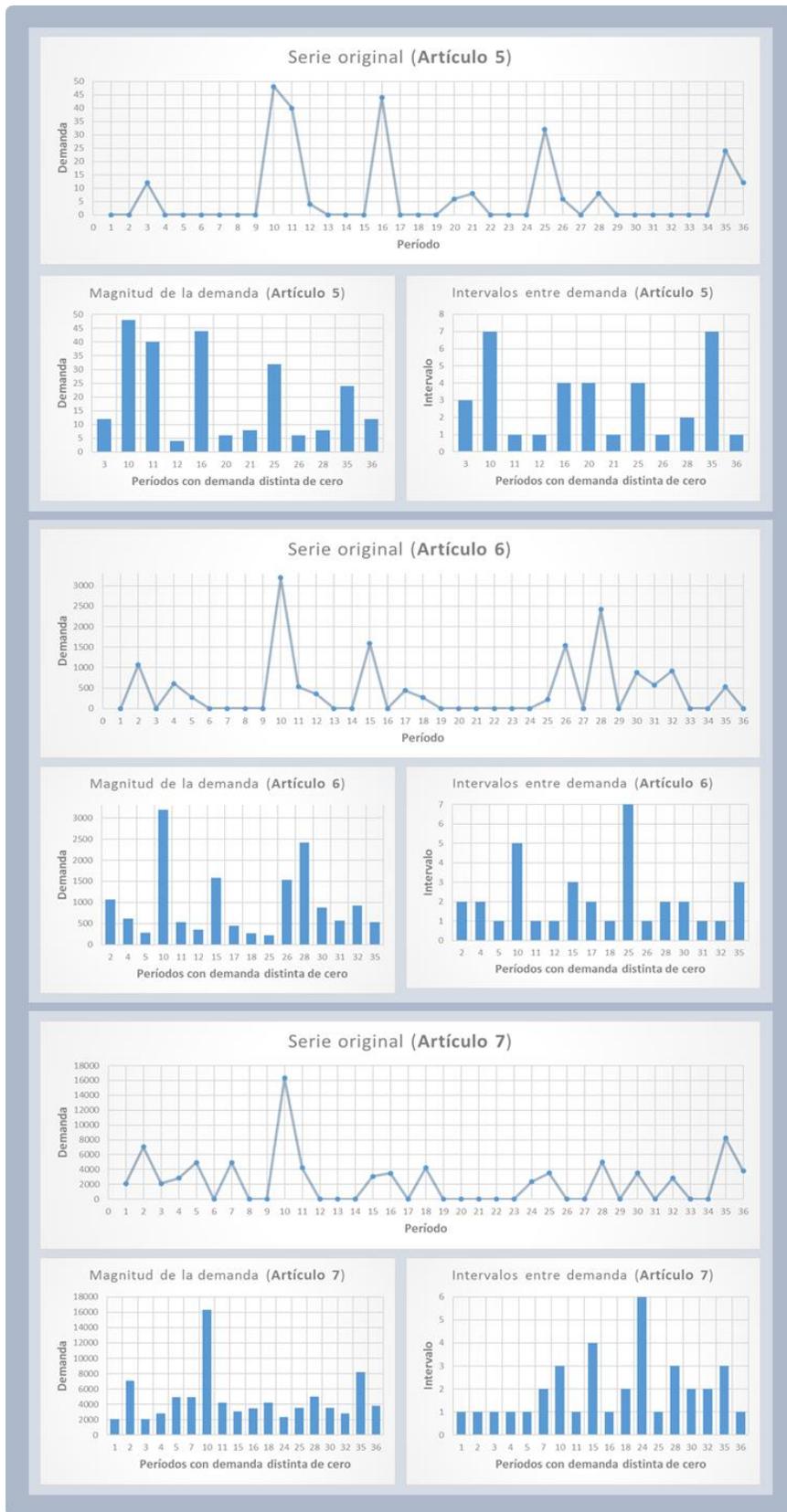


Figura 4.18 Descomposición de Croston - Artículos 5, 6 y 7

Una vez descompuestas las series originales de cada uno de los siete artículos, se procede con el cálculo de los pronósticos en Rstudio (cfr. inciso 3.3.1). La **Tabla 4.12** y **Tabla 4.13** contienen los pronósticos realizados con los tres métodos a evaluar, Croston, SBA y TSB para cada artículo.

Tabla 4.12 Pronósticos Croston, SBA, TSB - Artículos 1, 2, 3 y 4

Año	Mes	Artículo 1				Artículo 2				Artículo 3				Artículo 4			
		Demanda real	Croston	SBA	TSB	Demanda real	Croston	SBA	TSB	Demanda real	Croston	SBA	TSB	Demanda real	Croston	SBA	TSB
			Pronóstico	Pronóstico	Pronóstico												
2014	Enero	1				0				3735				0			
	Febrero	4	2	1	3	8			6	7500	2882	2918	2887	8			23
	Marzo	4	2	2	3	24	13	9	7	6120	3164	3195	3148	32	9	7	22
	Abril	2	2	2	3	36	13	10	8	3270	3335	3358	3310	52	12	12	22
	Mayo	3	2	2	3	36	13	12	11	1395	3298	3310	3280	36	16	19	23
	Junio	0	2	2	3	12	13	14	14	0	3132	3132	3132	12	19	21	24
	Julio	2	2	2	3	12	13	14	13	4690	3132	3132	2999	12	18	18	23
	Agosto	2	2	2	3	0	14	13	13	0	3077	3080	3082	1	17	16	22
	Septiembre	0	2	2	3	0	14	13	13	0	3077	3080	2951	0	15	12	21
	Octubre	7	2	2	3	0	14	13	12	4975	3077	3080	2826	34	15	12	20
	Noviembre	7	2	2	3	20	14	13	12	2770	2922	2936	2930	62	17	16	20
	Diciembre	8	3	3	3	40	13	12	12	1490	2879	2882	2896	9	21	24	22
2015	Enero	0	3	3	3	0	13	14	15	0	2754	2748	2786	0	20	20	21
	Febrero	2	3	3	3	0	13	14	14	0	2754	2748	2668	0	20	20	20
	Marzo	4	3	3	3	24	13	14	13	585	2754	2748	2555	23	20	20	20
	Abril	2	3	3	3	0	12	13	14	2370	2374	2375	2421	16	19	19	19
	Mayo	5	3	3	3	16	12	13	13	6050	2345	2339	2398	32	18	18	19
	Junio	1	3	3	3	28	12	13	13	2880	2560	2547	2597	28	19	20	19
	Julio	2	3	3	3	0	12	13	14	0	2553	2533	2593	0	20	20	20
	Agosto	0	3	3	3	0	12	13	14	0	2553	2533	2483	20	20	20	19
	Septiembre	3	3	3	3	0	12	13	13	0	2553	2533	2377	0	19	19	19
	Octubre	0	3	3	3	0	12	13	12	0	2553	2533	2277	0	19	19	18
	Noviembre	0	3	3	3	0	12	13	12	0	2553	2533	2180	0	19	19	17
	Diciembre	1	3	3	3	0	12	13	11	463	2553	2533	2088	16	19	19	17
2016	Enero	4	2	2	3	0	12	13	11	0	1965	1973	1992	0	16	18	16
	Febrero	3	2	3	3	0	12	13	10	2790	1965	1973	1908	0	16	18	16
	Marzo	9	2	3	3	8	12	13	10	0	1914	1920	1940	8	16	18	15
	Abril	5	3	3	3	12	10	10	10	4712	1914	1920	1858	12	14	15	15
	Mayo	8	3	3	3	16	10	10	10	2212	1973	1979	1989	16	14	13	14
	Junio	8	3	3	3	24	11	10	10	2340	1957	1954	1987	24	14	13	14
	Julio	2	4	4	3	28	11	10	11	0	1950	1941	1992	28	14	15	15
	Agosto	5	4	4	3	12	11	11	12	6118	1950	1941	1908	12	15	16	15
	Septiembre	4	4	4	3	0	11	11	12	0	2090	2082	2113	16	15	15	15
	Octubre	0	4	4	3	0	11	11	11	0	2090	2082	2024	24	15	14	14
	Noviembre	21	4	4	3	16	11	11	11	5670	2090	2082	1938	16	15	15	15
	Diciembre	2	5	5	4	48	10	10	11	3870	2114	2111	2111	48	15	15	15

Tabla 4.13 Pronósticos Croston, SBA, TSB - Artículos 5, 6 y 7

Año	Mes	Artículo 5				Artículo 6				Artículo 7			
		Demanda real	Croston	SBA	TSB	Demanda real	Croston	SBA	TSB	Demanda real	Croston	SBA	TSB
			Pronóstico	Pronóstico	Pronóstico		Pronóstico	Pronóstico	Pronóstico		Pronóstico		
2014	Enero	0				0				2105			
	Febrero	0			9	1068			470	7045	2315	2239	2314
	Marzo	12			9	0	544	516	476	2110	2778	2714	2736
	Abril	0	9	9	9	611	544	516	471	2820	2712	2644	2680
	Mayo	0	9	9	9	276	516	490	460	4930	2723	2652	2692
	Junio	0	9	9	8	0	486	479	436	0	2939	2872	2892
	Julio	0	9	9	8	0	486	479	431	4945	2939	2872	2745
	Agosto	0	9	9	7	0	486	479	426	0	2925	2879	2927
	Septiembre	0	9	9	7	0	486	479	422	0	2925	2879	2778
	Octubre	48	9	9	7	3190	486	479	417	16305	2925	2879	2637
	Noviembre	40	8	8	8	528	533	503	509	4205	3656	3673	3680
	Diciembre	4	8	8	9	352	511	505	492	0	3684	3685	3705
2015	Enero	0	8	8	9	0	485	498	468	0	3684	3685	3517
	Febrero	0	8	8	8	0	485	498	463	0	3684	3685	3339
	Marzo	0	8	8	8	1584	485	498	458	3075	3684	3685	3169
	Abril	44	8	8	8	0	491	495	486	3495	3061	3077	3145
	Mayo	0	8	8	9	445	491	495	481	0	3069	3069	3151
	Junio	0	8	8	8	265	462	465	462	4200	3069	3069	2991
	Julio	0	8	8	8	0	436	455	438	0	2970	2968	3054
	Agosto	6	8	8	8	0	436	455	433	0	2970	2968	2899
	Septiembre	8	7	7	8	0	436	455	428	0	2970	2968	2752
	Octubre	0	7	7	8	0	436	455	424	0	2970	2968	2612
	Noviembre	0	7	7	8	0	436	455	419	0	2970	2968	2480
	Diciembre	0	7	7	7	0	436	455	414	2344	2970	2968	2354
2016	Enero	32	7	7	7	220	436	455	410	3516	2306	2318	2349
	Febrero	6	7	7	8	1540	371	319	388	0	2349	2350	2406
	Marzo	0	7	7	8	0	400	373	418	0	2349	2350	2284
	Abril	8	7	7	8	2420	400	373	413	4998	2349	2350	2168
	Mayo	0	7	7	8	0	455	446	476	0	2282	2286	2313
	Junio	0	7	7	7	880	455	446	471	3530	2282	2286	2195
	Julio	0	7	7	7	572	446	443	470	0	2233	2230	2263
	Agosto	0	7	7	7	924	434	451	457	2824	2233	2230	2148
	Septiembre	0	7	7	7	0	437	476	459	0	2151	2140	2183
	Octubre	0	7	7	6	0	437	476	454	0	2151	2140	2072
	Noviembre	24	7	7	6	528	437	476	449	8219	2151	2140	1967
	Diciembre	12	6	6	7	0	410	426	436	3805	2277	2279	2271

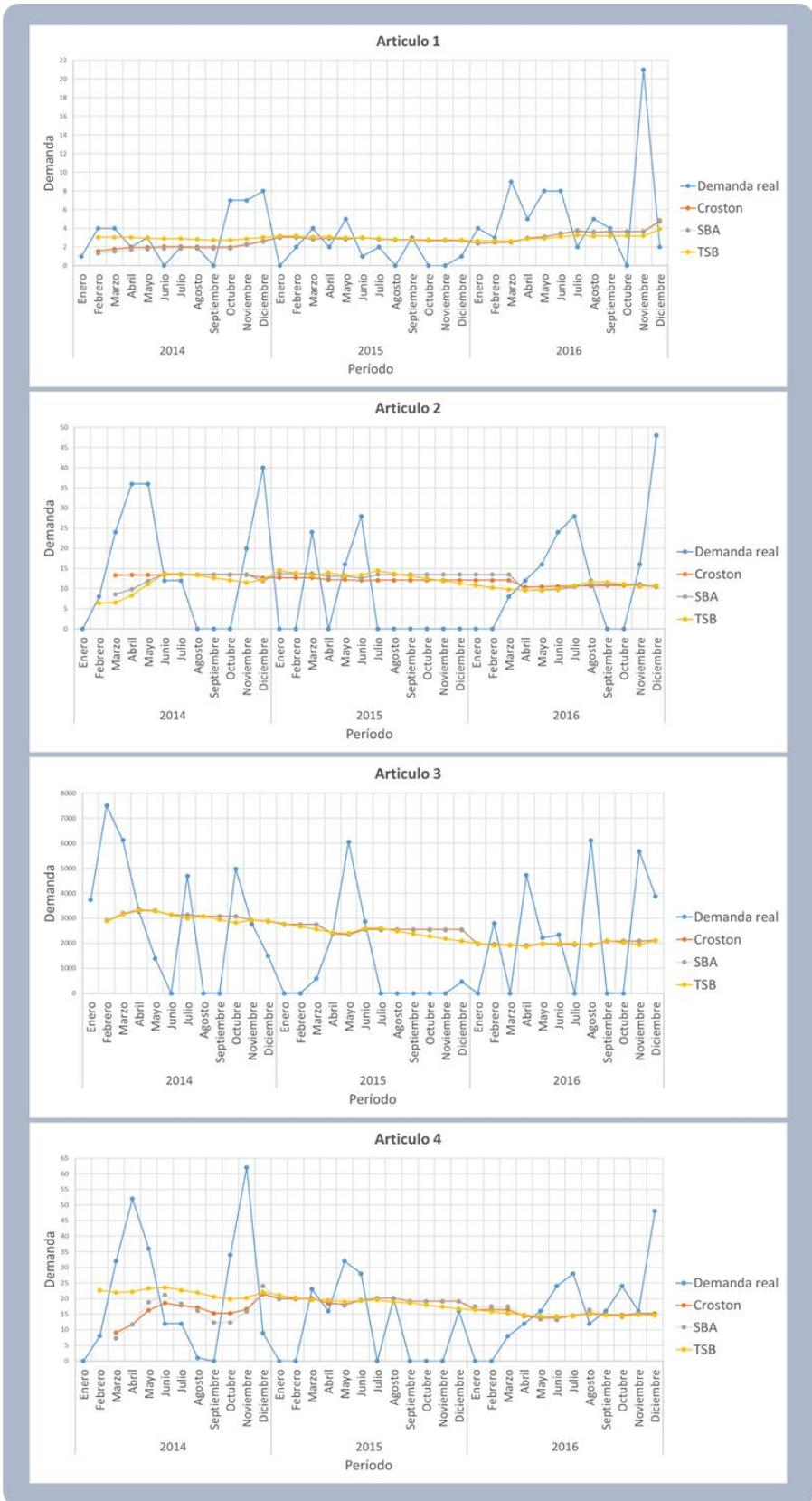


Figura 4.19 Demanda real vs Pronósticos



Figura 4.20 Demanda real vs Pronósticos (Artículos 5, 6 y 7)

Las **Figuras 19** y **20** son la representación gráfica de la demanda real contra los tres métodos de pronósticos utilizados. En ambas graficas se observa como los pronósticos son un suavizado de la demanda real; sin embargo, el suavizado es

muy drástico, pues los picos de la demanda real en ciertos períodos se disparan a valores muy altos, y los pronósticos tratan de mantener una demanda constante a través de todos los períodos.

De acuerdo con la **Tabla 4.12** y la **Figura 4.19**, para el artículo 1 que presenta demanda intermitente errática, el pronóstico para los 36 períodos en estudio es muy similar con los tres métodos. El valor que se repite con mayor frecuencia en la demanda pronosticada es tres. En el método TSB, la cantidad de demanda igual a tres, se presenta en 97% de los períodos. En cuanto a los artículos 5, 6 y 7 con demanda gruesa, se observa que presentan un comportamiento similar al artículo 1 en cuanto a los pronósticos, pues tanto en los valores de la **Tabla 4.13** como el gráfico de la **Figura 4.20**, se observa que los valores de los tres pronósticos son muy similares. Para los artículos restantes, el valor pronosticado de la demanda varía entre períodos y métodos, el comportamiento de los datos ya no es como en el artículo 1, pronóstico repetitivo y poco variable.

Tanto la clasificación SBC como la modificada arrojaron que los mejores métodos para pronosticar la demanda de estos siete artículos, son SBA y TSB, pero se requiere evaluar cada uno de ellos para corroborar que sea correcto y congruente.

4.5.3 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL MÉTODO PARA PREVISIÓN

Ya calculados los pronósticos con cada uno de los métodos, se requiere seleccionar el mejor de ellos para la previsión de la demanda del año 2017 de cada artículo y así poder crear las políticas de inventario; por lo que se requiere evaluarlos con medidas de error de pronóstico y costos.

Las medidas de error de pronóstico calculadas para un solo método en un solo período de tiempo carecen de significado (Vasumathi y Saradha, 2013). Su utilidad se muestra al comparar las medidas de error con las medidas de otros métodos de pronóstico o con otros períodos de tiempo. A continuación, se evalúan los métodos de pronósticos aplicados dentro de este estudio, a través de distintas medidas de error con son el DAM (ecuación 8), ECM (ecuación 9) y la señal de rastreo (ecuación 10) (cfr. inciso 2.3).

En el **ANEXO B**, se encuentran las tablas con el desarrollo y cálculo de cada uno de los errores; las tablas contienen el pronóstico con cada método, el error de pronóstico, el valor absoluto del error de pronóstico, el valor absoluto del acumulado del error de pronóstico, el DAM, el acumulado del error de pronóstico, el valor de la señal de rastreo y el ECM. A continuación, se realiza la comparación y evaluación

de estas medidas. El mejor método de pronóstico para cada artículo debe ser el que presente menor DAM, menor ECM y menor señal de rastreo que se encuentre dentro de ± 4 DAM's o el que cumpla con la mayoría de estos requisitos, lo que al final debe coincidir con la teoría (cfr. 4.5.1), es decir, el mejor método para los artículos 1, 2, 3 y 4 es TSB y el mejor método para los artículos 5, 6 y 7 es SBA.

La **Tabla 4.14** contiene la comparación del valor DAM, ECM y la señal de rastreo para los tres métodos de pronóstico utilizados en el artículo 1. Al comparar el DAM de los tres métodos, se observa que la variación del valor oscila entre 1% y 2%, lo que significa que el valor es casi igual para los tres; sin embargo, aunque el valor sea muy similar el método TSB presenta un menor valor. Hablando del ECM, la variación entre los valores se presenta entre el 0% y el 1%, y el método que presenta el menor valor es TSB. En cuanto al promedio de la señal de rastreo la variación de los valores va del 6% al 32%, el mínimo varía en más del 100% y el máximo varía entre 7% y 35%; conforme a los valores de la señal de rastreo, el mejor método es TSB.

De acuerdo con las medidas de error, el mejor método para pronosticar la demanda del artículo 1 es TSB; sin embargo, esto no concuerda con la teoría donde el mejor método para demanda intermitente errática es SBA, por lo que se requiere utilizar otro tipo de evaluación para confirmar o desechar lo que dice la teoría.

Tabla 4.14 Medidas de error para artículo con demanda errática (Artículo 1)

MÉTODO/ERROR	ARTÍCULO 1				
	DAM	ECM	Señal de rastreo		
			Promedio TS	Min	Max
Croston	2.67	16.14	12.32	1.00	13.32
SBA	2.70	16.19	13.11	1.00	14.20
TSB	2.64	16.09	9.90	-4.92	10.53

Los artículos 2, 3 y 4 presentan demanda intermitente agrupada y de acuerdo con la clasificación SBC y Teunter (cfr. inciso 2.2.2), el método para la previsión de este tipo de demanda debe ser SBA, y las medidas de error deben confirmar esto; sin embargo, en la **Tabla 4.15** se observa que, de acuerdo con las medidas de error, para el artículo 2 el mejor método es Croston y para los artículos 3 y 4 es TSB.

Tabla 4.15 Medidas de error para artículos con demanda agrupada (Artículos 2, 3 y 4)

MÉTODO/ERROR	ARTÍCULO 2					ARTÍCULO 3					ARTÍCULO 4				
	DAM	ECM	Señal de rastreo			DAM	ECM	Señal de rastreo			DAM	ECM	Señal de rastreo		
			SR	Min	Max			SR	Min	Max			SR	Min	Max
Croston	11.95	197.69	-0.06	-5.09	4.50	2118.37	5803304.89	-7.58	-11.01	2.95	13.79	304.56	1.07	-3.37	4.86
SBA	12.72	220.77	-0.56	-5.28	4.51	2114.39	5774505.88	-7.80	-11.03	2.93	14.15	314.23	0.97	-3.44	4.98
TSB	12.14	211.33	1.08	-3.85	5.51	2088.51	5673289.19	-6.87	-10.31	2.97	13.17	261.19	-3.90	-8.42	2.26

Conforme a la teoría (cfr. inciso 2.2.2), los artículos con demanda gruesa se deben pronosticar con el método TSB; los artículos 5, 6 y 7 presentan este tipo de demanda. De acuerdo con la **Tabla 4.16** que contiene las medidas de error de los métodos Croston, SBA y TSB, se confirma que los artículos 6 y 7 se deben pronosticar con el método TSB; sin embargo, para el artículo 5 no es contundente la evidencia, ya que las medidas de error indican que cualquiera de los tres métodos podría funcionar para la previsión de la demanda de este artículo.

Tabla 4.16 Medidas de error para artículos con demanda gruesa (Artículos 5, 6 y 7)

MÉTODO/ERROR	ARTÍCULO 5					ARTÍCULO 6					ARTÍCULO 7				
	DAM	ECM	Señal de rastreo			DAM	ECM	Señal de rastreo			DAM	ECM	Señal de rastreo		
			SR	Min	Max			SR	Min	Max			SR	Min	Max
Croston	10.21	187.03	-2.59	-6.00	1.64	522.37	546988.19	-2.64	-7.24	0.06	2600.60	11808735.31	-5.73	-8.80	4.17
SBA	10.22	187.35	-2.52	-6.00	1.65	528.78	557636.15	-2.71	-7.23	0.31	2601.57	11850744.43	-5.69	-8.86	4.32
TSB	10.02	185.32	-2.69	-7.14	1.90	515.05	541466.23	-0.55	-4.68	2.09	2548.90	11857125.70	-4.51	-7.82	4.36

De acuerdo con el análisis anterior, la evaluación de los métodos de previsión de la demanda a través de las medidas de error no presenta datos concisos para seleccionar el método más adecuado, porque contradice la teoría (Clasificación SBC y Teunter), por lo que se requiere analizar otro tipo de evaluaciones, como es gráficos o costos.

Otra evaluación para corroborar cuál es el mejor método para pronosticar es la comparación visual de la señal de rastreo de los tres métodos. La **Figura 4.21** es la comparación de la señal de rastreo de los tres métodos de pronóstico utilizados para el artículo 1. La señal de rastreo del método Croston y SBA se encuentra un 64% fuera de los límites aceptables de control del pronóstico y la señal de rastreo del método TSB se encuentra un 72% dentro de los límites aceptables de control del pronóstico, debido a que sólo nueve períodos se encuentran fuera de estos. Este resultado coincide con el obtenido en la evaluación por medio de las medidas de error, donde el TSB es el método adecuado para los datos del artículo 1; sin embargo, no coincide con la teoría expuesta por la clasificación SBC donde el método para pronosticar la demanda errática de este artículo es SBA.

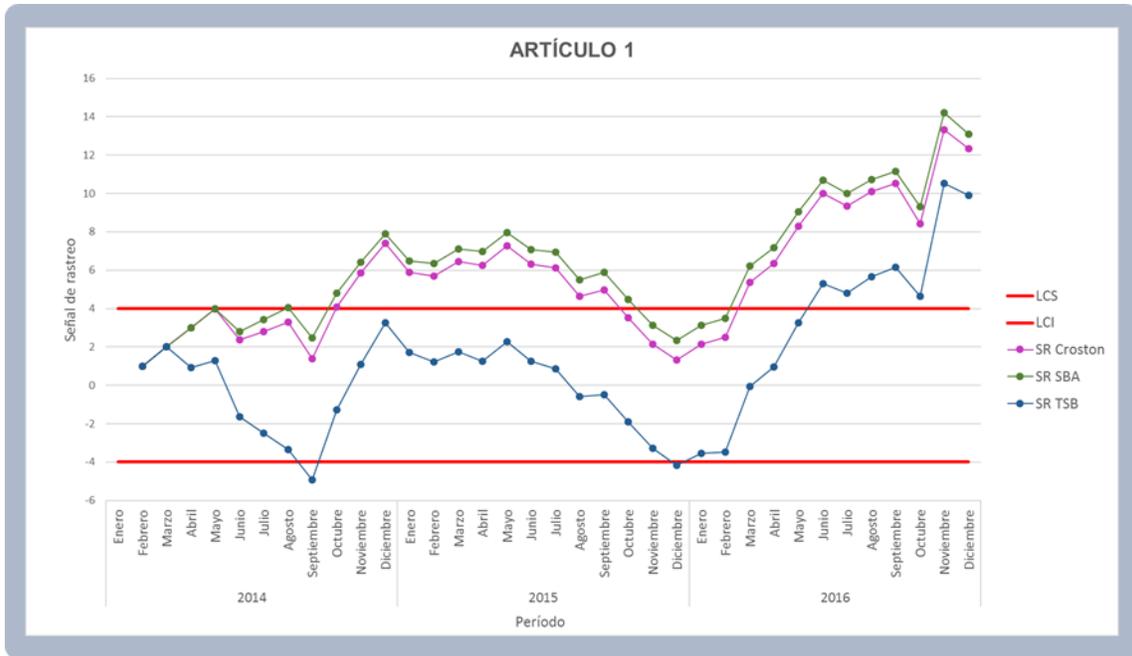


Figura 4.21 Señal de rastreo – Artículo 1

En la **Figura 4.22** se representa la señal de rastreo de los tres métodos para los artículos 2, 3 y 4. En los tres gráficos, las señales de rastreo coinciden en que a partir del período 18 se comienza a formar una curva decreciente y en los últimos períodos comienza a crecer nuevamente.

De acuerdo con los gráficos, el artículo 2 debe pronosticarse con el método Croston, pues con este método se presenta un 86% de puntos dentro de los límites de control. Para el artículo 3, el método más estable es TSB al encontrar un 50% de puntos dentro de los límites de control; y para el artículo 4 los métodos Croston Y SBA cuentan con menos cantidad de puntos fuera de los límites, igual a un 8%.

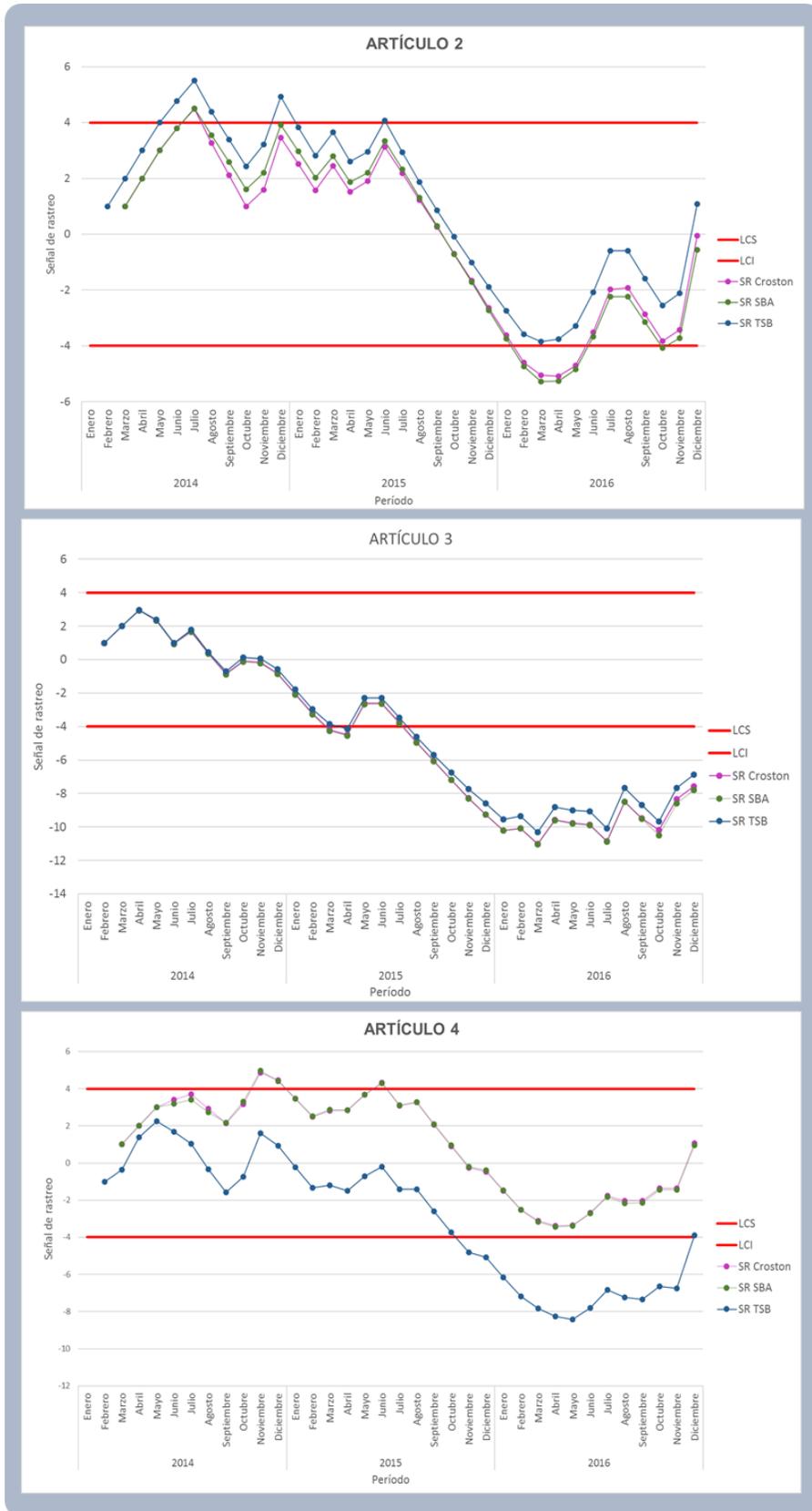


Figura 4.22 Señal de rastreo para artículos con demanda agrupada

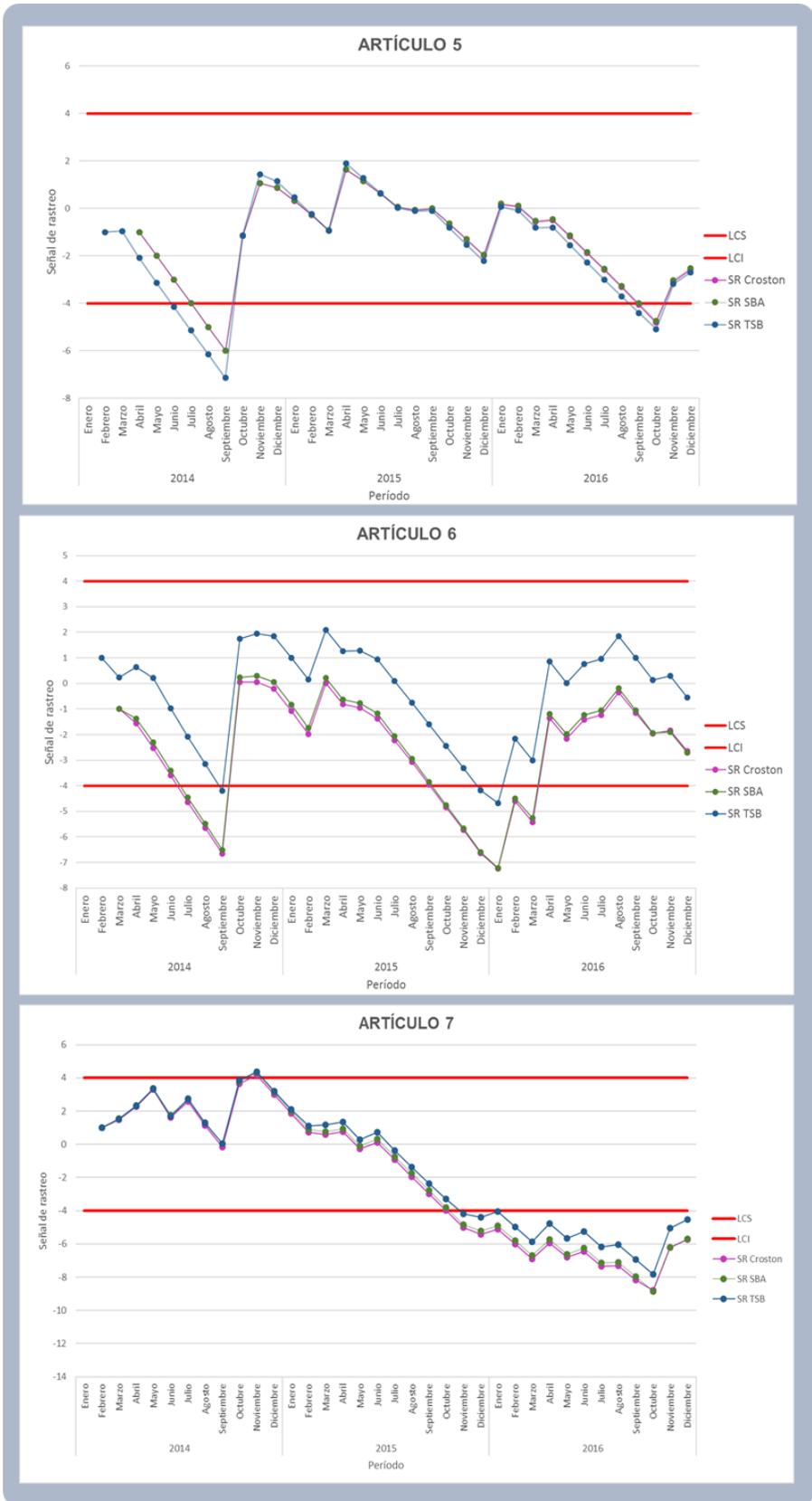


Figura 4.23 Señal de rastreo para artículos con demanda gruesa

En la **Figura 4.23** se observa el comportamiento de la señal de rastreo de los artículos 5, 6 y 7 que presentan demanda grumosa. En la gráfica del artículo 5, se observa que los métodos Croston y SBA tienen un menor porcentaje de períodos fuera de los límites de control, 14%. En el artículo 6, el método TSB cuenta con la mayor cantidad de períodos dentro de los límites con un 92%. Y para el artículo 7, todos los métodos tienen un 42% de puntos fuera de los límites, lo cual impediría seleccionar un método con este tipo de evaluación.

A través de la evaluación gráfica, tampoco se ha podido llegar a una selección del método de previsión adecuado para cada artículo, puesto que los resultados observados en las gráficas varían con la teoría y con las medidas de error.

Una vez realizada la evaluación de los métodos con medidas de error y la evaluación visual, ahora se evalúa desde el enfoque de costos. Se toman en cuenta los costos que genera elegir uno u otro método de pronóstico, es decir, el costo de mantener inventario o el costo por faltante. A modo de ejemplificar, en la **Tabla 4.17** se obtiene el inventario y faltante anual, para el artículo 1 con el método Croston. Para cada período se toma en cuenta el error de pronóstico (e): si el resultado es positivo es inventario generado y si es negativo es faltante provocado por el pronóstico con tal método. Al final se suma el inventario o faltante y se obtiene la cantidad anual de cada uno de ellos.

Tabla 4.17 Cálculo de inventario y faltante - Artículo 1

Año	Mes	Demanda real	Croston			
			F_{T+1}	e	Inventario	Faltantes
2014	Enero	1				
	Febrero	4	2	2	2	
	Marzo	4	2	2	2	
	Abril	2	2	0	0	
	Mayo	3	2	1	1n	
	Junio	0	2	-2		-2
	Julio	2	2	0		0
	Agosto	2	2	0	0	
	Septiembre	0	2	-2		-2
	Octubre	7	2	5	5	
	Noviembre	7	2	5	5	
	Diciembre	8	3	5	5	
2015	Enero	0	3	-3		-3
	Febrero	2	3	-1		-1
	Marzo	4	3	1	1	
	Abril	2	3	-1		-1
	Mayo	5	3	2	2	
	Junio	1	3	-2		-2
	Julio	2	3	-1		-1
	Agosto	0	3	-3		-3
	Septiembre	3	3	0	0	
	Octubre	0	3	-3		-3
	Noviembre	0	3	-3		-3
	Diciembre	1	3	-2		-2
2016	Enero	4	2	2	2	
	Febrero	3	2	1	1	
	Marzo	9	2	7	7	
	Abril	5	3	2	2	
	Mayo	8	3	5	5	
	Junio	8	3	5	5	
	Julio	2	4	-2		-2
	Agosto	5	4	1	1	
	Septiembre	4	4	0	0	
	Octubre	0	4	-4		-4
	Noviembre	21	4	17	17	
	Diciembre	2	5	-3		-3
TOTAL (anual)					64	-30

La **Tabla 4.18** se crea conforme al ejemplo anterior, replicándolo para cada método y cada artículo. En la tabla se indica el inventario o los faltantes generados en el período de estudio 2014-2016, de acuerdo con el método de pronóstico utilizado.

Con la **Tabla 4.18** se crea la **Tabla 4.19** (Costo de mantener inventario) y **Tabla 4.20** (Costo por faltantes) con el objetivo de observar lo que representa en costos el generar inventario o faltantes, que son los que se tratan de disminuir al seleccionar los métodos de previsión correctos.

Tabla 4.18 Inventario y faltantes generados por la elección del método de pronóstico

MÉTODO	CONCEPTO	Artículo 1	Artículo 2	Artículo 3	Artículo 4	Artículo 5	Artículo 6	Artículo 7
Croston	Inventario	64	203	28804	242	155	8191	37839
	Faltante	-30	-204	-45339	-227	-182	-9570	-53182
SBA	Inventario	65	213	28756	247	156	8274	38127
	Faltante	-30	-220	-45247	-234	-181	-9705	-52928
TSB	Inventario	59	219	29373	205	162	8872	38853
	Faltante	-33	-206	-43725	-256	-189	-9155	-50358

La **Tabla 4.19** muestra el costo por mantener el inventario (C_m) generado por cada método; para el cálculo (cfr. inciso 2.4) se requiere conocer la tasa de mantenimiento anual (i), costo unitario del artículo (c), el costo total anual de mantener una unidad en inventario (h), esta última es el resultado de la tasa de mantenimiento por el costo unitario ($i \cdot c$). Para este caso, se hace una proyección con las tasas de mantenimiento anual comúnmente utilizadas (González y Castillo, 2000). Al final, el C_m se obtiene de la multiplicación del inventario generado por cada método (**Tabla 4.18**) y el costo anual por mantener una unidad en inventario.

Tabla 4.19 Artículo 1 (Costo por mantener inventario C_m)

	i	c	h	Costo mantener (C_m)		
				Croston	SBA	TSB
Artículo 1	20%	\$ 6,628.89	\$ 1325.78	\$ 84,539.51	\$ 86,049.35	\$ 78,493.33
	25%	\$ 6,628.89	\$ 1657.22	\$ 105,674.39	\$ 107,561.69	\$ 98,116.66
	30%	\$ 6,628.89	\$ 1988.67	\$ 126,809.27	\$ 129,074.03	\$ 117,739.99
	35%	\$ 6,628.89	\$ 2320.11	\$ 147,944.14	\$ 150,586.36	\$ 137,363.32
Artículo 2	20%	\$ 3,132.11	\$ 626.42	\$ 127,056.12	\$ 133,273.80	\$ 137,207.40
	25%	\$ 3,132.11	\$ 783.03	\$ 158,820.15	\$ 166,592.25	\$ 171,509.25
	30%	\$ 3,132.11	\$ 939.63	\$ 190,584.18	\$ 199,910.69	\$ 205,811.10
	35%	\$ 3,132.11	\$ 1096.24	\$ 222,348.21	\$ 233,229.14	\$ 240,112.95
Artículo 3	20%	\$ 12.15	\$ 2.43	\$ 69,992.88	\$ 69,877.58	\$ 71,375.61
	25%	\$ 12.15	\$ 3.04	\$ 87,491.10	\$ 87,346.98	\$ 89,219.51
	30%	\$ 12.15	\$ 3.65	\$ 104,989.33	\$ 104,816.37	\$ 107,063.42
	35%	\$ 12.15	\$ 4.25	\$ 122,487.55	\$ 122,285.77	\$ 124,907.32
Artículo 4	20%	\$ 908.82	\$ 181.76	\$ 43,962.30	\$ 44,953.26	\$ 37,208.84
	25%	\$ 908.82	\$ 227.21	\$ 54,952.87	\$ 56,191.58	\$ 46,511.05
	30%	\$ 908.82	\$ 272.65	\$ 65,943.44	\$ 67,429.89	\$ 55,813.26
	35%	\$ 908.82	\$ 318.09	\$ 76,934.02	\$ 78,668.21	\$ 65,115.47
Artículo 5	20%	\$ 2,882.65	\$ 576.53	\$ 89,513.90	\$ 89,754.50	\$ 93,278.23
	25%	\$ 2,882.65	\$ 720.66	\$ 111,892.38	\$ 112,193.12	\$ 116,597.79
	30%	\$ 2,882.65	\$ 864.80	\$ 134,270.86	\$ 134,631.74	\$ 139,917.35
	35%	\$ 2,883.65	\$ 1,009.28	\$ 156,703.67	\$ 157,124.85	\$ 163,293.54
Artículo 6	20%	\$ 25.68	\$ 5.14	\$ 42,067.51	\$ 42,492.76	\$ 45,567.46
	25%	\$ 25.68	\$ 6.42	\$ 52,584.39	\$ 53,115.96	\$ 56,959.32
	30%	\$ 25.68	\$ 7.70	\$ 63,101.27	\$ 63,739.15	\$ 68,351.18
	35%	\$ 25.68	\$ 8.99	\$ 73,618.15	\$ 74,362.34	\$ 79,743.05
Artículo 7	20%	\$ 11.69	\$ 2.34	\$ 88,466.78	\$ 89,141.23	\$ 90,839.29
	25%	\$ 11.69	\$ 2.92	\$ 110,583.48	\$ 111,426.53	\$ 113,549.11
	30%	\$ 11.69	\$ 3.51	\$ 132,700.17	\$ 133,711.84	\$ 136,258.93
	35%	\$ 11.69	\$ 4.09	\$ 154,816.87	\$ 155,997.15	\$ 158,968.75

Ninguno de los siete artículos en estudio presenta demanda suave, la cual conforme a la teoría se recomienda pronosticar con el método Croston. En la **Tabla 4.19**, acorde a los costos obtenidos por mantener inventario, el método que genera menores costos es el de Croston, para los artículos 2, 5, 6 y 7, lo cual no coincide con la teoría, en la que ninguno de estos artículos debería de pronosticarse por este método. En color azul oscuro se encuentran los menores costos para cada artículo.

La **Tabla 4.20** contiene el costo por faltante C_f (cfr. inciso 2.4) generado por cada uno de los métodos, donde π es el costo por faltante por unidad, y C_f se calcula multiplicando π por el número de faltante anuales (**Tabla 4.18**).

Tabla 4.20 Costo por faltante C_f

		Artículo 1	Artículo 2	Artículo 3	Artículo 4	Artículo 5	Artículo 6	Artículo 7
π		\$ 1,096.24	\$ 1,009.28	\$ 38.52	\$ 30.38	\$ 318.09	\$ 19,886.67	\$ 29.23
Croston	C_f	\$ 596,600.10	\$ 223,065.99	\$ 1,377,183.47	\$ 72,222.26	\$ 183,369.09	\$ 368,629.96	\$ 1,554,252.94
SBA	C_f	\$ 596,600.10	\$ 240,909.98	\$ 1,374,391.93	\$ 74,322.50	\$ 183,101.14	\$ 373,840.81	\$ 1,546,812.74
TSB	C_f	\$ 658,371.97	\$ 225,723.70	\$ 1,328,157.08	\$ 81,469.89	\$ 190,501.94	\$ 352,637.20	\$ 1,471,712.59

En la **Tabla 4.20** se encuentra sombreado el menor costo por faltante para cada artículo. El método Croston genera menor costo por faltantes C_f para los artículos 1, 2 y 4, el método SBA para los artículos 1 y 5, y el método TSB para los artículos 3, 6 y 7.

Tabla 4.21 Cuadro comparativo de evaluación de métodos

Evaluación	Teoría	DAM	ECM	Señal de rastreo (gráficas)	Costo por mantener inventario	Costo por faltante	Método seleccionado
Artículo 1	SBA	TSB	TSB	TSB	TSB	Croston / SBA	TSB
Artículo 2	SBA	Croston	Croston	Croston	Croston	Croston	Croston
Artículo 3	SBA	TSB	TSB	TSB	SBA	TSB	TSB
Artículo 4	SBA	TSB	TSB	Croston / SBA	TSB	Croston	TSB
Artículo 5	TSB	TSB	TSB	Croston / SBA	Croston	SBA	TSB
Artículo 6	TSB	TSB	TSB	TSB	Croston	TSB	TSB
Artículo 7	TSB	TSB	Croston	Croston / SBA / TSB	Croston	TSB	TSB

El método de evaluación por costos tampoco ha sido concluyente, pues varía conforme a la teoría, a las medidas de error y a la evaluación visual. Por lo anterior, se crea la **Tabla 4.21**, la cual es un comparativo de los resultados obtenidos en cada una de las evaluaciones realizadas, consiguiendo el método más adecuado en cada

una de ellas; con ayuda de esta tabla se puede seleccionar finalmente el método conveniente para la previsión de la demanda del año 2017 para cada artículo.

Finalmente, con la compilación de los resultados obtenidos en cada evaluación, se puede seleccionar un método; sin embargo, los resultados no concuerdan con la teoría clásica, donde al menos los artículos 1, 2, 3 y 4 deben pronosticarse con el método SBA. Conforma al cuadro comparativo mostrado en la **Tabla 4.21**, la previsión de la demanda del año 2017, se debe realizar utilizando los siguientes métodos, para el artículo 2 el método Croston y para los artículos 1, 3, 4, 5, 6 y 7 el método TSB.

4.6 ETAPA 4 - POLÍTICAS DE INVENTARIO

Una vez realizados los pronósticos para el año 2017 de los siete artículos, se procede con el cálculo de las políticas de inventario de cada uno.

Para realizar las políticas de inventario de los siete artículos, se utilizan los siguientes modelos:

EOQ sin faltantes: artículo 1, artículo 3, artículo 6 y artículo 7.

EOQ con faltantes: artículo 2, artículo 4 y artículo 5.

Lo anterior se decide contemplando el uso de la materia prima, es decir, hay artículos (1, 3, 6 y 7) que se utilizan desde el comienzo de la manufactura del proyecto y sin ellos sería imposible empezar o se retrasaría la producción provocando la demora en el tiempo de entrega al cliente. Y, por otro lado, se tienen los artículos (2, 4 y 5) que al comienzo de la manufactura del proyecto no son necesarios, se pueden solicitar al inicio del proyecto y los proveedores surtirían en cuanto se haga la orden de compra para el momento en que se requieran; el tiempo de entrega de proveedores es casi inmediato, uno o dos días.

Los costos a utilizar son los siguientes (González y Castillo, 2000):

- Costo por ordenar (*A*), para poder obtener este costo se requiere conocer el sueldo de la persona encargada de realizar las ordenes o pedidos de compra de materia prima, el costo por realizar estas llamadas o si es el caso la utilización de un medio electrónico, así como de otros costos tangibles e intangibles.

El sueldo de la persona al frente del *Departamento de compras* dentro de la empresa, es de \$5,720.8 por mes. Para hacer pedidos a los proveedores de

materia prima ocupa alrededor de 5 horas a la semana en colocar la orden, ya que evalúa proveedores y da seguimiento a sus pedidos. Por lo tanto, en promedio, el costo de colocar una orden es de \$150.00.

- El costo total anual de mantener el inventario se realiza como un supuesto sólo para este trabajo, debido a que no se logró conseguir toda la información necesaria para calcularlo, sin embargo, se tomará uno porcentaje usualmente utilizado, $i = 25\%$ (González y Castillo, 2000).

Los datos utilizados para realizar la política de inventario de cada artículo son: demanda D , costo por mantener h , costo unitario c , costo por faltante C_f (para artículos 2, 4 y 5); estos datos se muestran en la **Tabla 4.22**.

Tabla 4.22 Datos para realizar cálculos

		D	i	c	h	A	C_f
		Unidades / año	%	Por unidad	Por unidad	Por unidad	Por unidad
EOQ sin faltantes	Artículo 1	45	25%	\$ 6,628.89	\$ 1,657.22	\$ 150.00	-
	Artículo 3	26,248	25%	\$ 12.15	\$ 3.04	\$ 150.00	-
	Artículo 6	5,178	25%	\$ 25.68	\$.42	\$ 150.00	-
	Artículo 7	28,190	25%	\$ 11.69	\$ 2.92	\$ 150.00	-
EOQ con faltantes	Artículo 2	127	25%	\$ 3,132.11	\$ 783.03	\$ 150.00	\$ 1,096.24
	Artículo 4	198	25%	\$ 908.82	\$ 227.21	\$ 150.00	\$ 318.09
	Artículo 5	78	25%	\$ 2,882.65	\$ 720.66	\$ 150.00	\$ 1,009.28

La demanda anual D corresponde a la previsión de la demanda del año 2017 calculada para cada artículo con los métodos seleccionados anteriormente (cfr. inciso 4.5.3). La tasa anual de mantenimiento, como se dijo arriba, es constante y se supone en 25%. El costo unitario c fue proporcionado por la empresa y se obtuvo de las órdenes de trabajo (cfr. 3.2.1). El costo por mantener una unidad en inventario es el resultado de la tasa anual de mantenimiento por el costo unitario (cfr. inciso 4.5.3). El costo de colocar una orden es igual a \$150.00 y arriba se explican los conceptos que se toman en cuenta para determinarlo. Y el costo por faltante se obtiene de la **Tabla 4.20**.

A continuación, se ejemplifica el cálculo de la política de inventario para el artículo 1 que no permite faltantes y el artículo 2 que los permite, con ayuda de los datos recopilados en la **Tabla 4.22**.

4.6.1 ARTÍCULO 1 (EOQ SIN FALTANTES)

Datos

$$D = 45 \text{ unidades/año}$$

$$i = 25\%$$

$$c = \$6,628.89$$

$$h = ic = 0.25 * \$6,628.89 = \$1,657.2225$$

$$A = \$150.00$$

El cálculo de la cantidad óptima a ordenar se realiza a través de la ecuación 11, donde el costo por ordenar es igual a \$150.00, la demanda para el año 2017 es de 45 unidades y el costo por mantener una unidad en inventario es de \$1657.2225, al sustituir los valores en dicha ecuación, se obtiene que Q^* es igual a tres unidades.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}} = \sqrt{\frac{2 * 150 * 45}{1,657.2225}} = 3 \text{ unidades} \quad (31)$$

Para conocer la periodicidad en que se debe colocar una orden de compra T y el total de pedidos al año N , se requiere hacer uso de las ecuaciones 12 y 13. La demanda ya se conoce que es igual a 45 unidades y la cantidad óptima a ordenar es igual a tres unidades. Al final se obtiene, que cada 22 días se debe colocar la orden de compra para evitar retrasos en la producción de los remolques; y al hacer esto, se debe obtener una cantidad de 15 pedidos al año.

$$T = \frac{Q}{D} = \frac{3}{45} = 0.06 \text{ año} * 365 \text{ días} = 22 \text{ días} \quad (32)$$

$$N = \frac{D}{Q} = \frac{45}{3} = 15 \text{ pedidos al año} \quad (33)$$

Una vez calcula la cantidad óptima a ordenar, se procede con el cálculo del costo anual total del inventario a través de la ecuación 15, donde se toma en cuenta el costo anual total de almacenamiento, costo anual total por ordenar y costo anual total de compra. Por lo que el costo que la empresa invertiría al año en inventario para el artículo 1 es de \$303,030.01.

$$K(Q^*) = cD + \sqrt{2ADh} = (6628.89 * 45) + \sqrt{2 * 150 * 45 * 1657.2225} \quad (34)$$

$$K(3) = \$303,030.01 \text{ por año} \quad (35)$$

4.6.2 ARTÍCULO 2 (EOQ CON FALTANTES)

Datos

$$D = 127 \text{ unidades/año}$$

$$i = 25\%$$

$$c = \$3,132.11 \text{ por unidad}$$

$$h = ic = 0.25 * \$3,132.11 = \$783.03 \text{ por unidad}$$

$$A = \$150.00 \text{ por unidad}$$

$$C_f = \$1,096.24 \text{ por unidad}$$

En el caso de artículos que permiten faltantes, la cantidad a ordenar se calcula con la ecuación 16 y se requiere conocer la cantidad de demanda que en este caso es de 127 unidades al año, el costo por ordenar igual a \$150.00, el costo por faltante obtenido de la **Tabla 4.20** igual a \$1096.24, y el costo por mantener una unidad de inventario igual a \$783.03 por unidad. De donde se obtiene que la cantidad óptima a ordenar del artículo 2 son nueve unidades por ciclo.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD(C_f + h)}{C_f * h}} = \sqrt{\frac{2 * 150 * 127 * (1096.24 + 783.03)}{1,096.24 * 783.03}} = 9 \text{ unidades} \quad (36)$$

Por otro lado, en este modelo EOQ con faltantes, es necesario calcular el nivel máximo de faltantes que no afecten la producción de los remolques. Con los datos utilizados para calcular la cantidad óptima a ordenar, mediante la ecuación 17 se calcula el nivel óptimo de faltantes, que para el artículo 2 es igual a cuatro unidades.

$$b^* = \sqrt{\frac{2ADh}{C_f(C_f + h)}} = \sqrt{\frac{2 * 150 * 127 * 783.03}{1,096.24 * (1,096.24 + 783.03)}} = 4 \text{ unidades} \quad (37)$$

Para el cálculo de la periodicidad en que se debe colocar una orden de compra T y el total de pedidos al año N , se utilizan las mismas ecuaciones (12 y 13) que en el modelo EOQ sin faltantes. La frecuencia con la que se debe ordenar el artículo 2 es de 26 días y el número de pedidos al año es de 14.

$$T = \frac{Q}{D} = \frac{9}{127} = 0.07 \text{ año} * 365 \text{ días} = 26 \text{ días} \quad (38)$$

$$N = \frac{D}{Q} = \frac{127}{9} = 14 \text{ pedidos al año} \quad (39)$$

La diferencia con el modelo EOQ sin faltantes es que, para el cálculo del costo total anual del inventario, en este caso se debe tomar en cuenta el costo por faltantes. De esta forma, se obtiene que el costo que la empresa invertiría al año en inventario para el artículo 2 es de \$401,949.64.

$$K(Q^*, b^*) = cD + \frac{AD}{Q} + \frac{(Q - b)^2 h}{2Q} + \frac{b^2 C_f}{2Q} = 397,777.97 + 2,085.83 + 1,216.74 + 869.10 \quad (40)$$

$$K(9,4) = \$401,949.64 \text{ por año} \quad (41)$$

4.6.3 POLÍTICA DE INVENTARIO PARA CADA ARTÍCULO

El resumen de las políticas de inventario calculadas para cada artículo se presenta en la **Tabla 4.23**. Los cálculos se realizaron de acuerdo con los ejemplos presentados con anterioridad.

Tabla 4.23 Políticas de inventario

		Q*	b*	T	N	K(Q*,b*)
		Unidades	Unidades	Días	Pedidos al año	Por año
EOQ con faltantes	Artículo 1	7	3	35	10	\$ 227,983.33
	Artículo 2	9	4	26	14	\$ 401,949.64
	Artículo 6	21	9	39	9	\$ 182,752.19
EOQ sin faltantes	Artículo 3	492	-	35	11	\$ 136,129.02
	Artículo 4	1,610	-	22	16	\$ 323,803.85
	Artículo 5	1,701	-	22	16	\$ 334,512.58
	Artículo 7	3	-	22	15	\$ 303,030.01

La cantidad óptima a ordenar varía dependiendo de los artículos; por ejemplo, para los artículos 1, 2 y 7 se deben de ordenar menos de 10 unidades por ciclo, para el artículo 6 un poco más de 20 unidades, para el artículo 3 menos de 500 unidades y para el artículo 4 y 5 menos de 2000 unidades. En cuanto al número máximo de faltantes, este varía de tres a nueve, dependiendo del artículo; la periodicidad en que se debe colocar un pedido es aproximadamente cada mes para todos los artículos y el costo total anual de inventario varía desde los \$130,000.00 a un poco más de \$400,000.00. Tan sólo de estos siete artículos, el costo total anual gastado en inventario es de poco menos de dos millones de pesos.

4.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Conforme a los métodos utilizados para realizar los pronósticos de los siete artículos, se observa lo siguiente:

- Conforme a la clasificación SBC y la modificada por Teunter, los artículos 1, 2, 3 y 4 que presentan demanda intermitente agrupada, deben de pronosticarse a través del método SBA. Sin embargo, de acuerdo con las evaluaciones, este método no es adecuado para ninguno de los cuatro artículos. La teoría no coincide del todo con la evaluación de los métodos de pronóstico para artículos con demanda intermitente agrupada.
- En cuanto a los artículos 5, 6 y 7, la teoría y las evaluaciones coinciden, para los artículos con demanda intermitente gruesa, debe utilizarse el método TSB para el pronóstico de su demanda.
- El método de Croston, según la teoría, sólo debe usarse cuando los productos presenten demanda intermitente suave, es decir, cuando la variabilidad del tamaño de la demanda y el período entre dos demandas no nulas son bajas. Ninguno de los siete artículos presentó este tipo de demanda; sin embargo, según los métodos de evaluación, el artículo 2 debe pronosticarse mediante este método.
- Para seleccionar un método de pronóstico para cada artículo, se realizaron diversas evaluaciones; el uso de medidas de error como el DAM, ECM y la señal de rastreo, y a pesar de que estas medidas son confiables, también se realizó la evaluación a través del cálculo de los costos por faltantes y por mantener inventario. Los métodos de evaluación no fueron contundentes para artículos con demanda intermitente agrupada, existe discrepancia entre ellos y al final se tienen que comparar para seleccionar los métodos de pronóstico adecuados.

En cuanto a la creación de las políticas de inventario, se realiza un análisis de sensibilidad con el artículo 1 donde se utilizó un modelo EOQ sin faltantes y con el artículo 2 donde se usó un modelo EOQ con faltantes, esto con el fin de advertir el impacto de obtener la cantidad óptima en los costos de inventario. Se realiza únicamente para estos dos artículos, puesto que el comportamiento de las gráficas en los cinco artículos restantes siempre es muy similar.

El análisis de sensibilidad para el artículo 1 se representa en la **Figura 4.24**. El eje X es igual a la cantidad a ordenar; debido a la escala de costos, se crean dos ejes Y, el eje de lado izquierdo sirve para medir el costo de almacenamiento y el costo

por ordenar, y el eje Y de lado derecho sirve para medir el costo total anual del inventario.

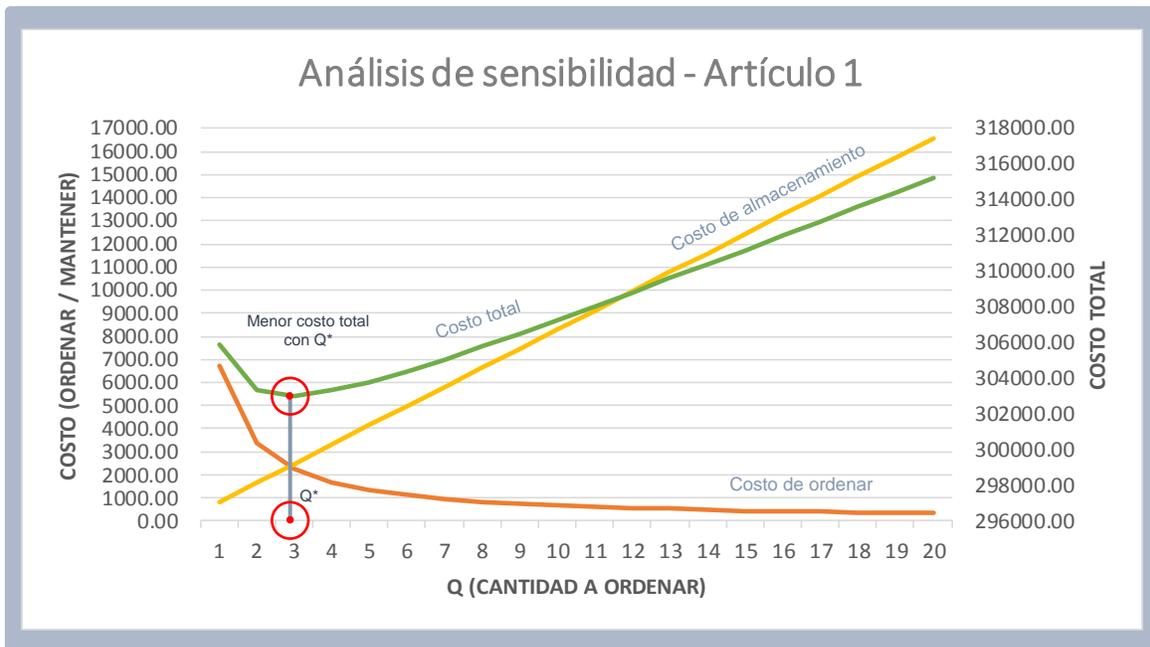


Figura 4.24 Análisis de sensibilidad - Artículo 1

En la **Figura 4.24**, se observa que el costo mínimo total anual del inventario se obtiene cuando el costo de almacenamiento y el costo de ordenar son iguales, encontrando al mismo tiempo la cantidad óptima a ordenar Q^* , que en este caso es de tres unidades. Por otro lado, el costo total antes o después de Q^* se incrementa, el costo de almacenamiento se incrementa después de Q^* y antes de Q^* el costo de ordenar se incrementa. Lo anterior ocurre con cualquiera de los otros dos artículos (2 y 6) donde se utilizó el modelo EOQ sin faltantes.

Para el análisis de sensibilidad del modelo EOQ con faltantes, se toma de ejemplo el artículo 2 donde se utilizó este modelo para calcular la política de inventario, y en la **Figura 4.25** se representa. Como en el caso anterior, el eje X representa la cantidad óptima a ordenar Q^* ; el eje Y de lado izquierdo es para los costos de ordenar, mantener y por faltantes, y el eje Y de lado derecho, es para el costo total anual de inventario.

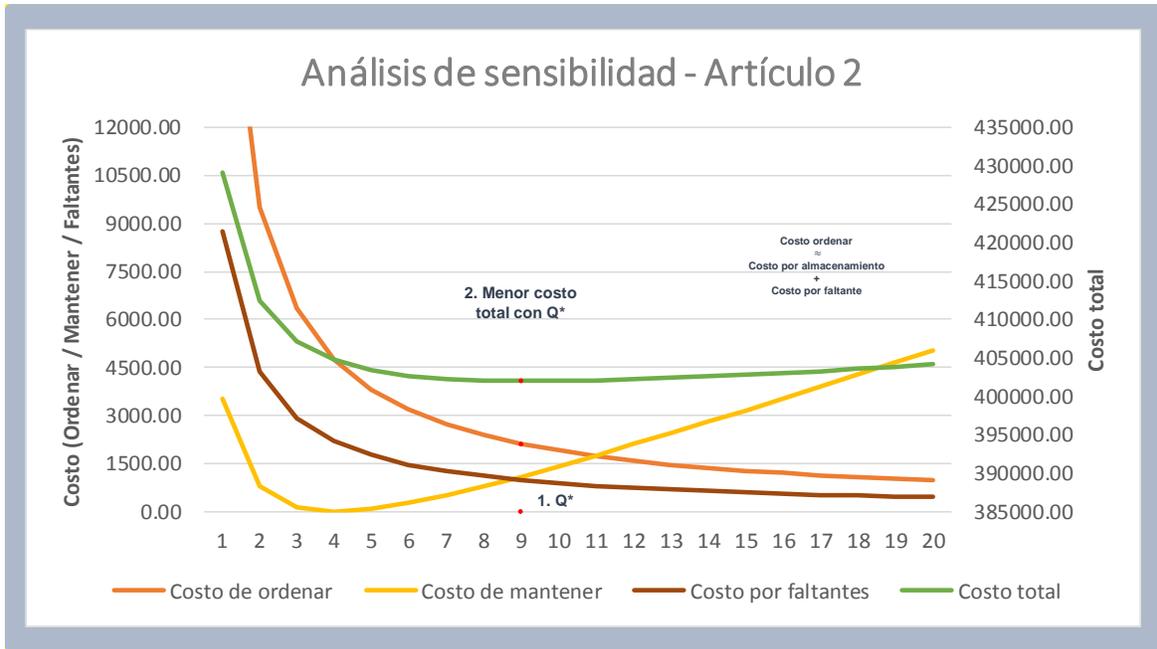


Figura 4.25 Análisis de sensibilidad - Artículo 2

En el caso del modelo EOQ con faltantes, se observa que en el punto óptimo (Q^* , b^*) se alcanza el equilibrio entre el costo de ordenar y la suma del costo de almacenamiento y por faltantes. Al igual que en el modelo anterior, el costo total aumenta y disminuye antes y después de Q^* , el costo por mantener tiene el mismo comportamiento que el costo total, y el costo por faltantes y por ordenar aumenta antes de Q^* .

CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación, se logró alcanzar el objetivo de determinar las políticas de inventario para la materia prima más utilizada dentro de la empresa en estudio, cumpliendo con cada uno de los pasos necesarios para alcanzarlo, desde la clasificación multicriterio, caracterización de la demanda, encontrar el modelo óptimo para pronosticar y finalmente determinar las cantidades óptimas a ordenar, el tiempo en el que se debe de hacer y los costos que se le atribuyen. Se pudieron contestar las preguntas de ¿qué se debe ordenar?, ¿cuánto se debe ordenar? y ¿cuándo se debe ordenar?

Uno de los problemas más serios por los que atraviesa la empresa bajo estudio, es que año con año los pedidos han ido disminuyendo exponencialmente. Un pronóstico adecuado de la demanda puede disminuir costos y/o pérdidas bajo este escenario desfavorable. Se pueden explorar diferentes métodos específicos para pronosticar demandas intermitentes y así determinar el óptimo para cada artículo; en este trabajo se buscó ajustar el pronóstico con menor incertidumbre para los datos de una empresa que fabrica remolques. En trabajos futuros se pueden utilizar, por ejemplo, las redes neuronales artificiales para pronosticar, ya que este método ha demostrado su capacidad para resolver problemas donde el cómputo tradicional ha mostrado dificultad.

Las limitaciones de los métodos de pronóstico habituales, como el SES, para casos de demanda intermitente han llevado a desarrollar diferentes enfoques específicos de pronóstico para este tipo de demanda. El primer método desarrollado fue el de Croston; sin embargo, por limitaciones como el no tomar en cuenta la obsolescencia del producto, no siempre produce resultados adecuados. El método TSB es el que dentro de sus parámetros considera la obsolescencia, por eso es lógico que fuese el que mejor se adecuó al comportamiento de la mayoría de los artículos sujetos a estudio en este trabajo. Por otro lado, los métodos de evaluación de los métodos de pronóstico, como son las medidas de error, tampoco son contundentes con artículos que presentan demanda intermitente, puesto que no coinciden con la teoría y tampoco con otros métodos de evaluación (visuales o por costos). Por lo anterior, cuando se trate de seleccionar un pronóstico adecuado para productos con demanda intermitente, se debe estudiar detalladamente, puesto que estos productos no se pueden tratar igual que los que presentan demanda continua, ni en la forma de clasificar, ni en la forma de pronosticar, ni en la forma de evaluar.

Finalmente, el correcto orden y administración del inventario es uno de los principales factores que inciden en el desempeño de las empresas y en las ganancias que se obtienen. Por lo cual es de vital importancia para la empresa A, contar con un inventario bien administrado y controlado. El enfoque en esta área debe ser el de mantener un nivel óptimo para no generar costos innecesarios, de la misma forma también se deben de tomar restricciones de espacio, presupuesto etc., para poder tener un resultado óptimo sobre las cantidades a ordenar.

En este trabajo sólo se estudiaron siete artículos y el alto impacto en los costos que genera el elegir una Q adecuada, se vería perfectamente reflejado al realizar todo este estudio para cada uno de los más de 350 artículos que maneja la empresa como inventario de materia prima, sería una cantidad considerable para una empresa que se encuentra en peligro de quiebra y que necesita minimizar cualquier costo innecesario. El tener niveles óptimos de inventario ayuda a liberar flujo de efectivo.

El método propuesto fue programado con R para un análisis automatizado, de tal forma que la metodología se puede aplicar con poco esfuerzo adicional a todos los productos de la empresa en estudio, o para diferentes casos de aplicación.

RECOMENDACIONES

La empresa está gastando un aproximado de 5% extra en la administración del inventario de cada artículo y a pesar de que a primera vista un 5% no representa un gran impacto, si esto se extrapola para cada materia prima que se maneja, entonces es una gran fuga de efectivo. Así, que la empresa debe comenzar a utilizar modelos de inventarios para cada artículo o mínimo para los más utilizados.

Por otro lado, en la recolección de los datos históricos, se presentaron muchas anomalías, ya que las bases de datos de compras, de ventas y de inventario, no corresponden con las facturas, así que lo más conveniente es revisar y capacitar al personal para llevar un control adecuado de todo esto, esto forma una parte fundamental para poder implementar un modelo de pronósticos e inventarios ya que esta información debe ser completamente confiable porque sin esto podríamos dar información errónea sobre los modelos propuestos. De igual forma, la empresa debería contratar a una persona para que se haga cargo exclusivamente del área de Control y Administración del inventario, que se encuentre pendiente del material faltante, de entradas, salidas y la clasificación del mismo para tener un óptimo rendimiento.

Finalmente, otro aspecto importante a considerar sería que la empresa debe contar con una base de datos históricos consistentes, ya que con información de calidad se espera poder caracterizar mejor la demanda y los pronósticos presentarían un mejor ajuste. Por ello, se le recomendaría a la empresa el uso de un software que le permitiese llevar un mejor control de su inventario y de sus datos históricos. Esto también ayudaría a crear, en un futuro, políticas de inventario que lo conviertan en un inventario flexible y colaborativo, para eficientar los tiempos de entrega y minimizar los costos.

BIBLIOGRAFÍA

- Anurag. (28 de abril de 2016). *RPubs*. Obtenido de Forecasting intermittent demand of slow-moving low shelf-life SKU's: <https://rpubs.com/anuragb/176739>
- Babiloni, M. (2009). Una metodología para la estimación eficiente del stock de referencia en políticas de revisión periódica con demanda discreta. Valencia.
- Bustos, C., & Chacón, G. (septiembre de 2012). Modelos determinísticos de inventarios para demanda independiente. *Contaduría y administración*.
- Calderon, F., & Supelano, L. (2012). Diseño del protocolo de pronósticos de demanda basado en modelos teóricos para el sistema de información en la empresa comertex S.A. Bucaramanga.
- Croston, J. (1972). Forecasting and stock control for intermittent demands. *Operational Research Quarterly*, 289-303.
- Cruz, R., & Correa, C. (2017). Intermittent demand forecasting with time series methods and artificial neural networks: A case study. *DYNA*, 9-16.
- Dowle, M., & Srinivasan, A. (2018). *Extensión de data.frame*. Obtenido de R package version 1.11.2: <https://CRAN.R-project.org/package=data.table>
- Dragulescu, A., & Arendt, C. (2018). *Xlsx: Escritura, lectura en formato Excel 2007 y Excel 97/2000/XP/203*. Obtenido de R package version 0.6.1: <https://CRAN.R-project.org/package=xlsx>
- Escobar, I. (30 de Julio de 2011). *Administración de operaciones I*. Obtenido de <http://www.tesoem.edu.mx/alumnos/cuadernillos/2011.001.pdf>
- Gansterer, M. (December de 2015). Aggregate planning and forecasting in make-to-order production systems. *International Journal of Production Economics*, págs. 521-528.
- Garzón, J. (2018). DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN Y CONTROL DE INVENTARIOS. Universidad de Ibagué.
- González, A., & Castillo, A. (2000). *Administración de operaciones, estrategia y análisis*. México: Pearson Educación.
- Grolemund, G., & Wickham, H. (2011). *Manejo fácil de fechas y tiempos con Lubridate*. . Obtenido de Software: <http://www.jstatsoft.org/v40/i03/>.
- Gross, J., & Ligges, U. (2015). *Nortest: Pruebas de normalidad*. Obtenido de R package version 1.0-4: <https://CRAN.R-project.org/package=nortest>
- Guisande, C., & Vaamonde, A. (2006). *Tratamiento de datos*. España: Diaz de Santos.
- Gutiérrez, E., Panteleeva, V., Hurtado, M., & González, C. (2013). An Inventory Model Application with Periodic Review for the Manufacture of Distribution Transformers. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 537-551.

- Hyndman, R., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasts for intermittent demand using Croston's method*. Obtenido de <https://pkg.robjhyndman.com/forecast/reference/croston.html>
- Izar, J., Ynzunza, C., & Guarneros, O. (2016). Lead time demand variability, safety stock and the inventory cost. *Contaduría y administración*, 499-513.
- Komsta, L., & Novomestky, F. (2015). *Moments: momentos, acumulativos, asimetría, curtosis y pruebas relacionadas*. Obtenido de R package version 0.14: <https://CRAN.R-project.org/package=moments>
- Kourentzes, N. (23 de junio de 2014). *Intermittent demand forecasting package for R*. Obtenido de <https://kourentzes.com/forecasting/2014/06/23/intermittent-demand-forecasting-package-for-r/>
- Kourentzes, N., & Petropoulos, F. (19 de Junio de 2016). *Forecasting with R*. Obtenido de Symposium on Forecasting 2016: <https://kourentzes.com/forecasting/wp-content/uploads/2016/06/Forecasting-with-R-notes.pdf>
- Kourentzes, N., & Petropoulos, F. (10 de mayo de 2016). *Package 'tsintermittent'*. Obtenido de Intermittent Time Series Forecasting: <https://cran.r-project.org/web/packages/tsintermittent/tsintermittent.pdf>
- Kourentzes, N., & Petropoulos, F. (2016). *Tsintermittent: Pronósticos para series de tiempo intermitentes*. Obtenido de R package version 1.9: <https://CRAN.R-project.org/package=tsintermittent>
- Lee, C. F. (2013). *Statistics for business and financial economics*. Springer.
- Miguez, M., & Bastos, A. (2006). *Introducción a la gestión de stocks. El proceso de control, valoración y gestión de stocks*. España: Ideaspropias.
- Montgomery, D., & Hines, W. (1996). *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*. México: Compañía Editoria Continental SA de CV .
- Peregrina Peña, P. M. (Mayo de 2000). Empleo de superficies de respuesta para la solución de problemas de inventarios estocásticos. Universidad de las Américas Puebla. Obtenido de Inventarios.
- Perera, S., Janakiraman, G., & Niu, S.-C. (May de 2017). Optimality of (s, S) policies in EOQ models with general cost structures. *International Journal of Production Economics*, págs. 216-228.
- Petropoulos, F., & Kourentzes, N. (Noviembre de 2016). Another look at estimators for intermittent demand. *ELSEVIER*, 181, 154-161.
- R Core Team. (2017). R: Un lenguaje y un entorno para la informática estadística. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Obtenido de <https://www.R-project.org/>
- Ravi Ravindran, A. (2018). *Service Systems Engineering and Management*. USA: CRC Press.
- Render, B., Stair, R., & Hanna, M. (2006). *Métodos cuantitativos para los negocios*. México: Pearson.

- Rojas, R. (2007). *Sistemas de Costos: Un procesos para su implementación*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Rosas, J., & Cortes, E. (2013). Propuesta de una metodología de planeación de la demanda y de los inventariops de medicamentos y dispositivos médicos de uso en pacientes hospitalizados en una IPS de cuarto nivel. Cali.
- RPubs*. (26 de noviembre de 2017). Obtenido de Series Temporales: <https://rpubs.com/palominoM/series>
- Scrucca, L. (2004). *Gcc: paquete de R para el control de calidad y estadístico de procesos*. Obtenido de Software.
- Sueur, J., Aubin, T., & Simonis, C. (2008). *Seewave: una herramienta modular gratuita*.
- Syntetos, A. A.; Boylan, J. E. (2005). The accuracy of intermittent demand estimates. En *International Journal of Forecasting* (págs. 303-314).
- Syntetos, A., & Boylan, J. E. (2001). On the bias of intermittent demand estimates. *Int. J. Prod. Econ.*
- Syntetos, A., Boylan, J. E., & Croston, J. D. (2005). *On the Categorization of Demand Pattern*. *J. Oper.*
- Teunter, R. H., Syntetos, A. A., & Babai, Z. (2011). Production, Manufacturing and Logistics Intermittent demand: Linking forecasting to inventory obsolescence. *Eur. J. Oper. Res.*
- Torres, T. (2010). *Investigación estadística*. Perú.
- Vasumathi, B., & Saradha, A. (2013). Forecasting Intermittent Demand for Spare Parts. *International Journal of Computer Applications* , 75(11).
- Waller, D. (2014). Obtenido de Methods for Intermittent Demand Forecasting: https://www.lancaster.ac.uk/pg/waller/pdfs/Intermittent_Demand_Forecasting.pdf
- Wickham, H. (2017). *Pronóstico: Funciones de pronóstico para series de tiempo y modelos lineales*. Obtenido de R package version 8.2: <http://pkg.robjhyndman.com/forecast>
- Wickham, H., & Bryan, J. (2017). *Readxl: Lectura de archivos de Excel*. Obtenido de R package version 1.0.0: <https://CRAN.R-project.org/package=readxl>
- Wickham, H., Francois, R., Henry, L., & Muller, K. (2017). *Dplyr: Gramatica de la manipulación de datos*. Obtenido de Package version 0.7.4: <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>

$$K(Q) = cD + \frac{AD}{Q} + \frac{hQ}{2} \quad (47)$$

Y se deriva la ecuación 47, para obtener la cantidad óptima a ordenar (ecuación 49),

$$\frac{dK(Q)}{dQ} = 0 \frac{AD}{Q^2} + \frac{h}{2} = 0 \quad (48)$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (49)$$

Al sustituir la ecuación 49 en la ecuación 47, se obtiene el costo total anual promedio mínimo (ecuación 50).

$$K(Q^*) = cD + \frac{AD}{\sqrt{\frac{2AD}{h}}} + \frac{h\sqrt{\frac{2AD}{h}}}{2} \quad (50)$$

Y simplificando la ecuación 50, se obtiene el costo total anual promedio mínimo en su mínima expresión.

$$K(Q^*)^* = cD + \sqrt{2ADh} \quad (51)$$

EOQ CON FALTANTES

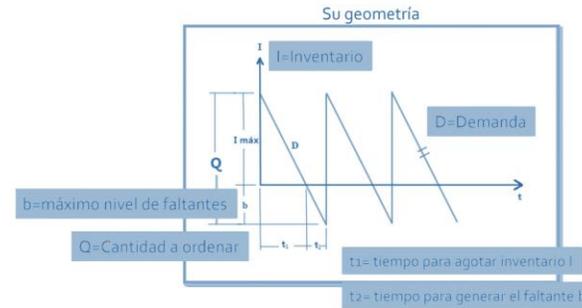


Figura A.2 Geometría de un modelo EOQ con faltantes

De la **Figura A.2** se obtienen las siguientes expresiones:

$$I_{max} = Q - b \quad (52)$$

$$\frac{T_1}{I_{Max}} = \frac{T}{Q} \quad (53)$$

$$T_1 = (Q - B) \frac{T}{Q} \quad (54)$$

$$T_1 = \frac{(Q - b)}{D} \quad (55)$$

$$\frac{T_2}{b} = \frac{T}{Q} \quad (56)$$

$$T_2 = \frac{T}{Q} b \quad (57)$$

$$T_2 = \frac{b}{D} \quad (58)$$

A partir de las ecuaciones anteriores se obtiene la función para calcular el costo promedio por ciclo (ecuación 59).

$$K(Q, b) = A + cQ + \frac{(T_1 1_{Max})^h}{2} + \frac{(T_2 b)^{\hat{\pi}}}{2} + \pi b \quad (59)$$

Para el costo promedio anual se debe considerar el número de ciclos (ecuación 60) y sustituir los valores obtenidos de la **Figura A.2** para obtener la ecuación 61.

$$K(Q, b) = \frac{cQ}{T} + \frac{A}{T} + \frac{(T_1 1_{Max})^h}{2T} + \frac{(T_2 b)^{\hat{\pi}}}{2T} + \frac{\pi b}{T} \quad (60)$$

$$K(Q, b) = cD + \frac{AD}{Q} + \frac{(Q - b)^2 h}{2Q} + \frac{b^2 \hat{\pi} + 2\pi D b}{2Q} \quad (61)$$

Para obtener el nivel de faltante, se deriva la ecuación 61 con respecto al nivel de faltante b.

$$\frac{dK(Q, b)}{db} = -\frac{h(Q - b)}{Q} + \frac{\hat{\pi} b}{Q} + \frac{\pi D}{Q} = 0 \quad (62)$$

Y se obtiene el faltante máximo b*.

$$b^* = \frac{hQ - \pi D}{h + \hat{\pi}} \quad (63)$$

Y finalmente, para encontrar el valor de Q óptimo para la función K(Q,b) es necesario derivar la ecuación 61, igualar a cero y despejar a Q.

$$\frac{dK(Q, b)}{dQ} = -\frac{AD}{Q^2} + \frac{(Q - b)h}{Q} - \frac{(Q - b)^2 h}{2Q^2} - \frac{b^2 \hat{\pi} + 2\pi D b}{2Q^2} = 0 \quad (64)$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h} - \frac{(\pi D)^2}{h(h + \hat{\pi})}} \sqrt{\frac{h + \hat{\pi}}{\hat{\pi}}} \quad (65)$$

ANEXO B – RESUMEN DE PRONÓSTICOS Y MEDIDAS DE ERROR

Tabla B.1 Artículo 1

Año	Mes	Demanda real	Croston								SBA								TSB															
			Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM								
2014	Enero	1																																
	Febrero	4	2	2	2	2	2	2	1.00	6	1	3	3	3	3	3	1.00	7	3	1	1	1	1	1	1.00	1								
	Marzo	4	2	2	2	5	2	5	2.00	5	2	2	2	5	3	5	2.00	6	3	1	1	2	1	2	2.00	1								
	Abril	2	2	0	0	5	2	5	3.00	0	2	0	0	5	2	5	3.00	0	3	-1	1	3	1	1	0.91	1								
	Mayo	3	2	1	1	6	1	6	4.00	1	2	1	1	7	2	7	4.00	2	3	0	0	3	1	1	1.28	0								
	Junio	0	2	-2	2	8	2	4	2.37	4	2	-2	2	9	2	5	2.82	3	3	-3	3	6	1	-2	-1.63	8								
	Julio	2	2	0	0	8	1	4	2.80	0	2	0	0	9	1	5	3.42	0	3	-1	1	7	1	-3	-2.49	1								
	Agosto	2	2	0	0	8	1	4	3.28	0	2	0	0	9	1	5	4.05	0	3	-1	1	8	1	-4	-3.34	1								
	Septiembre	0	2	-2	2	10	1	2	1.40	4	2	-2	2	11	1	3	2.46	3	3	-3	3	10	1	-6	-4.92	7								
	Octubre	7	2	5	5	15	2	7	4.09	25	2	5	5	16	2	8	4.80	27	3	4	4	15	2	-2	-1.28	18								
	Noviembre	7	2	5	5	20	2	11	5.86	22	2	5	5	21	2	13	6.42	23	3	4	4	19	2	2	1.09	17								
	Diciembre	8	3	5	5	25	2	17	7.42	29	3	5	5	26	2	19	7.88	29	3	5	5	24	2	7	3.26	25								
2015	Enero	0	3	-3	3	28	2	14	5.91	9	3	-3	3	29	2	16	6.47	9	3	-3	3	27	2	4	1.72	10								
	Febrero	2	3	-1	1	29	2	13	5.70	1	3	-1	1	30	2	15	6.35	1	3	-1	1	28	2	3	1.24	1								
	Marzo	4	3	1	1	30	2	14	6.44	1	3	1	1	31	2	16	7.10	1	3	1	1	29	2	4	1.74	1								
	Abril	2	3	-1	1	31	2	13	6.24	1	3	-1	1	32	2	15	6.97	1	3	-1	1	30	2	3	1.26	1								
	Mayo	5	3	2	2	33	2	15	7.26	5	3	2	2	34	2	17	7.97	5	3	2	2	32	2	5	2.27	4								
	Junio	1	3	-2	2	35	2	13	6.31	4	3	-2	2	36	2	15	7.08	4	3	-2	2	34	2	3	1.26	4								
	Julio	2	3	-1	1	36	2	12	6.11	1	3	-1	1	37	2	14	6.93	1	3	-1	1	35	2	2	0.85	1								
	Agosto	0	3	-3	3	39	2	9	4.64	8	3	-3	3	40	2	12	5.51	7	3	-3	3	38	2	-1	-0.58	8								
	Septiembre	3	3	0	0	39	2	10	4.97	0	3	0	0	40	2	12	5.89	0	3	0	0	38	2	-1	-0.50	0								
	Octubre	0	3	-3	3	42	2	7	3.54	7	3	-3	3	43	2	9	4.49	7	3	-3	3	41	2	-4	-1.91	8								
	Noviembre	0	3	-3	3	44	2	4	2.16	7	3	-3	3	45	2	6	3.13	7	3	-3	3	44	2	-6	-3.27	8								
	Diciembre	1	3	-2	2	46	2	3	1.34	3	3	-2	2	47	2	5	2.33	3	3	-2	2	45	2	-8	-4.18	3								
2016	Enero	4	2	2	2	48	2	4	2.16	3	2	2	2	49	2	6	3.13	2	3	1	1	47	2	-7	-3.53	2								
	Febrero	3	2	1	1	48	2	5	2.49	0	3	0	0	49	2	7	3.48	0	3	0	0	47	2	-7	-3.47	0								
	Marzo	9	2	7	7	55	2	11	5.37	42	3	6	6	56	2	13	6.22	42	3	6	6	53	2	0	-0.07	41								
	Abril	5	3	2	2	57	2	13	6.35	4	3	2	2	58	2	15	7.17	4	3	2	2	56	2	2	0.96	5								
	Mayo	8	3	5	5	62	2	18	8.30	24	3	5	5	63	2	20	9.04	24	3	5	5	61	2	7	3.26	26								
	Junio	8	3	5	5	66	2	23	10.01	21	3	5	5	67	2	25	10.69	21	3	5	5	65	2	12	5.30	24								
	Julio	2	4	-2	2	68	2	21	9.34	3	4	-2	2	69	2	23	9.99	3	3	-1	1	67	2	11	4.81	2								
	Agosto	5	4	1	1	70	2	23	10.09	2	4	1	1	70	2	24	10.73	2	3	2	2	69	2	13	5.67	3								
	Septiembre	4	4	0	0	70	2	23	10.53	0	4	0	0	71	2	25	11.17	0	3	1	1	69	2	13	6.16	1								
	Octubre	0	4	-4	4	74	2	19	8.41	13	4	-4	4	74	2	21	9.30	14	3	-3	3	73	2	10	4.63	10								
	Noviembre	21	4	17	17	91	3	37	13.32	301	4	17	17	92	3	38	14.20	299	3	18	18	90	3	28	10.53	318								
	Diciembre	2	5	-3	3	94	3	34	12.32	8	5	-3	3	94	3	35	13.11	8	4	-2	2	92	3	26	9.90	4								
			DAM 2.67								ECM 16.14								DAM 2.70								ECM 16.19							
			DAM 2.64								ECM 16.09																							

Tabla B.2 Artículo 2

Año	Mes	Demanda real	Croston								SBA								TSB																
			Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM									
2014	Enero	0																																	
	Febrero	8																																	
	Marzo	24	13	11	11	11	11	11	1.00	114	9	15	15	15	15	15	1.00	236	6	2	2	2	2	2	1.00	3									
	Abril	36	13	23	23	33	17	33	2.00	512	10	26	26	42	21	42	2.00	685	7	17	17	19	10	19	2.00	304									
	Mayo	36	13	23	23	56	19	56	3.00	510	12	24	24	66	22	66	3.00	581	8	28	28	47	16	47	3.00	766									
	Junio	12	13	-1	1	57	14	54	3.80	2	14	-2	2	67	17	64	3.79	3	11	25	25	72	18	72	4.00	620									
	Julio	12	13	-1	1	59	12	53	4.50	2	14	-2	2	69	14	62	4.51	3	14	-2	2	73	15	70	4.78	3									
	Agosto	0	14	-14	14	72	12	39	3.27	183	13	-13	13	82	14	49	3.55	181	13	-1	1	75	12	69	5.51	2									
	Septiembre	0	14	-14	14	86	12	26	2.11	183	13	-13	13	96	14	35	2.58	181	13	-13	13	101	13	43	3.38	161									
	Octubre	0	14	-14	14	99	12	12	0.99	183	13	-13	13	109	14	22	1.60	181	12	-12	12	113	13	30	2.43	146									
	Noviembre	20	14	6	6	106	12	19	1.60	42	13	7	7	116	13	28	2.21	43	12	8	8	121	12	39	3.22	72									
	Diciembre	40	13	27	27	133	13	46	3.46	748	12	28	28	144	14	57	3.92	789	12	28	28	149	14	67	4.93	774									
2015	Enero	0	13	-13	13	146	13	33	2.52	162	14	-14	14	158	14	43	2.98	190	15	-15	15	164	14	52	3.83	212									
	Febrero	0	13	-13	13	159	13	21	1.57	162	14	-14	14	172	14	29	2.03	190	14	-14	14	177	14	38	2.81	192									
	Marzo	24	13	11	11	170	13	32	2.45	127	14	10	10	182	14	39	2.80	105	13	11	11	188	13	49	3.66	116									
	Abril	0	12	-12	12	182	13	20	1.52	149	13	-13	13	195	14	26	1.87	172	14	-14	14	202	13	35	2.61	195									
	Mayo	16	12	4	4	186	12	24	1.90	14	13	3	3	198	13	29	2.20	8	13	3	3	205	13	38	2.96	7									
	Junio	28	12	16	16	202	13	40	3.13	256	13	15	15	213	13	44	3.33	236	13	15	15	220	13	53	4.07	213									
	Julio	0	12	-12	12	214	13	27	2.18	146	13	-13	13	227	13	31	2.32	182	14	-14	14	234	13	38	2.93	208									
	Agosto	0	12	-12	12	226	13	15	1.22	146	13	-13	13	240	13	17	1.31	182	14	-14	14	248	13	24	1.87	189									
	Septiembre	0	12	-12	12	238	13	3	0.26	146	13	-13	13	254	13	4	0.29	182	13	-13	13	261	13	11	0.86	171									
	Octubre	0	12	-12	12	250	13	-9	-0.70	146	13	-13	13	267	13	-10	-0.71	182	12	-12	12	273	13	-1	-0.10	156									
	Noviembre	0	12	-12	12	262	12	-21	-1.67	146	13	-13	13	281	13	-23	-1.72	182	12	-12	12	285	13	-13	-1.01	141									
	Diciembre	0	12	-12	12	274	12	-33	-2.64	146	13	-13	13	294	13	-36	-2.73	182	11	-11	11	296	13	-24	-1.90	128									
2016	Enero	0	12	-12	12	287	12	-45	-3.61	146	13	-13	13	308	13	-50	-3.74	182	11	-11	11	307	13	-35	-2.75	116									
	Febrero	0	12	-12	12	299	12	-57	-4.59	146	13	-13	13	321	13	-63	-4.74	182	10	-10	10	318	13	-45	-3.58	105									
	Marzo	8	12	-4	4	303	12	-61	-5.05	17	13	-5	5	326	13	-69	-5.28	30	10	-2	2	319	12	-47	-3.85	3									
	Abril	12	10	2	2	304	12	-60	-5.09	3	10	2	2	329	13	-67	-5.26	6	10	2	2	322	12	-45	-3.77	6									
	Mayo	16	10	6	6	310	11	-54	-4.70	31	10	6	6	335	12	-60	-4.84	41	10	6	6	328	12	-39	-3.29	40									
	Junio	24	11	13	13	323	12	-41	-3.51	181	10	14	14	349	12	-46	-3.68	202	10	14	14	342	12	-24	-2.08	197									
	Julio	28	11	17	17	341	12	-23	-1.97	302	10	18	18	367	13	-28	-2.23	311	11	17	17	359	12	-7	-0.60	298									
	Agosto	12	11	1	1	342	11	-22	-1.92	2	11	1	1	368	12	-27	-2.24	1	12	0	0	360	12	-7	-0.60	0									
	Septiembre	0	11	-11	11	353	11	-33	-2.87	117	11	-11	11	379	12	-38	-3.15	123	12	-12	12	371	12	-19	-1.60	135									
	Octubre	0	11	-11	11	364	11	-43	-3.82	117	11	-11	11	390	12	-50	-4.07	123	11	-11	11	382	12	-30	-2.56	122									
	Noviembre	16	11	5	5	369	11	-38	-3.42	27	11	5	5	395	12	-45	-3.73	24	11	5	5	388	11	-24	-2.12	30									
	Diciembre	48	10	38	38	406	12	-1	-0.06	1408	10	38	38	433	13	-7	-0.56	1411	11	37	37	425	12	13	1.08	1386									
			DAM	11.95						ECM	197.69				DAM	12.72						ECM	220.77				DAM	12.14						ECM	211.33

Tabla B.3 Artículo 3

Año	Mes	Demanda real	Croston							SBA							TSB															
			Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM						
2014	Enero	3735																														
	Febrero	7500	2882	4618	4618	4618	4618	4618	1.00	21322036	2918	4582	4582	4582	4582	4582	1.00	20990671	2887	4613	4613	4613	4613	4613	1.00	21279483						
	Marzo	6120	3164	2956	2956	7574	3787	7574	2.00	8737564	3195	2925	2925	7507	3753	7507	2.00	8556383	3148	2972	2972	7585	3792	7585	2.00	8830229						
	Abril	3270	3335	-65	65	7639	2546	7508	2.95	4257	3358	-88	88	7594	2531	7419	2.93	7706	3310	-40	40	7624	2541	7545	2.97	1566						
	Mayo	1395	3298	-1903	1903	9542	2385	5605	2.35	3622183	3310	-1915	1915	9509	2377	5504	2.32	3665532	3280	-1885	1885	9510	2377	5660	2.38	3554922						
	Junio	0	3132	-3132	3132	12674	2535	2473	0.98	9811131	3132	-3132	3132	12641	2528	2372	0.94	9811132	3132	-3132	3132	12642	2528	2527	1.00	9811421						
	Julio	4690	3132	1558	1558	14232	2372	4031	1.70	2426515	3132	1558	1558	14199	2367	3930	1.66	2426514	2999	1691	1691	14332	2389	4218	1.77	2857853						
	Agosto	0	3077	-3077	3077	17309	2473	954	0.39	9467569	3080	-3080	3080	17279	2468	850	0.34	9485083	3082	-3082	3082	17414	2488	1136	0.46	9497444						
	Septiembre	0	3077	-3077	3077	20386	2548	-2123	-0.83	9467569	3080	-3080	3080	20359	2545	-2230	-0.88	9485083	2951	-2951	2951	20365	2546	-1815	-0.71	8708988						
	Octubre	4975	3077	1898	1898	22284	2476	-225	-0.09	3602626	3080	1895	1895	22254	2473	-335	-0.14	3591835	2826	2149	2149	22514	2502	334	0.13	4618434						
	Noviembre	2770	2922	-152	152	22436	2244	-377	-0.17	23103	2936	-166	166	22420	2242	-500	-0.22	27486	2930	-160	160	22674	2267	174	0.08	25485						
	Diciembre	1490	2879	-1389	1389	23825	2166	-1766	-0.82	1928383	2882	-1392	1392	23812	2165	-1893	-0.87	1938314	2896	-1406	1406	24080	2189	-1232	-0.56	1976477						
2015	Enero	0	2754	-2754	2754	26579	2215	-4520	-2.04	7585971	2748	-2748	2748	26560	2213	-4641	-2.10	7551414	2786	-2786	2786	26866	2239	-4017	-1.79	7760846						
	Febrero	0	2754	-2754	2754	29333	2256	-7274	-3.22	7585971	2748	-2748	2748	29308	2254	-7389	-3.28	7551414	2668	-2668	2668	29533	2272	-6685	-2.94	7116550						
	Marzo	585	2754	-2169	2169	31502	2250	-9444	-4.20	4705707	2748	-2163	2163	31471	2248	-9552	-4.25	4678498	2555	-1970	1970	31503	2250	-8655	-3.85	3879140						
	Abril	2370	2374	-4	4	31506	2100	-9448	-4.50	15	2375	-5	5	31476	2098	-9557	-4.55	29	2421	-51	51	31553	2104	-8705	-4.14	2557						
	Mayo	6050	2345	3705	3705	35211	2201	-5743	-2.61	13727246	2339	3711	3711	35188	2199	-5846	-2.66	13774204	2398	3652	3652	35206	2200	-5053	-2.30	13338956						
	Junio	2880	2560	320	320	35532	2090	-5422	-2.59	102592	2547	333	333	35520	2089	-5513	-2.64	110730	2597	283	283	35489	2088	-4770	-2.28	80200						
	Julio	0	2553	-2553	2553	38084	2116	-7975	-3.77	6515854	2533	-2533	2533	38053	2114	-8046	-3.81	6415013	2593	-2593	2593	38082	2116	-7363	-3.48	6722114						
	Agosto	0	2553	-2553	2553	40637	2139	-10528	-4.92	6515854	2533	-2533	2533	40586	2136	-10578	-4.95	6415013	2483	-2483	2483	40564	2135	-9845	-4.61	6164052						
	Septiembre	0	2553	-2553	2553	43189	2159	-13080	-6.06	6515854	2533	-2533	2533	43119	2156	-13111	-6.08	6415013	2377	-2377	2377	42942	2147	-12223	-5.69	5652320						
	Octubre	0	2553	-2553	2553	45742	2178	-15633	-7.18	6515854	2533	-2533	2533	45651	2174	-15644	-7.20	6415013	2277	-2277	2277	45218	2153	-14499	-6.73	5183072						
	Noviembre	0	2553	-2553	2553	48295	2195	-18185	-8.28	6515854	2533	-2533	2533	48184	2190	-18177	-8.30	6415013	2180	-2180	2180	47399	2154	-16679	-7.74	4752779						
	Diciembre	463	2553	-2090	2090	50384	2191	-20275	-9.26	4366500	2533	-2070	2070	50254	2185	-20247	-9.27	4284020	2088	-1625	1625	49023	2131	-18304	-8.59	2639431						
2016	Enero	0	1965	-1965	1965	52349	2181	-22240	-10.20	3860166	1973	-1973	1973	52227	2176	-22219	-10.21	3891968	1992	-1992	1992	51015	2126	-20296	-9.55	3968288						
	Febrero	2790	1965	825	825	53174	2127	-21414	-10.07	681070	1973	817	817	53044	2122	-21402	-10.09	667804	1908	882	882	51898	2076	-19414	-9.35	778672						
	Marzo	0	1914	-1914	1914	55088	2119	-23328	-11.01	3663227	1920	-1920	1920	54964	2114	-23322	-11.03	3685993	1940	-1940	1940	53838	2071	-21354	-10.31	3764812						
	Abril	4712	1914	2798	2798	57886	2144	-20530	-9.58	7829052	1920	2792	2792	57756	2139	-20530	-9.60	7795857	1858	2854	2854	56692	2100	-18500	-8.81	8145166						
	Mayo	2212	1973	239	239	58125	2076	-20292	-9.77	56970	1979	233	233	57989	2071	-20296	-9.80	54500	1989	223	223	56915	2033	-18277	-8.99	49717						
	Junio	2340	1957	383	383	58508	2018	-19908	-9.87	146892	1954	386	386	58375	2013	-19911	-9.89	148695	1987	353	353	57267	1975	-17925	-9.08	124276						
	Julio	0	1950	-1950	1950	60458	2015	-21859	-10.85	3803003	1941	-1941	1941	60316	2011	-21852	-10.87	3766811	1992	-1992	1992	59259	1975	-19917	-10.08	3968005						
	Agosto	6118	1950	4168	4168	64626	2085	-17691	-8.49	17371149	1941	4177	4177	64493	2080	-17675	-8.50	17448772	1908	4210	4210	63470	2047	-15706	-7.67	17728245						
	Septiembre	0	2090	-2090	2090	66717	2085	-19781	-9.49	4370035	2082	-2082	2082	66575	2080	-19756	-9.50	4334011	2113	-2113	2113	65583	2049	-17820	-8.69	4466799						
	Octubre	0	2090	-2090	2090	68807	2150	-21872	-10.17	4370035	2082	-2082	2082	68657	2081	-21838	-10.50	4334011	2024	-2024	2024	67607	2049	-19843	-9.69	4095971						
	Noviembre	5670	2090	3580	3580	72387	2194	-18292	-8.34	12813087	2082	3588	3588	72245	2125	-18250	-8.59	12874972	1938	3732	3732	71339	2098	-16111	-7.68	13927662						
	Diciembre	3870	2114	1756	1756	74143	2181	-16536	-7.58	3084779	2111	1759	1759	74004	2114	-16491	-7.80	3093202	2111	1759	1759	73098	2089	-14353	-6.87	3093202						
			DAM	2118.37					ECM	5803304.89				DAM	2114.39					ECM	5774505.88				DAM	2088.51					ECM	5673289.19

Tabla B.4 Artículo 4

Año	Mes	Demanda real	Croston								SBA								TSB																			
			Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM												
2014	Enero	0																																				
	Febrero	8																	23	-15	15	15	15	-15	-1.00	214												
	Marzo	32	9	23	23	23	23	23	1.00	523	7	25	25	25	25	25	1.00	610	22	10	10	25	12	-5	-0.38	100												
	Abril	52	12	40	40	63	32	63	2.00	1621	12	40	40	65	32	65	2.00	1624	22	30	30	54	18	25	1.39	886												
	Mayo	36	16	20	20	83	28	83	3.00	387	19	17	17	82	27	82	3.00	293	23	13	13	67	17	38	2.26	162												
	Junio	12	19	-7	7	89	22	76	3.41	43	21	-9	9	91	23	73	3.19	85	24	-12	12	79	16	26	1.67	134												
	Julio	12	18	-6	6	95	19	70	3.70	34	18	-6	6	98	20	67	3.41	40	23	-11	11	89	15	16	1.04	115												
	Agosto	1	17	-16	16	111	19	54	2.92	261	16	-15	15	113	19	51	2.73	229	22	-21	21	110	16	-5	-0.34	438												
	Septiembre	0	15	-15	15	127	18	39	2.15	235	12	-12	12	125	18	39	2.18	153	21	-21	21	131	16	-26	-1.59	424												
	Octubre	34	15	19	19	145	18	58	3.17	349	12	22	22	147	18	61	3.31	468	20	14	14	145	16	-12	-0.73	199												
	Noviembre	62	17	45	45	191	21	103	4.86	2060	16	46	46	193	21	107	4.98	2124	20	42	42	187	19	30	1.60	1741												
	Diciembre	9	21	-12	12	203	20	91	4.45	156	24	-15	15	208	21	92	4.41	225	22	-13	13	200	18	17	0.93	171												
2015	Enero	0	20	-20	20	223	20	70	3.47	403	20	-20	20	228	21	72	3.47	394	21	-21	21	221	18	-4	-0.23	443												
	Febrero	0	20	-20	20	243	20	50	2.48	403	20	-20	20	248	21	52	2.52	394	20	-20	20	241	19	-25	-1.32	413												
	Marzo	23	20	3	3	246	19	53	2.81	9	20	3	3	251	19	55	2.86	10	20	3	3	245	17	-21	-1.21	12												
	Abril	16	19	-3	3	249	18	51	2.86	7	19	-3	3	254	18	52	2.85	12	19	-3	3	248	17	-25	-1.49	12												
	Mayo	32	18	14	14	263	18	65	3.69	192	18	14	14	268	18	66	3.69	203	19	13	13	261	16	-12	-0.71	169												
	Junio	28	19	9	9	271	17	73	4.32	74	20	8	8	277	17	74	4.30	71	19	9	9	270	16	-3	-0.19	74												
	Julio	0	20	-20	20	291	17	53	3.10	405	20	-20	20	297	17	54	3.11	408	20	-20	20	289	16	-23	-1.41	382												
	Agosto	20	20	0	0	292	16	53	3.27	0	20	0	0	297	17	54	3.28	0	19	1	1	290	15	-21	-1.40	1												
	Septiembre	0	19	-19	19	311	16	34	2.07	366	19	-19	19	316	17	35	2.10	365	19	-19	19	309	15	-40	-2.60	347												
	Octubre	0	19	-19	19	330	16	15	0.89	366	19	-19	19	335	17	16	0.95	365	18	-18	18	327	16	-58	-3.73	323												
	Noviembre	0	19	-19	19	349	17	-4	-0.27	366	19	-19	19	354	17	-3	-0.19	365	17	-17	17	344	16	-75	-4.82	301												
	Diciembre	16	19	-3	3	352	16	-8	-0.47	10	19	-3	3	358	16	-6	-0.39	10	17	-1	1	345	15	-76	-5.08	1												
2016	Enero	0	16	-16	16	369	16	-24	-1.50	272	18	-18	18	375	16	-24	-1.46	306	16	-16	16	362	15	-93	-6.15	271												
	Febrero	0	16	-16	16	385	16	-41	-2.53	272	18	-18	18	393	16	-41	-2.53	306	16	-16	16	377	15	-109	-7.19	252												
	Marzo	8	16	-8	8	394	16	-49	-3.11	72	18	-10	10	402	16	-51	-3.16	90	15	-7	7	385	15	-116	-7.83	54												
	Abril	12	14	-2	2	396	15	-51	-3.37	6	15	-3	3	405	16	-54	-3.44	8	15	-3	3	388	14	-119	-8.26	8												
	Mayo	16	14	2	2	398	15	-49	-3.34	4	13	3	3	407	15	-51	-3.38	7	14	2	2	389	14	-117	-8.42	3												
	Junio	24	14	10	10	408	15	-39	-2.68	103	13	11	11	418	15	-40	-2.70	116	14	10	10	399	14	-107	-7.80	95												
	Julio	28	14	14	14	422	15	-26	-1.76	183	15	13	13	432	15	-27	-1.81	179	15	13	13	412	14	-94	-6.82	181												
	Agosto	12	15	-3	3	425	14	-29	-2.05	12	16	-4	4	436	15	-31	-2.16	20	15	-3	3	415	13	-97	-7.23	9												
	Septiembre	16	15	1	1	426	14	-28	-2.03	1	15	1	1	437	14	-30	-2.13	2	15	1	1	417	13	-95	-7.33	2												
	Octubre	24	15	9	9	435	14	-19	-1.37	86	14	10	10	447	14	-20	-1.45	96	14	10	10	426	13	-86	-6.65	91												
	Noviembre	16	15	1	1	436	13	-18	-1.36	0	15	1	1	448	14	-20	-1.45	0	15	1	1	427	13	-85	-6.74	1												
	Diciembre	48	15	33	33	469	14	15	1.07	1076	15	33	33	481	14	14	0.97	1110	15	33	33	461	13	-51	-3.90	1113												
			DAM	13.79					ECM	304.56					DAM	14.15					ECM	314.23					DAM	13.17					ECM	261.19				

Tabla B.5 Artículo 5

Año	Mes	Demanda real	Croston								SBA								TSB							
			Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM
2014	Enero	0																								
	Febrero	0																								
	Marzo	12																								
	Abril	0	9	-9	9	9	9	-9	-1.00	83	9	-9	9	9	9	-9	-1.00	83	9	-9	9	9	9	-9	-1.00	84
	Mayo	0	9	-9	9	18	9	-18	-2.00	83	9	-9	9	18	9	-18	-2.00	83	9	-9	9	30	7	-23	-3.13	73
	Junio	0	9	-9	9	27	9	-27	-3.00	83	9	-9	9	27	9	-27	-3.00	83	8	-8	8	38	8	-32	-4.15	67
	Julio	0	9	-9	9	36	9	-36	-4.00	83	9	-9	9	36	9	-36	-4.00	83	8	-8	8	46	8	-39	-5.15	61
	Agosto	0	9	-9	9	45	9	-45	-5.00	83	9	-9	9	45	9	-45	-5.00	83	7	-7	7	53	8	-47	-6.15	56
	Septiembre	0	9	-9	9	55	9	-55	-6.00	83	9	-9	9	55	9	-55	-6.00	83	7	-7	7	61	8	-54	-7.14	51
	Octubre	48	9	39	39	93	13	-16	-1.17	1514	9	39	39	93	13	-16	-1.17	1514	7	41	41	102	11	-13	-1.14	1693
	Noviembre	40	8	32	32	126	16	17	1.05	1033	8	32	32	126	16	17	1.06	1043	8	32	32	134	13	19	1.44	1030
	Diciembre	4	8	-4	4	130	14	12	0.87	16	8	-4	4	130	14	13	0.88	16	9	-5	5	139	13	14	1.15	23
2015	Enero	0	8	-8	8	138	14	4	0.31	66	8	-8	8	138	14	5	0.33	66	9	-9	9	147	12	6	0.46	78
	Febrero	0	8	-8	8	146	13	-4	-0.29	66	8	-8	8	146	13	-4	-0.27	66	8	-8	8	156	12	-3	-0.24	71
	Marzo	0	8	-8	8	154	13	-12	-0.93	66	8	-8	8	154	13	-12	-0.92	66	8	-8	8	164	12	-11	-0.93	65
	Abril	44	8	36	36	190	15	24	1.64	1285	8	36	36	190	15	24	1.65	1285	8	36	36	200	13	25	1.90	1315
	Mayo	0	8	-8	8	198	14	16	1.15	59	8	-8	8	198	14	16	1.16	59	9	-9	9	209	13	17	1.27	76
	Junio	0	8	-8	8	205	14	8	0.62	59	8	-8	8	205	14	9	0.63	59	8	-8	8	217	13	8	0.65	69
	Julio	0	8	-8	8	213	13	1	0.06	59	8	-8	8	213	13	1	0.07	59	8	-8	8	225	13	0	0.03	64
	Agosto	6	8	-2	2	215	13	-1	-0.07	3	8	-2	2	215	13	-1	-0.06	3	8	-2	2	227	12	-1	-0.11	3
	Septiembre	8	7	1	1	215	12	0	-0.02	0	7	1	1	216	12	0	0.00	1	8	0	0	227	11	-1	-0.10	0
	Octubre	0	7	-7	7	223	12	-8	-0.65	55	7	-7	7	223	12	-7	-0.63	55	8	-8	8	235	11	-9	-0.82	64
	Noviembre	0	7	-7	7	230	12	-15	-1.31	55	7	-7	7	230	12	-15	-1.28	55	8	-8	8	243	11	-17	-1.53	59
	Diciembre	0	7	-7	7	238	11	-23	-1.99	55	7	-7	7	238	11	-22	-1.96	55	7	-7	7	250	11	-24	-2.22	54
2016	Enero	32	7	25	25	262	12	2	0.17	603	7	25	25	262	12	2	0.20	605	7	25	25	275	11	1	0.07	624
	Febrero	6	7	-1	1	263	11	1	0.08	1	7	-1	1	263	11	1	0.12	1	8	-2	2	277	11	-1	-0.09	3
	Marzo	0	7	-7	7	271	11	-6	-0.56	52	7	-7	7	271	11	-6	-0.52	52	8	-8	8	285	11	-9	-0.81	63
	Abril	8	7	1	1	271	11	-6	-0.51	1	7	1	1	271	11	-5	-0.47	1	8	0	0	285	11	-8	-0.80	0
	Mayo	0	7	-7	7	279	11	-13	-1.19	52	7	-7	7	279	11	-12	-1.14	52	8	-8	8	293	10	-16	-1.55	61
	Junio	0	7	-7	7	286	11	-20	-1.88	52	7	-7	7	286	11	-19	-1.84	52	7	-7	7	300	10	-24	-2.29	56
	Julio	0	7	-7	7	293	10	-27	-2.59	52	7	-7	7	293	10	-27	-2.54	52	7	-7	7	307	10	-31	-3.01	51
	Agosto	0	7	-7	7	300	10	-34	-3.32	52	7	-7	7	300	10	-34	-3.27	52	7	-7	7	314	10	-38	-3.71	47
	Septiembre	0	7	-7	7	307	10	-42	-4.06	52	7	-7	7	307	10	-41	-4.00	52	7	-7	7	321	10	-44	-4.41	43
	Octubre	0	7	-7	7	315	10	-49	-4.80	52	7	-7	7	315	10	-48	-4.75	52	6	-6	6	327	10	-50	-5.09	39
	Noviembre	24	7	17	17	331	10	-32	-3.09	282	7	17	17	331	10	-31	-3.03	283	6	18	18	345	10	-32	-3.19	325
	Diciembre	12	6	6	6	337	10	-26	-2.59	31	6	6	6	337	10	-26	-2.52	32	7	5	5	351	10	-27	-2.69	30
			DAM 10.21				ECM 187.03				DAM 10.22				ECM 187.35				DAM 10.02				ECM 185.32			

Tabla B.6 Artículo 6

Año	Mes	Demanda real	Croston								SBA								TSB																						
			Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM															
2014	Enero	0																																							
	Febrero	1068																																							
	Marzo	0	544	-544	544	544	544	-544	-1.00	295669	516	-516	516	516	516	-516	-1.00	265975	476	-476	476	1075	537	122	0.23	226712															
	Abril	611	544	67	67	611	306	-477	-1.56	4522	516	95	95	611	306	-420	-1.38	9077	471	140	140	1215	405	262	0.65	19625															
	Mayo	276	516	-240	240	851	284	-716	-2.53	57469	490	-214	214	825	275	-635	-2.31	45895	460	-184	184	1398	350	79	0.23	33680															
	Junio	0	486	-486	486	1337	334	-1202	-3.60	236276	479	-479	479	1304	326	-1114	-3.42	229360	436	-436	436	1834	367	-357	-0.97	189952															
	Julio	0	486	-486	486	1823	365	-1688	-4.63	236276	479	-479	479	1783	357	-1593	-4.47	229360	431	-431	431	2265	378	-788	-2.09	185802															
	Agosto	0	486	-486	486	2309	385	-2174	-5.65	236276	479	-479	479	2262	377	-2071	-5.49	229360	426	-426	426	2691	384	-1214	-3.16	181742															
	Septiembre	0	486	-486	486	2795	399	-2661	-6.66	236276	479	-479	479	2741	392	-2550	-6.51	229360	422	-422	422	3113	389	-1636	-4.20	177771															
	Octubre	3190	486	2704	2704	5499	687	43	0.06	7311168	479	2711	2711	5452	681	161	0.24	7349980	417	2773	2773	5886	654	1137	1.74	7689541															
	Noviembre	528	533	-5	5	5504	612	39	0.06	22	503	25	25	5477	609	186	0.31	644	509	19	19	5905	590	1156	1.96	359															
	Diciembre	352	511	-159	159	5663	566	-120	-0.21	25240	505	-153	153	5630	563	33	0.06	23403	492	-140	140	6044	549	1016	1.85	19467															
2015	Enero	0	485	-485	485	6147	559	-605	-1.08	234757	498	-498	498	6128	557	-465	-0.83	247768	468	-468	468	6513	543	548	1.01	219438															
	Febrero	0	485	-485	485	6632	553	-1089	-1.97	234757	498	-498	498	6626	552	-962	-1.74	247768	463	-463	463	6976	537	85	0.16	214644															
	Marzo	1584	485	1099	1099	7731	595	10	0.02	1208862	498	1086	1086	7712	593	124	0.21	1179911	458	1126	1126	8102	579	1210	2.09	1267409															
	Abril	0	491	-491	491	8222	587	-481	-0.82	241229	495	-495	495	8207	586	-372	-0.63	245370	486	-486	486	8588	573	724	1.27	236317															
	Mayo	445	491	-46	46	8268	551	-527	-0.96	2130	495	-50	50	8258	551	-422	-0.77	2535	481	-36	36	8624	539	689	1.28	1280															
	Junio	265	462	-197	197	8466	529	-724	-1.37	38875	465	-200	200	8458	529	-622	-1.18	40117	462	-197	197	8821	519	491	0.95	38875															
	Julio	0	436	-436	436	8902	524	-1161	-2.22	190479	455	-455	455	8914	524	-1078	-2.06	207428	438	-438	438	9259	514	54	0.10	191706															
	Agosto	0	436	-436	436	9338	519	-1597	-3.08	190479	455	-455	455	9369	520	-1533	-2.95	207428	433	-433	433	9692	510	-379	-0.74	187517															
	Septiembre	0	436	-436	436	9775	514	-2034	-3.95	190479	455	-455	455	9824	517	-1988	-3.85	207428	428	-428	428	10120	506	-808	-1.60	183420															
	Octubre	0	436	-436	436	10211	511	-2470	-4.84	190479	455	-455	455	10280	514	-2444	-4.75	207428	424	-424	424	10544	502	-1231	-2.45	179412															
	Noviembre	0	436	-436	436	10648	507	-2906	-5.73	190479	455	-455	455	10735	511	-2899	-5.67	207428	419	-419	419	10963	498	-1650	-3.31	175492															
	Diciembre	0	436	-436	436	11084	504	-3343	-6.63	190479	455	-455	455	11191	509	-3355	-6.60	207428	414	-414	414	11377	495	-2065	-4.17	171658															
2016	Enero	220	436	-216	216	11301	491	-3559	-7.24	46846	455	-235	235	11426	497	-3590	-7.23	55433	410	-190	190	11567	482	-2254	-4.68	36011															
	Febrero	1540	371	1169	1169	12469	520	-2391	-4.60	1365987	319	1221	1221	12647	527	-2369	-4.50	1490596	388	1152	1152	12719	509	-1102	-2.17	1327902															
	Marzo	0	400	-400	400	12870	515	-2791	-5.42	160220	373	-373	373	13020	521	-2743	-5.27	139350	418	-418	418	13137	505	-1520	-3.01	174775															
	Abril	2420	400	2020	2020	14889	573	-771	-1.35	4079291	373	2047	2047	15067	580	-696	-1.20	4188996	413	2007	2007	15144	561	487	0.87	4026167															
	Mayo	0	455	-455	455	15344	568	-1226	-2.16	206939	446	-446	446	15513	575	-1142	-1.99	198886	476	-476	476	15620	558	10	0.02	226708															
	Junio	880	455	425	425	15769	563	-801	-1.42	180705	446	434	434	15947	570	-708	-1.24	188385	471	409	409	16029	553	419	0.76	167356															
	Julio	572	446	126	126	15895	548	-675	-1.23	15847	443	129	129	16076	554	-579	-1.05	16523	470	102	102	16131	538	522	0.97	10446															
	Agosto	924	434	490	490	16385	546	-185	-0.34	240208	451	473	473	16549	552	-106	-0.19	224001	457	467	467	16598	535	989	1.85	218112															
	Septiembre	0	437	-437	437	16823	543	-622	-1.15	191406	476	-476	476	17025	549	-582	-1.06	226494	459	-459	459	17058	533	529	0.99	210969															
	Octubre	0	437	-437	437	17260	539	-1060	-1.97	191406	476	-476	476	17501	547	-1058	-1.93	226494	454	-454	454	17512	531	75	0.14	206360															
	Noviembre	528	437	91	91	17351	526	-969	-1.84	8190	476	52	52	17553	532	-1006	-1.89	2713	449	79	79	17590	517	154	0.30	6197															
	Diciembre	0	410	-410	410	17761	522	-1379	-2.64	167872	426	-426	426	17979	529	-1432	-2.71	181310	436	-436	436	18027	515	-282	-0.55	190377															
			DAM	522.37	ECM								546988.19				DAM	528.78	ECM								557636.15				DAM	515.05	ECM								541466.23

Tabla B.7 Artículo 7

Año	Mes	Demanda real	Croston							SBA							TSB												
			Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM	Pronóstico	e	e	Σ e	DAM	Σe	SR	ECM			
2014	Enero	2105																											
	Febrero	7045	2315	4730	4730	4730	4730	4730	1.00	22373712	2239	4806	4806	4806	4806	4806	1.00	23095907	2314	4731	4731	4731	4731	4731	1.00	22385233			
	Marzo	2110	2778	-668	668	5398	2699	4062	1.51	445734	2714	-604	604	5410	2705	4202	1.55	364589	2736	-626	626	5357	2678	4106	1.53	391490			
	Abril	2820	2712	108	108	5505	1835	4170	2.27	11594	2644	176	176	5586	1862	4378	2.35	31023	2680	140	140	5497	1832	4246	2.32	19632			
	Mayo	4930	2723	2207	2207	7713	1928	6377	3.31	4871485	2652	2278	2278	7863	1966	6656	3.39	5187271	2692	2238	2238	7735	1934	6483	3.35	5006935			
	Junio	0	2939	-2939	2939	10651	2130	3439	1.61	8636364	2872	-2872	2872	10735	2147	3784	1.76	8247816	2892	-2892	2892	10627	2125	3591	1.69	8363431			
	Julio	4945	2939	2006	2006	12658	2110	5445	2.58	4024963	2872	2073	2073	12808	2135	5857	2.74	4297739	2745	2200	2200	12827	2138	5791	2.71	4839213			
	Agosto	0	2925	-2925	2925	15583	2226	2519	1.13	8557981	2879	-2879	2879	15687	2241	2978	1.33	8289649	2927	-2927	2927	15753	2250	2864	1.27	8566870			
	Septiembre	0	2925	-2925	2925	18508	2314	-406	-0.18	8557981	2879	-2879	2879	18567	2321	99	0.04	8289649	2778	-2778	2778	18532	2316	86	0.04	7719319			
	Octubre	16305	2925	13380	13380	31888	3543	12974	3.66	179013624	2879	13426	13426	31992	3555	13524	3.80	180252773	2637	13668	13668	32199	3578	13754	3.84	186804631			
	Noviembre	4205.01	3656	549	549	32437	3244	13522	4.17	301216	3673	532	532	32524	3252	14056	4.32	282701	3680	525	525	32724	3272	14278	4.36	275500			
	Diciembre	0	3684	-3684	3684	36121	3284	9838	3.00	13574152	3685	-3685	3685	36209	3292	10371	3.15	13579932	3705	-3705	3705	36430	3312	10573	3.19	13730118			
2015	Enero	0	3684	-3684	3684	39805	3317	6154	1.86	13574152	3685	-3685	3685	39894	3325	6686	2.01	13579932	3517	-3517	3517	39947	3329	7056	2.12	12371750			
	Febrero	0	3684	-3684	3684	43490	3345	2469	0.74	13574152	3685	-3685	3685	43579	3352	3001	0.90	13579932	3339	-3339	3339	43286	3330	3717	1.12	11147769			
	Marzo	3075	3684	-609	609	44099	3150	1860	0.59	371261	3685	-610	610	44190	3156	2391	0.76	372217	3169	-94	94	43380	3099	3622	1.17	8905			
	Abril	3495	3061	434	434	44533	2969	2294	0.77	188592	3077	418	418	44607	2974	2809	0.94	174653	3145	350	350	43731	2915	3973	1.36	122705			
	Mayo	0	3069	-3069	3069	47602	2975	-774	-0.26	9416379	3069	-3069	3069	47676	2980	-260	-0.09	9417365	3151	-3151	3151	46881	2930	822	0.28	9927398			
	Junio	4200	3069	1131	1131	48733	2867	357	0.12	1280039	3069	1131	1131	48807	2871	871	0.30	1279676	2991	1209	1209	48090	2829	2031	0.72	1462019			
	Julio	0	2970	-2970	2970	51704	2872	-2613	-0.91	8823428	2968	-2968	2968	51775	2876	-2097	-0.73	8807837	3054	-3054	3054	51144	2841	-1023	-0.36	9326885			
	Agosto	0	2970	-2970	2970	54674	2878	-5584	-1.94	8823428	2968	-2968	2968	54743	2881	-5065	-1.76	8807837	2899	-2899	2899	54043	2844	-3922	-1.38	8404144			
	Septiembre	0	2970	-2970	2970	57645	2882	-8554	-2.97	8823428	2968	-2968	2968	57711	2886	-8032	-2.78	8807837	2752	-2752	2752	56795	2840	-6674	-2.35	7572692			
	Octubre	0	2970	-2970	2970	60615	2886	-11525	-3.99	8823428	2968	-2968	2968	60679	2889	-11000	-3.81	8807837	2612	-2612	2612	59408	2829	-9286	-3.28	6823499			
	Noviembre	0	2970	-2970	2970	63585	2890	-14495	-5.02	8823428	2968	-2968	2968	63646	2893	-13968	-4.83	8807837	2480	-2480	2480	61887	2813	-11765	-4.18	6148427			
	Diciembre	2343.75	2970	-627	627	64212	2792	-15122	-5.42	392722	2968	-624	624	64271	2794	-14592	-5.22	389439	2354	-10	10	61897	2691	-11775	-4.38	100			
2016	Enero	3516	2306	1210	1210	65422	2726	-13911	-5.10	1464880	2318	1198	1198	65468	2728	-13394	-4.91	1434568	2349	1167	1167	63064	2628	-10609	-4.04	1361828			
	Febrero	0	2349	-2349	2349	67772	2711	-16261	-6.00	5519245	2350	-2350	2350	67818	2713	-15744	-5.80	5521555	2406	-2406	2406	65471	2619	-13015	-4.97	5791028			
	Marzo	0	2349	-2349	2349	70121	2697	-18610	-6.90	5519245	2350	-2350	2350	70168	2699	-18094	-6.70	5521555	2284	-2284	2284	67755	2606	-15299	-5.87	5218101			
	Abril	4998	2349	2649	2649	72770	2695	-15961	-5.92	7015572	2350	2648	2648	72816	2697	-15446	-5.73	7012969	2168	2830	2830	70584	2614	-12470	-4.77	8006770			
	Mayo	0	2282	-2282	2282	75052	2680	-18243	-6.81	5207695	2286	-2286	2286	75102	2682	-17732	-6.61	5225425	2313	-2313	2313	72897	2603	-14783	-5.68	5349388			
	Junio	3530	2282	1248	1248	76300	2631	-16995	-6.46	1557410	2286	1244	1244	76346	2633	-16487	-6.26	1547738	2195	1335	1335	74232	2560	-13448	-5.25	1780930			
	Julio	0	2233	-2233	2233	78533	2618	-19228	-7.35	4986304	2230	-2230	2230	78576	2619	-18718	-7.15	4973776	2263	-2263	2263	76495	2550	-15711	-6.16	5121663			
	Agosto	2824	2233	591	591	79124	2552	-18637	-7.30	349277	2230	594	594	79170	2554	-18124	-7.10	352603	2148	676	676	77171	2489	-15035	-6.04	456644			
	Septiembre	0	2151	-2151	2151	81275	2540	-20788	-8.18	4626332	2140	-2140	2140	81310	2541	-20264	-7.98	4581185	2183	-2183	2183	79354	2480	-17218	-6.94	4764914			
	Octubre	0	2151	-2151	2151	83426	2607	-22939	-8.80	4626332	2140	-2140	2140	83451	2529	-22405	-8.86	4581185	2072	-2072	2072	81426	2467	-19290	-7.82	4293505			
	Noviembre	8218.5	2151	6068	6068	89493	2712	-16871	-6.22	36815879	2140	6078	6078	89529	2633	-16327	-6.20	36943660	1967	6252	6252	87677	2579	-13039	-5.06	39082383			
	Diciembre	3805	2277	1528	1528	91021	2677	-15344	-5.73	2334317	2279	1526	1526	91055	2602	-14801	-5.69	2328386	2271	1534	1534	89211	2549	-11505	-4.51	2353581			
			DAM	2600.60				ECM	11808735.31				DAM	2601.57				ECM	11850744.43				DAM	2548.90				ECM	11857125.70