

Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Sistema de gestión de inventarios con demanda
intermitente. Un análisis experimental.

Autor: Melanie Franco Ortega

Tutor: Pedro Luis González Rodríguez

**Dpto. Organización Industrial y
Gestión de Empresas I**

**Escuela Técnica Superior de
Ingeniería**

Sevilla, 2023



Trabajo de Fin de Carrera
Ingeniería en Organización Industrial

Sistema de gestión de inventarios con demanda intermitente. Un análisis experimental.

Autor:

Melanie Franco Ortega

Tutor:

Pedro Luis González Rodríguez

Catedrático de Universidad

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Proyecto Fin de Carrera: Sistema de gestión de inventarios con demanda intermitente. Un análisis experimental.

Autor: Melanie Franco Ortega

Tutor: Pedro Luis González Rodríguez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal

A mi familia
A mis profesores

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mi familia, sobre todo a mis padres y a mis hermanos, por el apoyo incondicional que me han dado en todo momento y confiar en mí más que yo misma. Sois mi mayor suerte, no olvidéis que sin vosotros esto no habría sido posible.

A mis amigas, compañeras de piso y de vida, quienes bien conocen que esto no ha sido fácil, por no haberme dejado rendirme a lo largo de estos cuatro años.

A mis compañeras de clase, que después de estos años se han convertido en un gran apoyo para mí, gracias por motivarme y acabar juntas lo que empezamos. Estoy segura de que llegaremos lejos.

Por supuesto, la realización de este proyecto no habría sido posible sin mi tutor Pedro Luis, quien me ha brindado todas las herramientas y conocimientos necesarios y, además, me ha contagiado la curiosidad e interés en la rama de la Organización Industrial.

Gracias a todos vosotros he podido lograr mi objetivo. Os estaré eternamente agradecida.

Melanie Franco Ortega

Sevilla, 2023

Resumen

En este proyecto se aborda el desarrollo de un sistema de gestión de inventarios para demanda intermitente y variable. Debido a que no existe un único tipo de demanda, se ha clasificado teniendo en cuenta parámetros como el coeficiente de variación y el intervalo medio entre demandas, obteniendo así 4 tipos de demanda: suave, intermitente, errática y grumosa. Para cada tipo, se estudia cuál es el sistema de previsión más adecuado teniendo en cuenta ciertas medidas de error y rendimiento.

Para entender todo esto con mayor claridad, a lo largo del proyecto, se explican las características de los diferentes tipos de demanda, los métodos de previsión que se van a utilizar junto con su formulación y parámetros, y cuáles son las medidas de error y rendimiento que nos ayudarán a encontrar el método de previsión mejor para cada tipo de demanda.

A continuación, se ha realizado la implementación en EXCEL y, utilizando el SOLVER, ha sido posible realizar una optimización de algunas de las medidas anteriormente explicadas variando ciertos parámetros, consiguiendo de esta forma unos mejores resultados. Tras esto, se ha hecho una comparación de los resultados obtenidos con los diferentes métodos de previsión y se ha podido llegar a ciertas conclusiones, las cuáles han hecho conocer el método de previsión más adecuado para cada tipo de demanda.

Abstract

This project addresses the development of an inventory management system for intermittent and variable demand. Because there is no single type of demand, it has been classified taking into account parameters such as the coefficient of variation and the mean interval between demands, thus obtaining 4 types of demand: soft, intermittent, erratic and lumpy. For each type, the most suitable forecasting system is studied taking into account certain error and performance measures.

To understand all this more clearly, throughout the project, the characteristics of the different types of demand are explained, the forecasting methods to be used along with their formulation and parameters and what are the error and performance measures that will help us find the best forecasting method for each type of demand.

Then, the implementation has been done in EXCEL and using SOLVER, it has been possible to optimize some of the measures explained above by varying certain parameters, thus achieving better results. After this, the results obtained were compared with the different forecasting methods and certain conclusions were reached, which made known the most appropriate forecasting method for each type of demand.

Índice

1 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	5
JUSTIFICACIÓN	5
OBJETIVO	6
ESTRUCTURA DEL TRABAJO	9
2 TIPOS DE DEMANDA	10
2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE DEMANDA	10
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA IRREGULAR	13
3 SISTEMAS DE PREVISIÓN	19
4 SISTEMAS DE PREVISIÓN COMO SISTEMA DE INVENTARIOS	27
5 ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE PREVISIÓN	32
5.1 GENERACIÓN DE DATOS	32
5.2 MEDIDAS DEL RENDIMIENTO	33
5.3 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES	35
DEMANDA SUAVE	36
DEMANDA INTERMITENTE	39
DEMANDA ERRÁTICA	43
DEMANDA GRUMOSA	46
6 CONCLUSIONES	50
ANEXO 1. Implementación en EXCEL	56

ANEXO 2. Resultados	78
REFERENCIAS	92

Índice de Tablas

Tabla 1. Tabla resumen de resultados. Fuente: Elaboración propia.	50
Tabla 2. Diferencia porcentual. Demanda suave. Fuente: Elaboración propia.	51
Tabla 3. Diferencia porcentual. Demanda intermitente. Fuente: Elaboración propia.	52
Tabla 4. Diferencia porcentual. Demanda errática. Fuente: Elaboración propia.	52
Tabla 5. Diferencia porcentual. Demanda grumosa. Fuente: Elaboración propia.	53
Tabla 6. Tabla resumen de resultados. Fuente: Elaboración propia.	54

Índice de Figuras

Ilustración 1. Demanda decreciente. Fuente: Las movies del commerce, 11 de marzo 2016.	11
Ilustración 2. Demanda continua. Fuente: Las movies del commerce, 2016.	11
Ilustración 3. Demanda estacional. Fuente: Las movies del commerce, 2016.	11
Ilustración 4. Demanda plena. Fuente: Las movies del commerce, 2016.	12
Ilustración 5. Demanda irregular. Fuente: Las movies del commerce, 2016.	12
Ilustración 6. Cuadro de clasificación de la demanda. Fuente: Syntetos <i>et al.</i>	14
Ilustración 7. Demanda suave. Fuente: Kaya et al., 2020.	14
Ilustración 8. Demanda intermitente. Fuente: Kaya et al., 2020.	14
Ilustración 9. Demanda errática. Fuente: Kaya et al., 2020.	15
Ilustración 10. Demanda ‘lumpy’. Fuente: Kaya et al., 2020.	15

Ilustración 11. Inventario medio. Demanda suave. Fuente: Elaboración propia.	36
Ilustración 12. Rotura de stock. Demanda suave. Fuente: Elaboración propia.	37
Ilustración 13. MAD. Demanda suave. Fuente: Elaboración propia.	37
Ilustración 14. ECM. Demanda suave. Fuente: Elaboración propia.	38
Ilustración 15. MAPE'. Demanda suave. Fuente: Elaboración propia.	39
Ilustración 16. Inventario promedio. Demanda intermitente. Fuente: Elaboración propia.	40
Ilustración 17. Rotura de stock. Demanda intermitente. Fuente: Elaboración propia.	40
Ilustración 18. MAD. Demanda intermitente. Fuente: Elaboración propia.	41
Ilustración 19. ECM. Demanda intermitente. Fuente: Elaboración propia.	42
Ilustración 20. MAPE'. Demanda intermitente. Fuente: Elaboración propia.	42
Ilustración 21. Inventario promedio. Demanda errática. Fuente: Elaboración propia.	43
Ilustración 22. Rotura de stock. Demanda errática. Fuente: Elaboración propia.	44
Ilustración 23. MAD. Demanda errática. Fuente: Elaboración propia.	44
Ilustración 24. ECM. Demanda errática. Fuente: Elaboración propia.	45
Ilustración 25. MAPE'. Demanda errática. Fuente: Elaboración propia.	46
Ilustración 26. Inventario promedio. Demanda gruesa. Fuente: Elaboración propia.	46
Ilustración 27. Rotura de stock. Demanda gruesa. Fuente: Elaboración propia.	47
Ilustración 28. MAD. Demanda gruesa. Fuente: Elaboración propia.	48
Ilustración 29. ECM. Demanda gruesa. Fuente: Elaboración propia.	48
Ilustración 30. MAPE'. Demanda gruesa. Fuente: Elaboración propia.	49

1 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

JUSTIFICACIÓN

Hoy en día, existe una gran variedad de sistemas de gestión para entornos con demanda estable, es decir, donde las fluctuaciones de la demanda no son muy importantes. En dicho entorno, las decisiones de compra y producción son adecuadas, ya que los métodos de previsión funcionan bien. En este tipo de entornos estarían empresas dedicadas a satisfacer necesidades clave de sus clientes de forma habitual y con una gran experiencia en el mercado. Se corresponden habitualmente con entornos de producción contra stock, en los que tanto para productos de demanda constante, o con ligera tendencia, o bien incluso estacionales, los métodos clásicos de previsión de la demanda parecen adecuados. Sin embargo, existe otro tipo de entornos en los que gran parte de los productos que se consumen, presentan una demanda muy variable, denominada generalmente como intermitente, en la que existen periodos cuya demanda puede llegar a ser cero. Para este tipo de demanda, no es posible usar los sistemas de gestión empleados para la previsión de la demanda suave, ya que son muy restrictivos y predicen un pronóstico muy distinto a la demanda real. Encontramos este tipo de contextos por ejemplo en empresas dedicadas a la producción de piezas de repuesto, donde la demanda se produce de forma irregular, en cantidades distintas y en periodos irregulares.

Debido a la dificultad de estimar este tipo de demanda, a estas empresas se les presenta el problema de no acertar con el pronóstico que hicieron inicialmente. En muchas ocasiones, esto deriva a la toma de decisiones erróneas que pueden provocar grandes consecuencias en la satisfacción de sus clientes, la gestión de la cadena de suministro o la rentabilidad de la propia empresa. Por ello, se puede concluir que

la estimación de la demanda es muy beneficiosa para distintas áreas de negocio de una empresa, algunas de estas son:

- Área comercial (ventas): Se pueden hacer proyecciones de ventas y poder realizar así una correcta gestión de stock.
- Estrategia empresarial: Se adaptan las directrices de negocio para llevar a cabo estrategias departamentales y globales y tomar ventaja de los competidores.
- Control de costes: Se controlan costes de producción ya que al conocer una previsión de la demanda y, en consecuencia, una previsión de las ventas, se pueden aprovechar ofertas con antelación, lo que derivaría en una disminución de los costes de producción.

En mi opinión, desarrollar un sistema de gestión de inventarios para demanda intermitente, podría ayudar a una gran multitud de empresas a solucionar sus problemas desencadenados por una mala previsión de la demanda. Hoy en día, ya se han hecho comparaciones de estos sistemas como sistemas de previsión, pero no como sistemas gestión de inventarios. Para ello se utilizarán medidas para la gestión de inventarios aparte de las propias medidas de error que se suelen emplear en previsión de la demanda.

Además, la dificultad e importancia de hacer este pronóstico correctamente, ha hecho despertar en mí un cierto interés y curiosidad por investigar cómo se podría solucionar este problema y adentrarme más en esta rama de la Ingeniería de Organización Industrial.

OBJETIVO

El objetivo general de este trabajo consiste en establecer un sistema de gestión de inventarios que sea útil para los distintos tipos de demanda intermitente y variable que existen en las empresas con demanda no estable, de manera que sea posible determinar cuándo se debe realizar un pedido y de qué

tamaño tiene que ser este, para así cumplir con las restricciones de servicio al cliente, de coste y de inventario medio (Babiloni Griñón & Cardós Carboneras, 2009). Un sistema de gestión de inventarios en una empresa es una herramienta que registra los bienes existentes en toda la cadena de suministro, desde el nivel de producción hasta el comercio minorista, el almacén y los procesos logísticos. Este control del inventario ayuda a una correcta localización de los productos en el momento preciso, evitando así quiebres en el stock. Para ello, se estudiarán distintos métodos de previsión y se analizarán los resultados exhaustivamente para cada tipo de demanda, viendo así cuál de ellos es el más conveniente dependiendo del tipo de demanda que presente la empresa. De esta forma, se creará un sistema de previsión para cada tipo de demanda que permitirá a su vez crear un sistema de gestión de inventarios utilizando determinadas variables que ayudarán a encontrar el inventario de productos más cercano a lo que se da en la realidad.

Este objetivo principal se puede dividir en los siguientes objetivos específicos:

- **Objetivo específico 1: Caracterizar los tipos de demanda.**

En el mercado existen diferentes tipos de demanda y como primer objetivo será necesario identificar y definir cada uno de ellos. Todos estos tipos de demanda suelen englobarse bajo el nombre de ‘demanda intermitente’ siendo los diferentes tipos: demanda suave, demanda errática, demanda intermitente y demanda ‘lumpy’ o grumosa.

- **Objetivo específico 2: Conocer los sistemas de previsión y estudiar las diferencias.**

Para la previsión de los diferentes tipos de demanda, se estudiarán diferentes métodos los cuales se mencionan a continuación:

- Método de alisamiento exponencial simple (Brown & Meyer, 1961)
- Método de Croston (Croston, 1970)

- Método de Syntetos y Boylan (Syntetos & Boylan, 2005)
- Método de Shale-Boylan-Johnson (René Santa Cruz & Corrêa, 2017)
- Método de Teunter (Teunter et al., 2011a)

Se analizará el pronóstico proporcionado por cada uno de estos métodos para los distintos tipos de demanda, con el objetivo posterior de hallar el mejor método para cada tipo.

- **Objetivo específico 3: Los sistemas de previsión como sistemas de inventarios.**

Con este objetivo lo que se quiere abordar es explicar y hacer entender cómo se utilizará un sistema de previsión de la demanda como sistema de gestión de inventarios. Para analizar el funcionamiento de este tipo de sistema de gestión de inventarios se emplearán medidas de rendimiento típicas en este tipo de contextos, entre las que podrían estar: el inventario medio, máximo y mínimo, o el porcentaje de roturas de stock, entre otros.

- **Objetivo específico 4: Analizar los sistemas de previsión para la gestión de inventarios.**

Con este objetivo se pretende diseñar una batería experimental que muestre los resultados comparables entre diferentes sistemas de previsión, previamente definidos, en el tratamiento de la gestión de inventarios con demanda intermitente. Además de las medidas típicas en la gestión de inventarios se emplearán medidas del rendimiento o ajuste de los sistemas de previsión de la demanda, por ejemplo: el error absoluto, error medio absoluto, error cuadrático medio, entre otros.

- **Objetivo específico 5: Extraer conclusiones a nivel práctico.**

Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, se obtendrán cuáles son los mejores pronósticos según el tipo de demanda y el método escogido. El objetivo específico trata de analizar estos resultados y concluir qué método es el mejor dependiendo del tipo de demanda.

ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Este Trabajo de Fin de Grado consta de cinco capítulos principales más un anexo. En este primer capítulo, se ha justificado el porqué de la realización de este proyecto, además de cuáles son los objetivos que se quieren conseguir. Asimismo, se han especificado los objetivos de cada uno de los capítulos de este trabajo. Más adelante, estos objetivos se desarrollarán en los capítulos correspondientes.

En el siguiente capítulo, se caracterizarán los distintos tipos de demanda existentes, destacando aquellos que pertenecen al grupo de demanda intermitente y explicándolos con mayor profundidad, ya que serán estos para los que se quiera desarrollar un sistema de gestión de inventarios.

En el tercer capítulo, se explicarán cuáles serán los sistemas de previsión de demanda que van a utilizarse. Posteriormente, se describirán cuáles son las características que diferencian unos sistemas de otros.

En el cuarto capítulo, se explicará la utilización de un Sistema de Previsión de la Demanda como Sistema de gestión de Inventarios para hallar un pronóstico de inventario lo más exacto.

En el quinto capítulo, se llevará cabo el análisis de los sistemas de previsión de la demanda para la gestión de inventarios. Se explicará, detalladamente, la implementación en EXCEL para cada caso.

En el sexto capítulo, se extraerán las conclusiones a nivel práctico a partir de todos los resultados obtenidos, provenientes de los capítulos anteriores, y se explicarán detalladamente cada una de estas.

Por último, también se incluirá un anexo en el que se pondrán las implementaciones en EXCEL de los diferentes sistemas de previsión para cada tipo de demanda y otro anexo para mostrar los resultados óptimos.

2 TIPOS DE DEMANDA

2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE DEMANDA

El conocimiento del tipo de demanda de cada producto es muy importante a la hora de hacer un pronóstico de la demanda, ya que ayuda a hacer una previsión más realista, pudiendo así la empresa planificar sus operaciones, ventas y cumplimiento de los objetivos. En este capítulo, se va a explicar cuáles son los diferentes tipos de demanda que existen actualmente, dependiendo de la aceptación del producto en el mercado (Santesmases, 2007):

- Demanda Negativa: Este tipo de demanda se caracteriza por tener una actitud de rechazo por parte de los clientes. Es la situación en la que a los consumidores les desagrada el producto y podrían pagar para evitarlo.
- Demanda Inexistente: Es aquella generada por productos sin interés para el mercado en un momento determinado y no se demanda. Se produce cuando los consumidores no son conscientes o no tienen interés en un producto.
- Demanda Latente: Se produce cuando hay un mercado potencial de un producto, pero el producto aún no existe, es decir, no hay un producto específico que satisfaga por completo la necesidad. Es la situación en la que los consumidores podrían compartir una necesidad fuerte que no puede ser satisfecha por un producto existente.
- Demanda Decreciente: Ocurre cuando el mercado demanda cada vez menos cantidad de un producto determinado, es decir, la demanda sufre un constante declive. Se produce en el momento en el que los consumidores compran el producto con menor frecuencia o dejan de

adquirirlo (véase Ilustración 1).

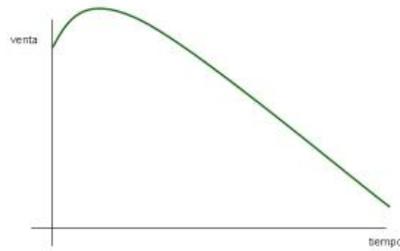


Ilustración 1. Demanda decreciente. Fuente: Las movies del commerce, 11 de marzo 2016.

Demanda Continua: Es generada cuando la demanda está en constante crecimiento durante largos períodos de tiempo. Es justo lo contrario a la demanda decreciente (véase Ilustración 2).

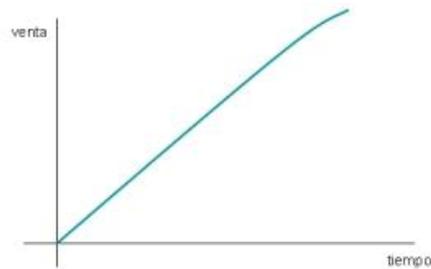


Ilustración 2. Demanda continua. Fuente: Las movies del commerce, 2016.

- Demanda Estacional: Aquella que depende de los periodos del año, bien sea por circunstancias climatológicas o comerciales (véase Ilustración 3).

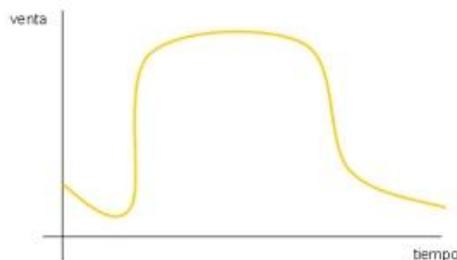


Ilustración 3. Demanda estacional. Fuente: Las movies del commerce, 2016.

- Demanda Plena: Es la demanda que se encuentra actualmente en un nivel deseable, donde los niveles de producción son proporcionales con las cantidades demandadas en el mercado. Es

la situación en la que los consumidores compran adecuadamente todos los productos que se colocan en el mercado (véase Ilustración 4).

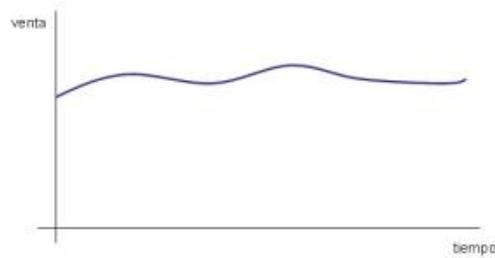


Ilustración 4. Demanda plena. Fuente: Las movies del commerce, 2016.

- Demanda excesiva: Se produce cuando el nivel de demanda es más alto de lo normal. Es la situación en la que existen más consumidores que quieran adquirir el producto que los que es posible satisfacer.
- Demanda irregular: Es aquella que sufre grandes fluctuaciones a lo largo del tiempo. Este tipo de demanda es, actualmente, la más difícil de estimar y en la que se va a centrar este documento para crear un sistema de gestión de inventarios adecuado a ella (véase Ilustración 5).

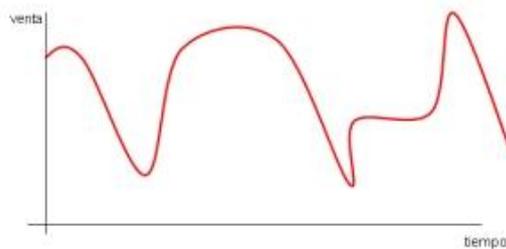


Ilustración 5. Demanda irregular. Fuente: Las movies del commerce, 2016.

2.2 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA IRREGULAR

Debido a que lo interesante de este análisis es encontrar sistemas de previsión como sistemas de gestión de inventarios para aquellas demandas de tipo irregular, la clasificación que se va a utilizar va a ser dependiendo de dos factores concretos: coeficiente de variación estadístico e intervalo medio entre demandas, como han hecho otros autores, ver (Kaya et al., 2020). Ambos pueden obtenerse de los datos históricos de demanda.

1. Coeficiente de variación estadístico (CV): Es una medida de dispersión que permite el análisis de las desviaciones de los datos con respecto a la media a la vez que las dispersiones de los datos entre sí. Se calcula como:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (1)$$

$\sigma =$ desviación estándar; $\mu =$ valor medio

2. Intervalo medio entre demandas (Average Demand Interval, ADI). Este intervalo se calcula de aquellos valores cuya demanda sea distinta de cero. Es una medida de intermitencia, es decir, cuánto más alto es, más intermitente es la serie.

$$ADI = \frac{N^{\circ} \text{ total de periodos}}{N^{\circ} \text{ periodos con demanda} \neq 0} \quad (2)$$

Teniendo en cuenta estos dos factores, Syntetos y Boylan (Syntetos & Boylan, 2005) hicieron la clasificación de la demanda utilizando unos valores de corte que definen un cambio en el tipo de comportamiento. El valor de corte del parámetro ADI es de 1'32, mientras que el del coeficiente de variación está en 0'49. Utilizando este razonamiento, la clasificación sería la siguiente (véase Ilustración 6) (Kaya et al., 2020):

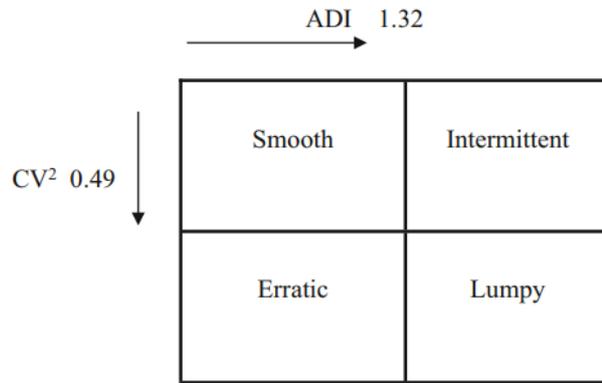


Ilustración 6. Cuadro de clasificación de la demanda. Fuente: Syntetos *et al.*

- Demanda suave ($CV < 0.49$ y $ADI < 1.32$): La demanda tiene baja variabilidad tanto en la magnitud como en el tiempo, por esta razón es la más fácil de estimar (véase Ilustración 7).

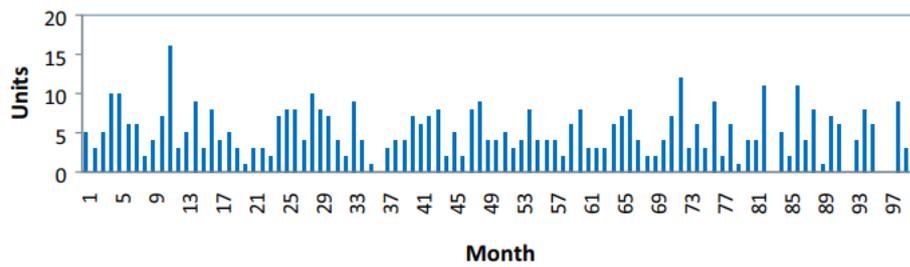


Ilustración 7. Demanda suave. Fuente: Kaya et al., 2020

- Demanda intermitente ($CV < 0.49$ y $ADI > 1.32$): Aquella cuya magnitud es relativamente constante, pero existen brechas grandes e irregulares entre los valores de demanda distintos de cero que dificultan la previsión (véase Ilustración 8).

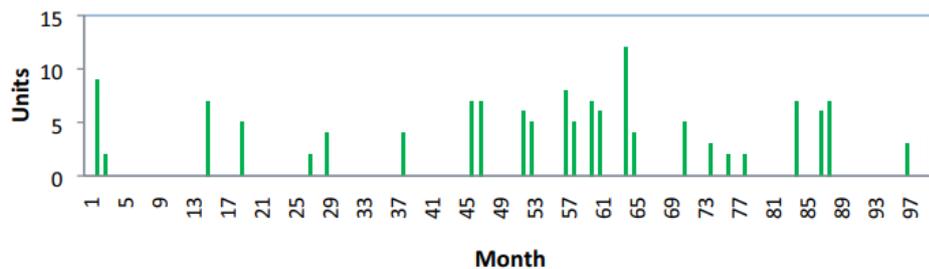


Ilustración 8. Demanda intermitente. Fuente: Kaya et al., 2020

- Demanda errática ($CV > 0,49$ y $ADI < 1,32$): No tiene muchas brechas, pero las magnitudes varían de manera significativa e irregular, lo que hace que el pronóstico sea más complicado de calcular (véase Ilustración 9).

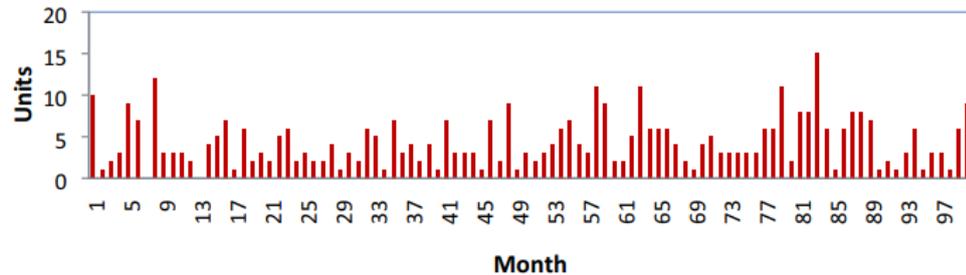


Ilustración 9. Demanda errática. Fuente: Kaya et al., 2020

- Demanda ‘lumpy’ o grumosa ($CV > 0,49$ y $ADI > 1,32$): Este tipo de demanda es intermitente y errática, simultáneamente. Tiene grandes brechas irregulares y cambios bruscos en la magnitud (véase Ilustración 10).

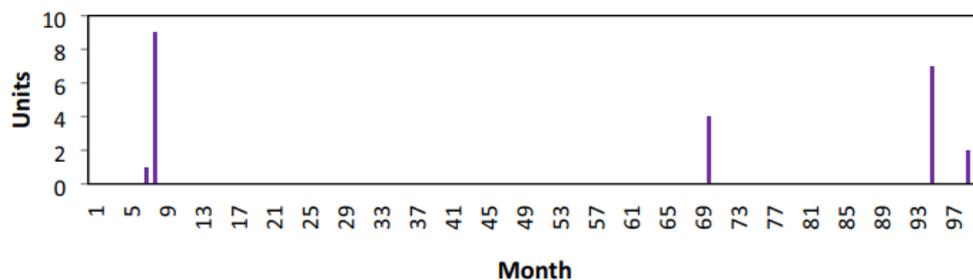


Ilustración 10. Demanda ‘lumpy’. Fuente: Kaya et al., 2020

Es recomendable utilizar varias medidas de error para evaluar la precisión de los pronósticos y tener en cuenta las fortalezas y limitaciones de cada una, por ello, además de las medidas descritas anteriormente, también se utilizarán las siguientes medidas de error nuevas y recomendadas para hacer este estudio sobre demanda intermitente (Deep & Shallow, 2016):

- Error de pronóstico acumulativo (CFE, CFE Min, CFE Max): Es la suma de todos los errores del pronóstico en los distintos periodos, de forma que negativos y positivos se

anulan entre sí. Esto influye directamente en la escasez y exceso de existencias de una cadena de suministro. Pero además del uso del error de pronóstico acumulativo (CFE), también resulta conveniente hacer uso del máximo y mínimo de este error, ya que esto evita perder algunos detalles cuando un CFE de cero ocurra por casualidad y en un horizonte amplio.

$$CFE = \sum_{i=1}^t (X_t - \widehat{X}_t) \quad (5)$$

$$CFE_{min} = \min_{t \in [1, 2, \dots, T]} CFE_t$$

$$CFE_{max} = \max_{t \in [1, 2, \dots, T]} CFE_t$$

- **Desviación absoluta media (MAD):** Es el promedio de las diferencias absolutas entre los valores pronosticados y los valores reales de la demanda. Cuanto menor sea el MAD, mejor será el pronóstico.

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^t |X_t - \widehat{X}_t|}{N^{\circ} \text{ períodos}} \quad (6)$$

- **Error cuadrático medio (ECM):** Es el promedio de los errores cuadrados entre los valores pronosticados y los valores reales de la demanda sobre un número de períodos definidos. Cuanto menor sea el ECM, mejor será el pronóstico.

$$ECM = \frac{\sum_{i=1}^t (X_t - \widehat{X}_t)^2}{N^{\circ} \text{ períodos}} \quad (7)$$

- **Desviación absoluta porcentual media (MAPE):** Es el promedio de los errores absolutos divididos por los valores reales de la demanda, multiplicado por 100 para obtener un porcentaje. Esta medida proporciona una perspectiva relativa del error en comparación con el nivel real de la demanda.

$$MAPE = \frac{100 * \sum_{i=1}^t \left| \frac{X_t - \widehat{X}_t}{X_t} \right|}{N^{\circ} \text{ periodos}} \quad (8)$$

Sin embargo, esta medida puede generar problemas si los valores reales son cercanos a cero o negativos.

Existe una modificación de esta medida llamada MAPE', la cual está referida al pronóstico y en lugar de dividir el promedio de los errores absolutos por los valores reales de la demanda, se divide por los valores del pronóstico.

$$MAPE' = \frac{100 * \sum_{i=1}^t \left| \frac{X_t - \widehat{X}_t}{\widehat{X}_t} \right|}{N^{\circ} \text{ periodos}} \quad (9)$$

- Porcentaje del número de escasez/desabastecimientos (NOSp): Se utiliza para el recuento de instancias en las que el error de pronóstico acumulativo es mayor que cero. De esta manera, un número muy alto o bajo indica sesgo en cualquier dirección.

$$NOSp = \frac{N^{\circ} \text{ periodos con } CFE \neq 0}{N^{\circ} \text{ periodos}} \quad (10)$$

- Períodos en stocks (PIS): Esta medida se utiliza para medir el número total de períodos que los artículos pronosticados han estado en stock o el número de períodos de desabastecimiento. Cuando el resultado es un número positivo indica que la demanda está sobre pronóstico, por el contrario, si el resultado es negativo va a indicar bajo pronóstico de la demanda.

$$PIS = - \sum_{i=1}^t CFE_i \quad (11)$$

En este punto, es importante destacar que la demanda intermitente se refiere a una situación en la que la demanda de un producto o servicio no sigue un patrón regular o predecible, sino que se

caracteriza por una variabilidad significativa e impredecible. Es por ello por lo que pronosticar la demanda intermitente puede ser un desafío, ya que no se pueden aplicar los mismos métodos que se utilizan para predecir la demanda estable.

3 SISTEMAS DE PREVISIÓN

Los sistemas de previsión de la demanda son herramientas y técnicas utilizadas por las empresas para pronosticar la cantidad de productos o servicios que los clientes demandarán en el futuro. Estos sistemas se basan en el análisis de datos históricos, de series temporales, utilizando la información disponible sobre los cambios en las condiciones del mercado, las tendencias económicas y los patrones de comportamiento del cliente. El objetivo principal de los sistemas de previsión de la demanda es proporcionar una estimación precisa de la cantidad de productos o servicios que se deben producir o comprar para satisfacer las necesidades de los clientes de manera efectiva.

Los sistemas de previsión de demanda intermitente son importantes por varias razones:

1. **Mejora de la eficiencia de la cadena de suministro:** Permite a las empresas ajustar su cadena de suministro de manera más eficiente para satisfacer la demanda. Con un mejor conocimiento de la demanda, las empresas pueden mejorar su planificación de producción, gestión de inventario y compras de materiales.
2. **Reducción de costos:** Los sistemas de previsión de demanda intermitente pueden ayudar a las empresas a reducir los costos asociados con el exceso de inventario y la falta de stock. Una mejor comprensión de la demanda permite a las empresas ajustar los niveles de inventario de manera más efectiva y reducir los costos asociados con el almacenamiento y la obsolescencia.
3. **Mejora del servicio al cliente:** La previsión de la demanda intermitente puede ayudar a las empresas a mejorar el servicio al cliente al garantizar que tengan suficiente stock disponible para satisfacer

la demanda. Los sistemas de previsión de demanda pueden ayudar a las empresas a mejorar la precisión de sus pronósticos y reducir la probabilidad de que se produzcan problemas de falta de stock o retrasos en la entrega.

4. Mejora de la toma de decisiones: Estos sistemas pueden proporcionar información valiosa para tomar decisiones estratégicas. Al conocer las características de la demanda, las empresas pueden ajustar sus estrategias de precios, marketing y desarrollo de productos para satisfacer mejor las necesidades de los clientes.
5. Ventaja competitiva: Las empresas pueden responder más rápidamente a los cambios en la demanda y al mercado. Esto puede ayudar a capturar una mayor cuota de mercado y a aumentar sus beneficios.

Es importante tener en cuenta que no existe un enfoque único o perfecto para pronosticar la demanda intermitente, y que la elección de la técnica adecuada dependerá de las características específicas de los datos y del contexto empresarial. Además, hay que considerar la precisión y credibilidad de los pronósticos, así como la capacidad de adaptarse y ajustar las predicciones a medida que cambian las condiciones del mercado o la demanda del cliente.

Los sistemas de previsión que se utilizan para abordar este tipo de demanda deben tener en cuenta los valores de demanda nula en la serie temporal y la variabilidad del tamaño de la demanda y del patrón de comportamiento de los datos. Esto hace dificultar la aplicación de los modelos clásicos de previsión y, por este motivo, los sistemas de previsión que se van a estudiar serán:

1. Método de alisamiento exponencial simple (Brown & Meyer, 1961): Es una técnica utilizada en el análisis de series temporales para predecir valores futuros. Esta técnica de modelado utiliza un promedio ponderado de los datos históricos de la serie de tiempo para estimar el valor futuro. Se basa en la idea de que los valores futuros de una serie de tiempo estarán influenciados por los

valores pasados, pero esa influencia disminuirá a medida que los datos se vuelven más antiguos. Por lo tanto, el pronóstico suavizado exponencial utiliza una ponderación exponencial para los datos históricos, dando más peso a los valores más recientes y menos peso a los valores más antiguos. El peso de cada valor se calcula utilizando un parámetro llamado factor de suavizado exponencial, que se sitúa entre 0 y 1.

La fórmula para calcular el pronóstico de suavizado exponencial simple es la siguiente:

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \quad (12)$$

Donde:

F_t : *Pronóstico para el período t*

F_{t-1} : *Pronóstico del período anterior*

A_{t-1} : *Valor real en el período anterior*

α : *Factor de suavizado exponencial*

Cuando el factor de suavizado exponencial es pequeño, el modelo da más peso a los valores históricos, lo que significa que el pronóstico se ajustará más lentamente a los cambios recientes en la serie de tiempo. Por otro lado, cuando el factor de suavizado exponencial es grande, el modelo da más peso a los valores más recientes, lo que significa que el pronóstico se ajustará más rápidamente a los cambios recientes en la serie de tiempo.

2. Método de Croston (Croston, 1970): Es una técnica de pronóstico que utiliza como base la atenuación exponencial simple separando la serie de tiempo dos componentes para pronosticar la demanda: el primero es una serie con los valores positivos de demanda, y el segundo, con los tiempos entre demandas consecutivas no nulas. Estos valores son actualizados cuando existe un valor de demanda no nulo. El método de Croston estima la tasa de demanda promedio para cada componente, utilizando el mismo valor del parámetro de atenuación alfa (α). Este parámetro alfa

puede tomar valores entre 0 y 1, sin embargo, Croston sugiere que sea entre 0'1 y 0'2, ya que se consiguen mejores resultados generalmente. Sin embargo, en la práctica no hay inconveniente en probar con otros intervalos como: $0'01 \leq \alpha \leq 0'3$. Las fórmulas del método de Croston se utilizan para calcular la tasa de demanda promedio y la tasa de intervalos entre la demanda promedio para un producto intermitente. A continuación, se presentan las fórmulas para este método, donde:

d_t : Demanda en el período t

\widehat{D}_t : Previsión de la demanda no nula para en el período t

f_t : Tiempo entre dos demandas no nulas

\widehat{F}_t : Previsión del intervalo entre demandas positivas en el período t

k : Intervalo desde la última demanda no nula

α : Parámetro de atenuación ($0 \leq \alpha \leq 1$)

\widehat{x}_t : Pronóstico de demanda del período t

$$\widehat{x}_{t+1} = \frac{\widehat{D}_{t+1}}{\widehat{F}_{t+1}} \quad (13)$$

Sabiendo esto, en primer lugar, se comprueba que la demanda del periodo t sea mayor que 0, en el caso de que así sea:

- Previsión de la demanda no nula para el periodo siguiente:

$$\widehat{D}_{t+1} = \widehat{D}_t + \alpha(d_{t+1} - \widehat{D}_t) \quad (14)$$

- Previsión del intervalo de demanda:

$$\widehat{F}_{t+1} = \widehat{F}_t + \alpha(k - \widehat{F}_t) \quad (15)$$

En el caso de que la demanda del periodo t sea menor que 0, entonces:

- Previsión de la demanda no nula para el periodo siguiente:

$$\hat{D}_t = \hat{D}_{t-1} \quad (16)$$

- Previsión del intervalo de demanda:

$$\hat{F}_t = \hat{F}_{t-1} \quad (17)$$

El método de Croston ha demostrado ser efectivo en la predicción de la demanda de artículos con demanda intermitente o esporádica, y ha sido utilizado en una amplia gama de industrias, incluyendo la industria farmacéutica, la industria de repuestos y la industria de la moda, entre otras.

3. Método de Syntetos y Boylan (Syntetos & Boylan, 2005): Es un método de pronóstico que fue desarrollado por Georgios Syntetos y John Boylan en 2001. Partiendo del modelo de Croston, estos dos académicos griegos observaron que el estimador de este modelo está sesgado y en valores de alfa inferiores a 0.15, se producía un desvío positivo en la estimación de la demanda a medida que se incrementaba este valor. Este modelo se considera híbrido al combinar métodos de suavizado exponencial y modelos de series de tiempo. El método S&B, a diferencia del método de Croston, asume que los intervalos entre demandas y el tamaño de la demanda no están correlacionados.

Este método se basa en dos supuestos:

1. Los intervalos de tiempo entre las demandas distintas de cero siguen una distribución exponencial.
2. Las demandas distintas de cero siguen una distribución gamma.

Ambos se utilizan para estimar el número esperado de períodos con demanda no nula y el tamaño de demanda esperada en cada período. De esta manera, la demanda promedio en periodo sería ahora (René Santa Cruz & Corrêa, 2017):

$$\hat{x}_{t+1} = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{\hat{D}_{t+1}}{\hat{F}_{t+1}} \quad (18)$$

Donde:

α : Constante de suavizado ($0 \leq \alpha \leq 1$)

\hat{D}_t : Previsión de la demanda no nula para el período t

\hat{F}_t : Previsión del intervalo de demanda

\hat{x}_t : Pronóstico de demanda del período t

Este método es útil tanto para pronosticar la demanda de productos con patrones de demanda irregulares y estacionales, como la demanda de productos relativamente estable.

4. Método de Shale-Boylan-Johnson (René Santa Cruz & Corrêa, 2017): Es un método útil y adaptativo que ajusta su pronóstico en función de la precisión de las previsiones pasadas. Es una corrección del método de aproximación de Syntetos y Boylan (Syntetos & Boylan, 2005), el cual ha sido demostrado tener un sesgo positivo en la estimación de la demanda para valores inferiores a 0'151. Por tanto, también es derivado del método de Croston y agrega un término de corrección que ajusta el nivel básico de las tasas de demanda intermitente de forma suave con el tiempo. Este método es utilizado cuando la llegada de pedidos sigue un comportamiento de tipo Poisson y el factor de corrección que se aplica es el siguiente:

$$\hat{x}_{t+1} = \left(1 - \frac{\alpha}{2 - \alpha}\right) \frac{\hat{D}_{t+1}}{\hat{F}_{t+1}} \quad (19)$$

Donde:

α : Constante de suavizado utilizada ($0 \leq \alpha \leq 1$)

\hat{D}_t : Previsión de la demanda no nula para el período t

\hat{F}_t : *Previsión del intervalo de demanda*

\hat{x}_t : *Pronóstico de demanda del período t*

Este método ha sido muy utilizado en aplicaciones comerciales ya que también puede ser utilizada juntamente con otras técnicas de pronóstico para mejorar la exactitud de las previsiones de demanda.

5. Método de Teunter (Teunter et al., 2011a): Al igual que el método de Syntetos y Boylan, es una modificación del método de Croston para pronosticar situaciones de demanda intermitente. Incorpora un factor de corrección que permite ajustar la ponderación del pronóstico en función de la variabilidad de la demanda y el intervalo entre demandas. Gracias a esto, no está sesgado y es posible estimar el riesgo de obsolescencia ayudando, a su vez, a tomar determinadas decisiones relacionadas con el inventario. Como ventaja, puede manejar varios tipos de distribuciones de intervalos entre demandas, esto hace que sea más flexible que el método de Croston.

Teniendo esto en cuenta, las fórmulas utilizadas son:

1. Caso en el que la demanda no es nula:

$$\hat{D}_{t+1} = (1 - \alpha)\hat{D}_t + \alpha\hat{D}_t \quad (20)$$

$$\hat{P}_{t+1} = (1 - \beta)\hat{P}_t + \beta s_t \quad (21)$$

$$\hat{x}_{t+1} = \hat{D}_{t+1} + \hat{P}_t \quad (22)$$

2. Caso en el que la demanda es nula:

$$\hat{D}_{t+1} = \hat{D}_t \quad (23)$$

$$\hat{P}_{t+1} = (1 - \beta)\hat{P}_t + \beta s_t \quad (24)$$

$$\hat{x}_{t+1} = \hat{D}_{t+1} + \hat{P}_t \quad (25)$$

Donde:

α, β : Constantes de suavizado ($0 \leq \alpha, \beta \leq 1$)

\hat{D}_t : Previsión de la demanda no nula para el período t

\hat{P}_t : Pronóstico de probabilidad de demanda positiva en el período t

\hat{x}_t : Pronóstico de demanda del período t

s_t : Variable que indica si hay o no demanda positiva en el periodo t

En este método, aparece un nuevo parámetro llamado ‘beta’. Su valor puede variar dependiendo de los supuestos y las condiciones específicas de cada situación. La elección de un valor específico para ‘beta’ requiere considerar diversos factores, como los costes de almacenamiento, la obsolescencia de los productos, los riesgos de deterioro, los costos de financiamiento y otros gastos relacionados con el mantenimiento del inventario. Estos factores pueden variar según la industria, el tipo de producto y las prácticas de gestión de inventario en cada empresa. Puede oscilar entre 0 y 1, donde 0 representa un costo de mantenimiento de inventario nulo y 1 representa un costo de mantenimiento igual al valor total del inventario.

Se conoce que este método es muy utilizado para pronosticar la demanda intermitente de repuestos, artículos de servicios y otros productos de bajo volumen (Hemeimat et al., 2016b).

4 SISTEMAS DE PREVISIÓN COMO SISTEMA DE INVENTARIOS

Hoy en día, la gestión de inventario juega un papel importante en la mayoría de las empresas, ya que es de gran utilidad para satisfacer la demanda de los clientes. Esta gestión se refiere a las actividades y procesos relacionados con la administración y control de los bienes y productos almacenados por una empresa. Esto incluye no solo la compra, registro y salida de los productos, sino también su almacenamiento, seguimiento y control de los niveles de inventario.

Hay que tener en cuenta que los sistemas de previsión de la demanda pueden utilizarse como primer paso en la secuencia de toma de decisiones en el sistema productivo, de manera que sirven para establecer una correcta programación de la producción. Sin embargo también es posible que los sistemas de previsión estén directamente relacionados con la compra y gestión de materiales para piezas de repuesto, de manera que, aunque no haya que planificar la producción, sea necesario tener un control sobre la demanda de las piezas con el objeto de maximizar la satisfacción del cliente (existencia de piezas cuando estas sean demandadas), pero sin perder de vista los costes, intentando a su vez minimizar los costes por tener inmovilizadas las piezas en el almacén.

En definitiva, la integración de sistemas de previsión de la demanda en los sistemas de inventarios permite a las empresas planificar y gestionar de manera eficiente sus niveles de inventario. Al tener una mejor comprensión de la demanda futura, las empresas pueden tomar decisiones informadas sobre la cantidad de

inventario que deben tener en existencia en un momento dado, optimizando de esta forma el nivel de inventario. La previsión de la demanda es clave para los sistemas que gestionan productos contra el inventario, ya que permite maximizar la eficiencia en la cadena de suministro, reducir costos logísticos y mejorar la satisfacción del cliente al garantizar que los productos estén disponibles para su entrega cuando y donde se necesiten. Llevar sistemas bien organizados y, supervisar y controlar el stock en todo momento, es primordial para garantizar una gestión adecuada del inventario (IBM, 2021). Los inventarios se pueden clasificar de la siguiente forma (Rosas & Cortes, 2013):

1. Inventarios de materia prima: Relacionados con el registro de las materias primas que tiene la empresa en un momento dado. Además de la cantidad, estos inventarios también incluyen su ubicación en el almacén, fecha de adquisición, proveedor de la materia prima y costo. Este tipo de inventario es muy importante para garantizar el mantenimiento del proceso de producción en funcionamiento y el cumplimiento con los plazos de entrega de los productos finales.
2. Inventarios de productos semi-terminados: Son aquellos productos no terminados que se mantienen en el inventario hasta que pasan por los procesos finales para ser convertidos en productos terminados. Los registros de este tipo de inventario suelen incluir información relacionada con datos para su control y seguimiento: cantidad disponible, lugar de almacenamiento, fecha de adquisición, costo, etc. La adecuada gestión de este tipo de inventario permite garantizar el funcionamiento de los procesos de producción sin detención por falta de material, al mismo tiempo que evita el exceso de existencias que puede conllevar costos adicionales.
3. Inventarios de productos terminados: Son aquellos productos que no tienen que pasar por más procesos de producción y están listos para su venta final. La información contenida en estos registros suele ser la misma que para los inventarios de productos semiterminados. Su gestión eficaz es esencial para la disponibilidad de los productos cuando sea necesario y evitar la acumulación de stock excesivo.

Clásicamente, el inventario es gestionado para productos en los que se conoce con certeza la demanda futura, es decir, con demanda determinista. Este tipo de demanda simplifica la gestión del inventario ya que no hay factores inciertos que considerar al tomar decisiones sobre cuánto inventario ordenar, con qué frecuencia realizar los pedidos o cuándo programar la producción. Sin embargo, la desventaja que presenta la demanda determinista es que puede no ser muy representativa con las condiciones del mundo real, donde la demanda a menudo está sujeta a fluctuaciones debido a cambios en el comportamiento del consumidor, las condiciones económicas u otros factores.

Por otro lado, también se puede dar la demanda no determinista, es decir, aquella que es incierta y está sujeta a variabilidad en el tiempo. Esto significa que la demanda no se puede modelar con precisión utilizando factores fijos y predecibles, como en el caso de la demanda determinista.

En la gestión de inventario, la demanda no determinista puede hacer que sea más difícil determinar cuánto inventario ordenar o producir, así como cuándo y con qué frecuencia realizar los pedidos, ya que puede estar influenciada por factores aleatorios o impredecibles, como las fluctuaciones económicas, los cambios en las preferencias de los consumidores, ... Esto causa que requieran un mayor análisis de datos y herramientas estadísticas avanzadas para su desarrollo y uso. Sin embargo, mediante el uso de métodos probabilísticos y datos históricos, es posible tomar decisiones informadas que equilibren los costos de mantenimiento y desabastecimiento de inventario con los riesgos de subestimar o sobreestimar la demanda. Actualmente, estos modelos tienen gran importancia para la planificación de la producción y la gestión de inventarios en entornos empresariales impredecibles, ya que pueden ayudar a las empresas a ajustar su producción y suministro para satisfacer la demanda en constante cambio. Algunos ejemplos de estos modelos de demanda no determinista son:

- 1- Modelos de series de tiempo estocásticas (Seijas, 2002): Utilizan datos históricos para analizar patrones de la demanda del producto y utilizarlos para predecir la demanda futura. Estos modelos reconocen la incertidumbre inherente en las variables que afectan a la demanda.
- 2- Modelo ABC o Paretto (Mecalux Esmena, 2019): El inventario es dividido en tres grupos dependiendo de su volumen anual con el objetivo de establecer diferentes políticas de inventario, utilizando los recursos en los artículos importantes.
- 3- Modelos de simulación (Garcia Sabater, 2020): Utilizan la simulación por computadora para analizar varias posibles demandas futuras con base en distintos escenarios y eventos, y utilizan los resultados para informar las decisiones de inventario. Estos modelos son útiles cuando no se dispone de datos históricos suficientes para desarrollar un modelo de series de tiempo estocásticas.
- 4- Modelos de elección discreta (Diaz et al., 2008): Estos modelos se utilizan para analizar cómo los consumidores toman decisiones de compra y cómo estas decisiones afectan a la demanda de un producto o servicio. Estos modelos asumen que los consumidores tienen preferencias diferentes y que estas preferencias pueden cambiar con el tiempo.

Al utilizar estos modelos, se busca tomar en cuenta la variabilidad de la demanda para prevenir faltas de inventario o tener excesos no deseados.

En este caso, el objetivo es analizar la previsión de la demanda no determinista para la obtención de producto cuando sea necesario. Este modelo de demanda se estudiará sin tener en cuenta fluctuaciones económicas ni estructura de fabricación, ya que no depende de esto. Una vez se haya estudiado cuál es la previsión de la demanda, el siguiente objetivo será determinar, dependiendo de la cantidad que haya en el inventario, cuánta cantidad, cuándo y con qué frecuencia realizar los pedidos. Además, también se calculará cuál es el stock de seguridad.

En el contexto del proyecto, en lo que se tiene mayor interés es en la aplicación de métodos de previsión unido a la gestión de los inventarios. Tomando como base el trabajo (Croston, 1970), se realiza el sistema de previsión según su método, pero además se tiene en cuenta que, si no tiene piezas disponibles, realiza un pedido fijo por la cantidad R . Es curioso que realice el pedido por una cantidad fija, pudiendo producir un exceso de inventario. Otras alternativas podrían ser pedir lo necesario hasta una cantidad máxima determinada. Tampoco se han encontrado referencias en la que se hagan medidas no sólo de lo eficiente que es el pronóstico de demanda, sino, como afectan los itinerarios. Por ello, se ha desarrollado un análisis experimental que compara los rendimientos de los diferentes sistemas de previsión de la demanda cuando son empleados bajo el enfoque de la gestión de inventarios.

5 ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE PREVISIÓN

5.1 GENERACIÓN DE DATOS

Para la realización de este proyecto, se han empleado datos generados artificialmente, representativos de diferentes situaciones de aplicación práctica. Para ello, se han seguido los procedimientos documentados en la literatura y, mediante su implementación en Python, se han conseguido obtener una serie de datos que serán los utilizados para llevar a cabo este estudio.

En este estudio, se ha usado la distribución logarítmica para la amplitud de la demanda. Las razones por las que se ha seguido esta distribución son (Teunter et al., 2011b):

1. Es discreta, al igual que la demanda real.
2. Su flexibilidad, expresada a través de la relación entre la varianza y la media, permite modelar desde patrones de demanda muy bajos hasta demandas muy irregulares.
3. Las llegadas de demanda Poisson junto con los tamaños de demanda distribuidos logarítmicamente dan como resultado una demanda distribuida binomial negativa por período de tiempo, que ha recibido mucha atención en el contexto de la representación de demandas intermitentes y tiene una evidencia empírica considerable en su apoyo.

La distribución logarítmica está caracterizada por el parámetro 'c':

$$0 < c < 1$$

Por otro lado, se ha usado la distribución Bernoulli para el espacio entre demandas, es decir, las llegadas de la demanda se modelan como Bernoulli. Esta distribución está caracterizada por el parámetro 'p':

$$0 < p < 1$$

Para la generación de los datos, se han utilizado periodos mensuales durante 10 años, en total se han obtenido 120 datos. En este caso, se ha utilizado un año más para la estimación de los datos iniciales o de arranque. En cuanto a la variación de muestreo, se han realizado 10 repeticiones de cada combinación de parámetros de control.

Las series de datos se encuentran recogidos en un anexo al final de este documento.

5.2 MEDIDAS DEL RENDIMIENTO

En el contexto de los sistemas de predicción, existen varias medidas de rendimiento comunes que se utilizan para evaluar la calidad y la precisión de las predicciones realizadas. Se tomarán las siguientes medidas relacionadas con los métodos de previsión a la que se le han sumado algunas métricas habituales en la gestión de inventarios:

- **Inventario promedio:** Esta métrica calcula el nivel promedio de inventario durante un período determinado. Ayuda a evaluar la eficiencia de la gestión de inventario y a determinar si los niveles de inventario son adecuados para satisfacer la demanda de manera oportuna sin incurrir en exceso de costos.

El inventario de cada período es calculado como la suma de la cantidad de producto que se va a pedir para el siguiente período y el inventario del período anterior (en caso de ser negativo, se pondrá como nulo), restándole la demanda real del período concreto.

En este apartado, cabe destacar que también resulta interesante calcular el inventario máximo y mínimo de los períodos observados para obtener una mayor información del rendimiento de

la predicción realizada.

- Rotura de stock: Esta medida evalúa la falta de disponibilidad de un producto o artículo en un determinado momento, es decir, cuando no hay suficiente stock para satisfacer la demanda de los clientes. Una rotura de stock alta indica que hay problemas en la gestión del inventario y puede tener consecuencias negativas, como la pérdida de ventas, la insatisfacción del cliente y la disminución de la lealtad de los clientes. Generalmente se expresa como un porcentaje o una proporción y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Rotura de stock (\%)} = \frac{N^{\circ} \text{ periodos con rotura de stock}}{N^{\circ} \text{ periodos}} * 100 \quad (26)$$

Donde:

- o N° periodos con rotura de stock: Es la cantidad de veces que se produjo una falta de disponibilidad del producto.
- Tasa de rotación: Este indicador mide la rapidez en la que se repone el stock en un período de tiempo determinado. Esta métrica es importante para analizar la eficiencia de la gestión de inventario y puede proporcionar información valiosa sobre el rendimiento.

$$\text{Tasa de rotación} = \frac{\text{Demanda total de un período concreto}}{\text{Inventario medio}} \quad (27)$$

Finalmente, puede resultar de interés el cálculo de la tasa de rotación promedio de todos los períodos estudiados.

- Tasa de cobertura: Es un indicador utilizado para evaluar la capacidad de una empresa para cubrir su demanda utilizando el inventario disponible. Esta medida es especialmente relevante en la gestión de inventario y logística. Se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Tasa de cobertura} = \frac{\text{Inventario medio}}{\text{Demanda promedio}} \quad (28)$$

Una tasa de cobertura alta indica que la empresa tiene suficiente inventario para satisfacer la demanda durante un período más largo, lo cual puede ser positivo para asegurar el cumplimiento de los pedidos y evitar posibles roturas de stock. Sin embargo, también puede indicar un exceso de inventario, lo cual puede generar costos de almacenamiento y obsolescencia innecesarios. Una tasa de cobertura baja puede indicar riesgo de rotura de stock, es decir, que el inventario disponible no es suficiente para satisfacer la demanda.

5.3 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

A partir de los datos artificiales generados, se ha realizado la experimentación de este proyecto. Para ello, se han seleccionado diez series de datos para cada tipo de demanda y se ha calculado el pronóstico de demanda según los diferentes métodos de previsión que se han mencionado anteriormente.

Además, con la intención de obtener resultados comparables entre sistemas, se han empleado los mejores resultados obtenidos con el SOLVER de EXCEL, optimizando aquellas medidas más interesantes (que actúan como función objetivo), modificando los valores de los parámetros: α , β y k según proceda, que actuarán de variables. En este caso, las que han resultado más conveniente optimizar debido a que se ha visto que tienen más relación con el análisis que se quiere realizar y las que son más utilizadas en el día a día de las empresas, son: inventario promedio, rotura de stock, desviación absoluta media (MAD), error cuadrático medio (ECM) y desviación absoluta porcentual media referida al pronóstico (MAPE').

A continuación, en los próximos apartados, se van a describir cuáles han sido los resultados obtenidos, dependiendo del tipo de demanda y del método de previsión utilizado. En cada apartado, se hará un análisis de cada una de las medidas optimizadas, viendo también con qué métodos se ha conseguido un mejor resultado. Finalmente, se explicarán cuáles son las conclusiones a las que se han llegado

DEMANDA SUAVE

En primer lugar, el mejor resultado de inventario promedio se ha conseguido con el método de alisamiento exponencial, siendo este de 0'333. Los métodos de Croston, Shale-Boylan-Johnson y Syntetos & Boylan han generado un valor muy similar, mientras que el valor perteneciente al método de Teunter queda claramente por encima, siendo el método con peor valor de inventario promedio, como se muestra (véase Ilustración 11).

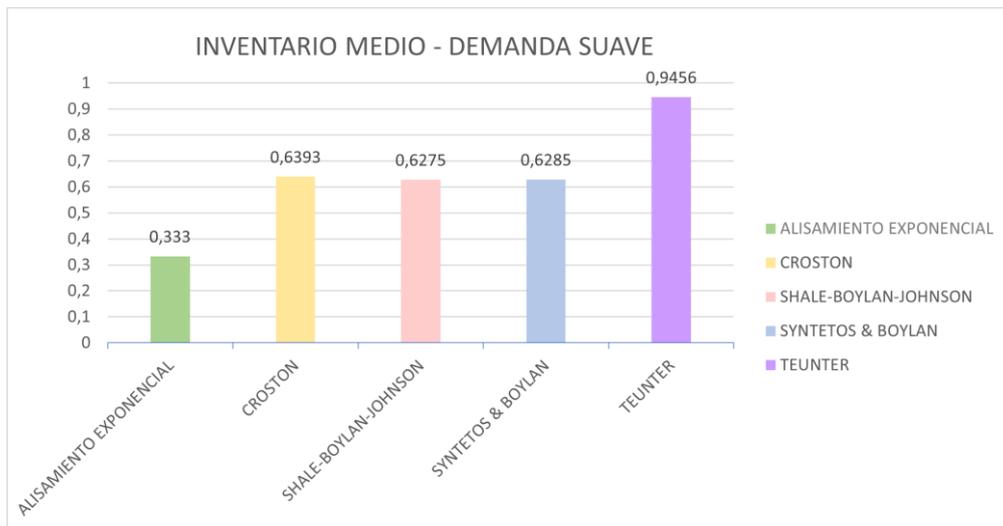


Ilustración 11. Inventario medio. Demanda suave. Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, se ha estudiado la rotura de stock. El mejor valor de esta medida, con diferencia, lo ha generado el método de Croston. Este valor ha sido 13,25%. El resto de los métodos han tenido valores bastante similares, en torno al 20% (véase Ilustración 12).

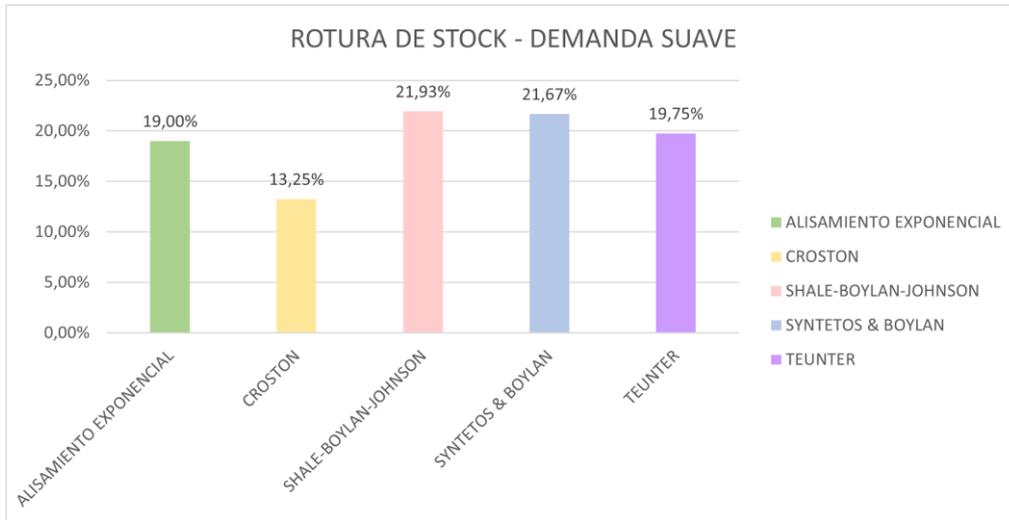


Ilustración 12. Rotura de stock. Demanda suave. Fuente: Elaboración propia.

En tercer lugar, fijándonos en la desviación absoluta media, hay dos métodos, en concreto el método de Shale-Boylan-Johnson y el de Syntetos & Boylan, con valores prácticamente iguales. Sin embargo, la desviación absoluta media que proporciona el segundo de los métodos mencionados resulta ser ligeramente inferior, siendo este 0,37271. Seguidamente a estos métodos, están el método de alisamiento exponencial y el método de Teunter, con valores superiores a los anteriores, pero sin superar el valor que proporciona el método de Croston, que es el mayor con gran diferencia (véase Ilustración 13).

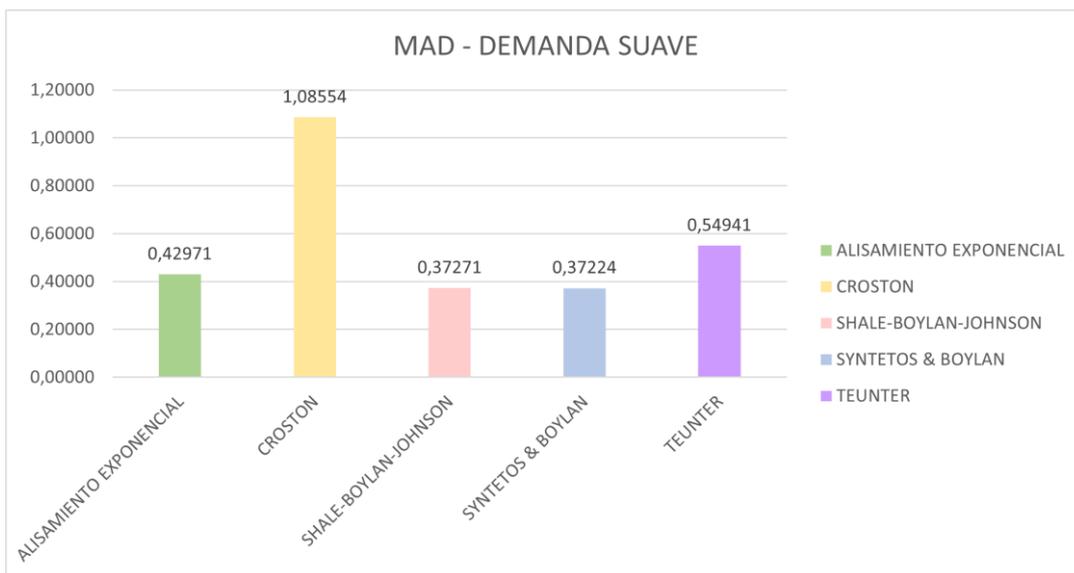


Ilustración 13. MAD. Demanda suave. Fuente: Elaboración propia.

En cuarto lugar, también está el error cuadrático medio, este valor está más igualado en la mayoría de los métodos, excepto en el método de Teunter, donde este valor presenta ser mayor. Como se puede ver en el gráfico, el método de Croston es el que proporciona el valor más inferior de error cuadrático medio, este es 0,30998, seguido del método de Syntetos & Boylan (véase Ilustración 14).

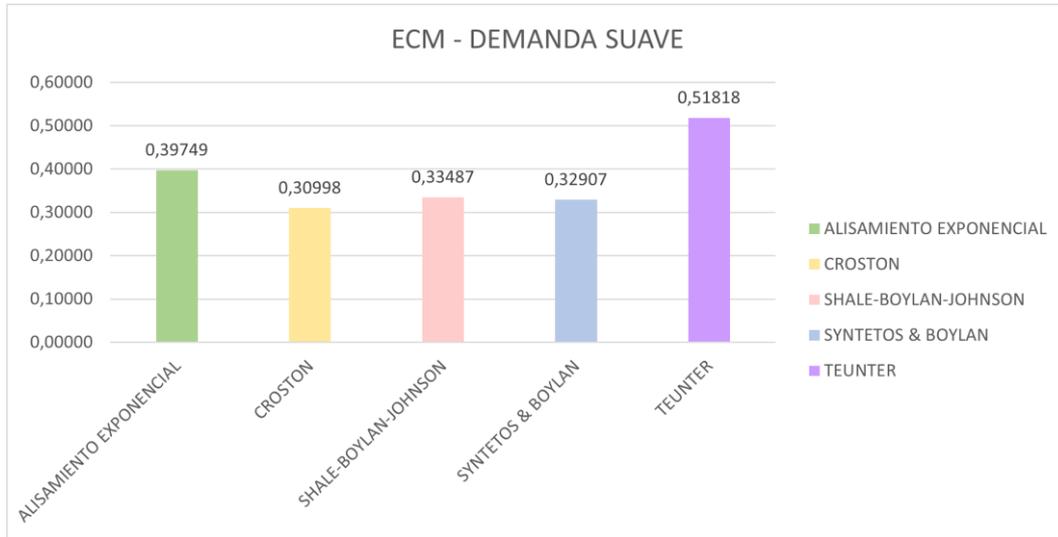


Ilustración 14. ECM. Demanda suave. Fuente: Elaboración propia.

Por último, se ha analizado la desviación absoluta media porcentual referida al pronóstico. El método de Croston, Shale-Boylan-Johnson y Syntetos & Boylan ha proporcionado valores muy similares, sin embargo, Croston genera un valor ligeramente inferior al resto, siendo este de 29,49776. Por otro lado, el peor valor lo proporciona el método de Teunter (véase Ilustración 15).

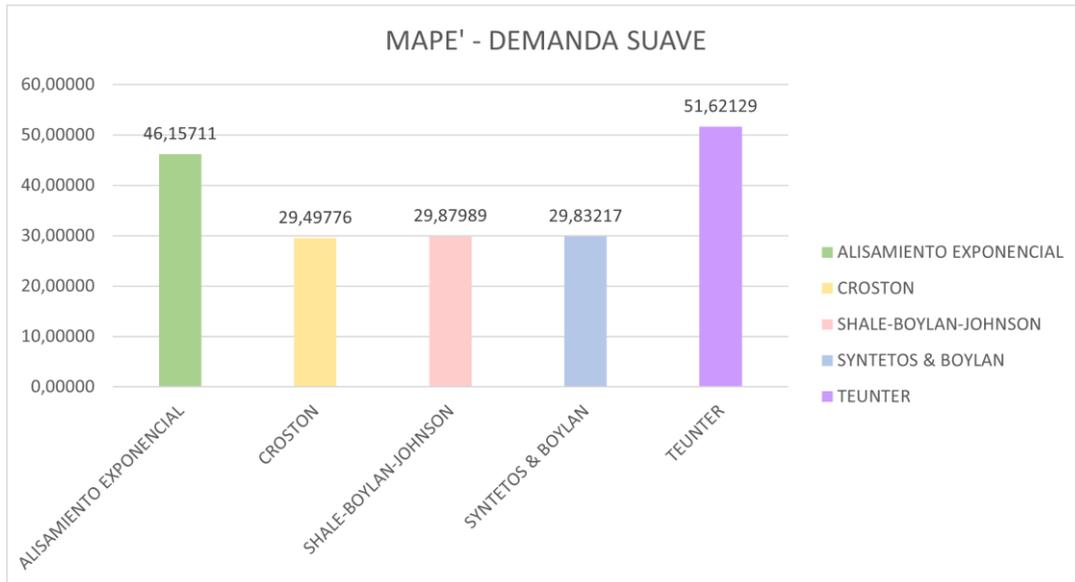


Ilustración 15. MAPE'. Demanda suave. Fuente: Elaboración propia.

Como se ha podido estudiar, el método de previsión que ha presentado mayores valores óptimos ha sido el de Croston. Sin embargo, no se puede generalizar que este sea el mejor, ya que, como se ha visto, dependiendo de la medida que se quiera analizar convendrá más un método u otro.

DEMANDA INTERMITENTE

Empezando con el inventario promedio, como se puede ver claramente en el gráfico que aparece más abajo, el método de alisamiento exponencial es el que proporciona un mejor valor, siendo este 0'1661. Seguidamente, irían los siguientes métodos, en orden: Shale-Boylan-Johnson, Syntetos & Boylan, Croston y, por último, con el valor más alto, Teunter (véase Ilustración 16).

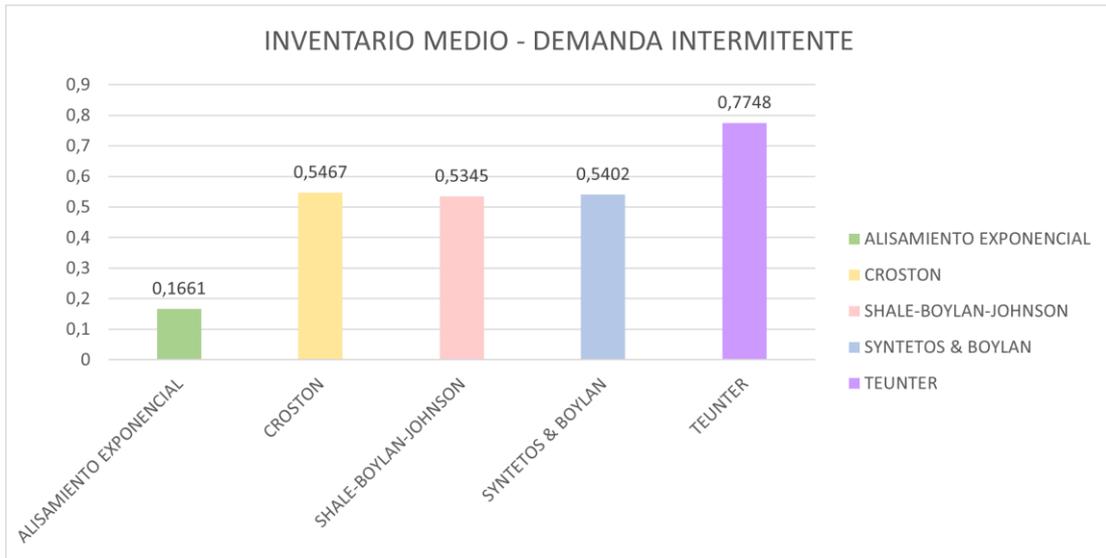


Ilustración 16. Inventario promedio. Demanda intermitente. Fuente: Elaboración propia.

Continuando con la rotura de stock, en el gráfico se muestra como es el método de alisamiento exponencial el que genera una menor rotura con gran diferencia al resto de métodos, siendo esta 0'75%. Seguidamente, pero muy por encima al valor anterior, está el método de Teunter. El método de Croston y el de Shale-Boylan-Johnson están bastante similares, mientras que el método de Syntetos & Boylan es el que presenta el peor valor (véase Ilustración 17).

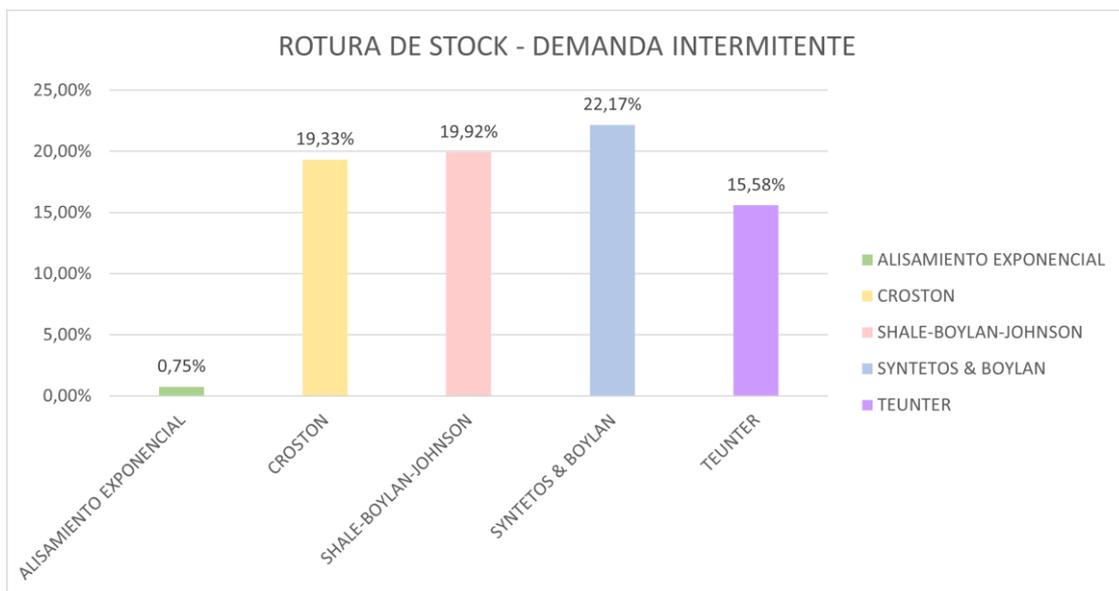


Ilustración 17. Rotura de stock. Demanda intermitente. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la desviación absoluta media, al igual que pasa con la medida anterior, el método de alisamiento exponencial proporciona un valor muy por debajo de los valores que proporcionan el resto de los métodos. Este valor es 0,10554. Los demás métodos proporcionan valores bastante similares entre ellos, en torno al 0,40, siendo el método de Teunter el que tiene un valor ligeramente superior al resto, y, por lo tanto, el peor (véase Ilustración 18).

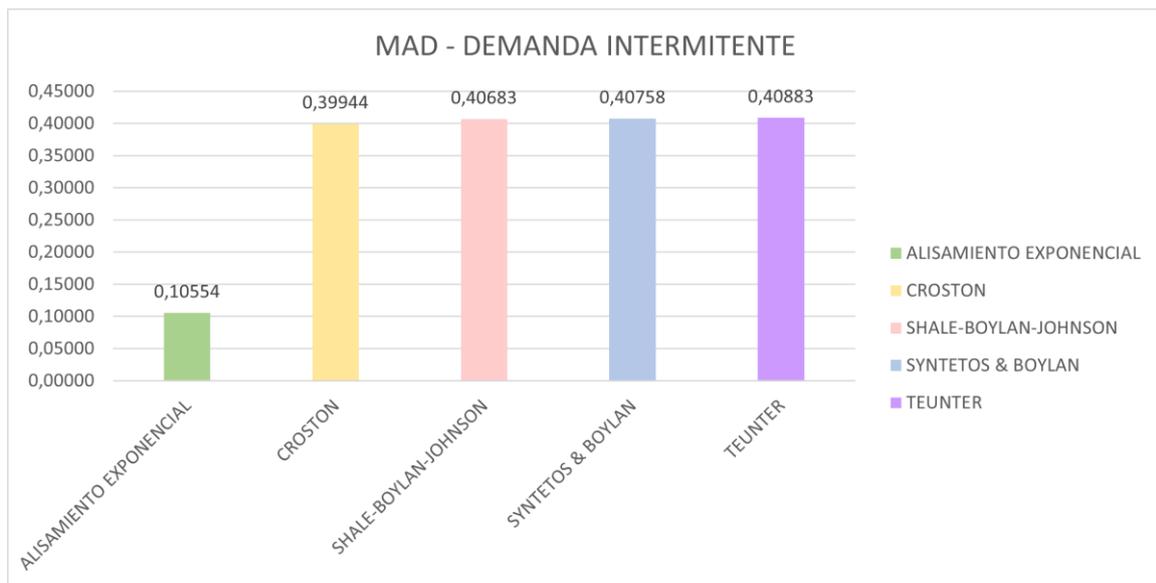


Ilustración 18. MAD. Demanda intermitente. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la medida del error cuadrático medio, los valores más bajos son proporcionados por Shale-Boylan-Johnson y Syntetos & Boylan, presentado este último un valor ligeramente inferior al otro. Este valor es de 0,23798. Seguidamente, está el método de Croston con un valor similar, mientras que Teunter y el alisamiento exponencial son los que proporcionan peores valores (véase Ilustración 19).

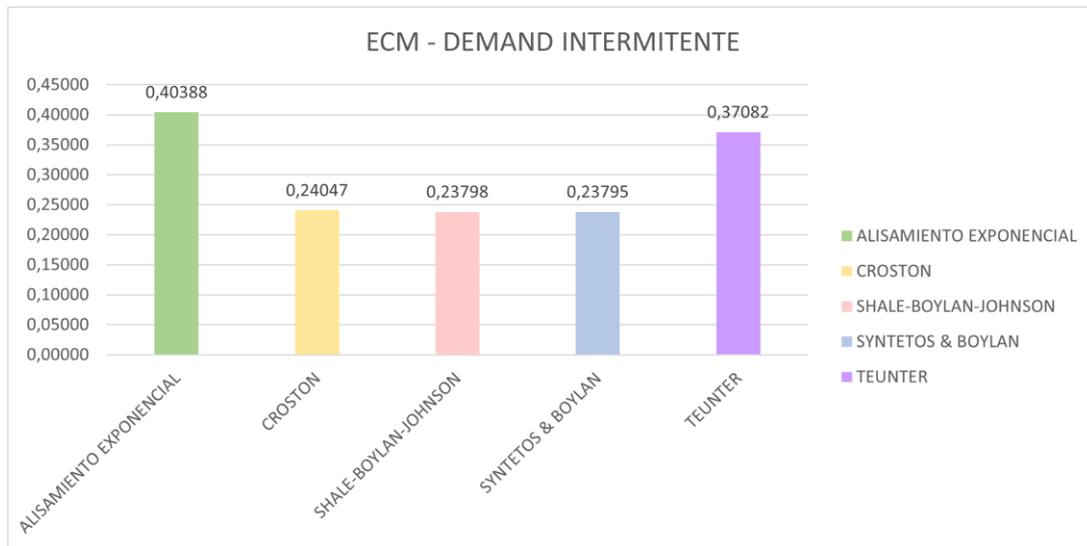


Ilustración 19. ECM. Demanda intermitente. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, observando la desviación absoluta media porcentual referida al pronóstico, se ha podido ver que el método de Teunter genera un mejor valor que el resto, siendo este 49'76733. Después de este, el método de alisamiento exponencial es el segundo con mejor valor. Por último, el método de Croston, de Shale-Boylan-Johnson (SBJ) y Syntetos & Boylan presentan valores muy parecidos con respecto a esta medida, siendo el SBJ el que presenta un valor ligeramente más alto y, por tanto, peor (véase Ilustración 20).

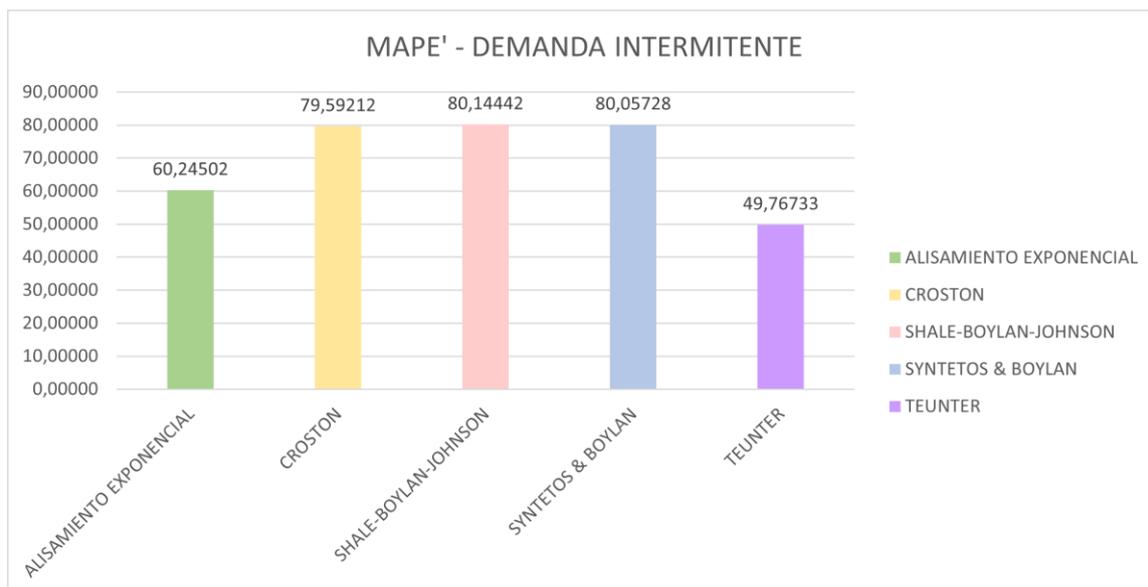


Ilustración 20. MAPE'. Demanda intermitente. Fuente: Elaboración propia.

DEMANDA ERRÁTICA

En primer lugar, se ha estudiado cuál es el método que proporciona un menor inventario promedio y ha resultado ser el método de alisamiento exponencial con un valor de 0'9332, seguido del método del Croston, Teunter, Syntetos & Boylan y, por último, con el valor más alto, el método de Shale-Boylan-Johnson (véase Ilustración 21).

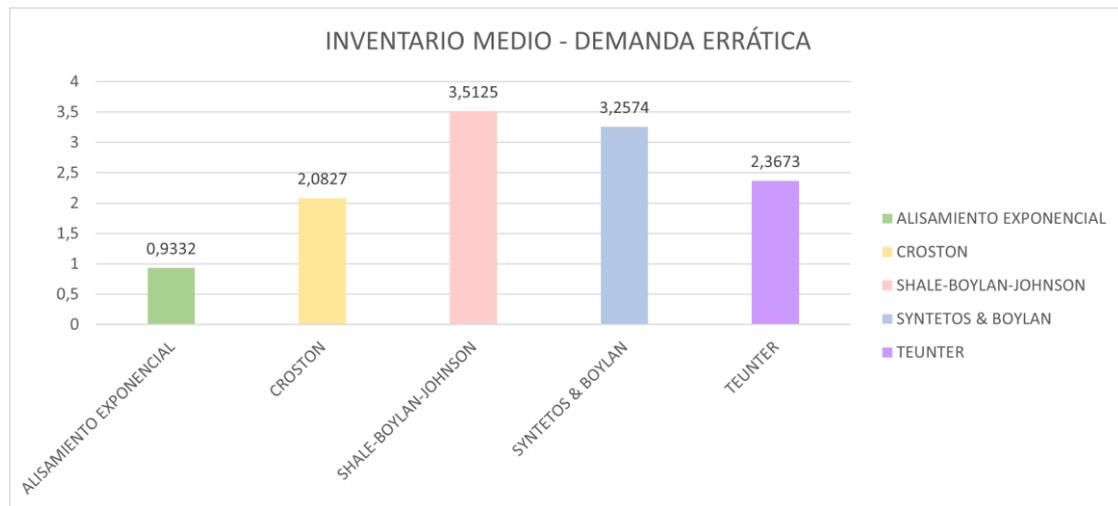


Ilustración 21. Inventario promedio. Demanda errática. Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, con respecto a la rotura de stock, claramente se ve en el gráfico que el método que proporciona un mejor valor es el alisamiento exponencial con un valor de 0'00%. El resto de los métodos presentan valores similares, siendo el valor más alto el que proporciona el método de Teunter (véase Ilustración 22).

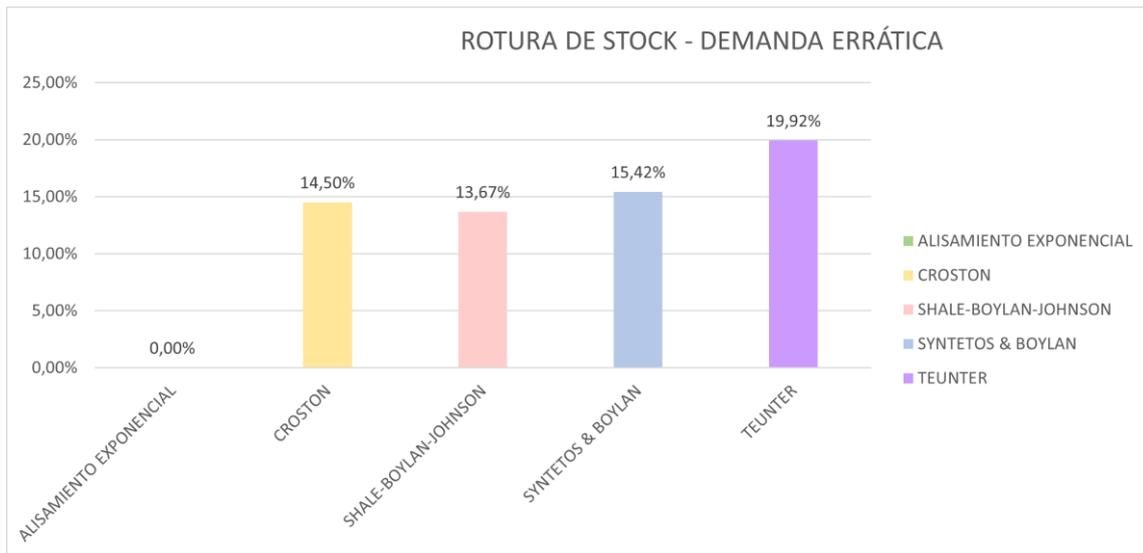


Ilustración 22. Rotura de stock. Demanda errática. Fuente: Elaboración propia.

En tercer lugar, observando la desviación absoluta media, el método de alisamiento exponencial es el que presenta el mejor valor. Este valor se trata de una desviación negativa de $-0,01140$. En este caso, el método de Croston, de Shale-Boylan-Johnson y de Syntetos & Boylan presentan valores muy similares, mientras que el método de Teunter es el que presenta el peor valor (véase Ilustración 23).

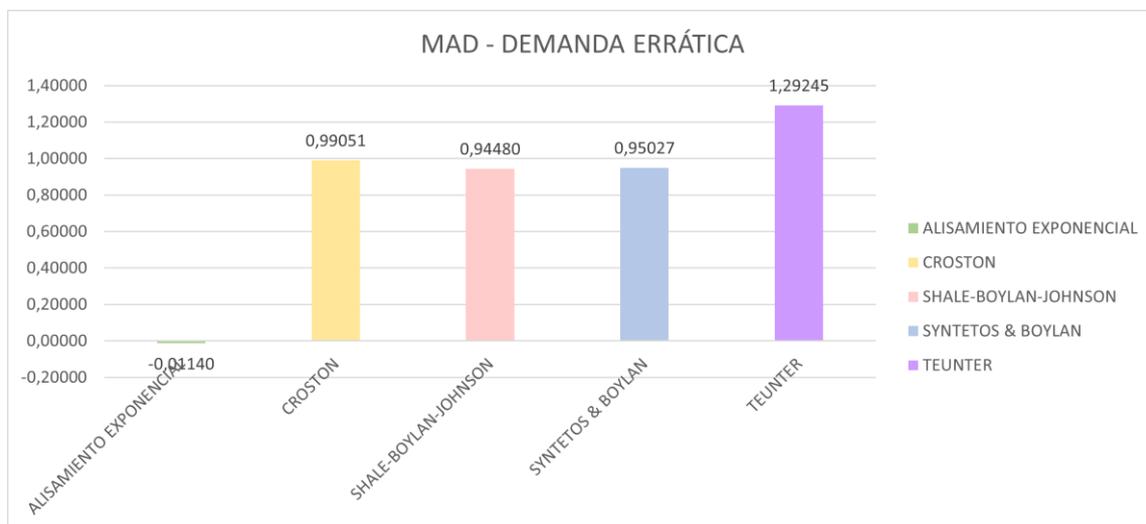


Ilustración 23. MAD. Demanda errática. Fuente: Elaboración propia.

En cuarto lugar, se ha analizado el error cuadrático medio generado por cada uno de los métodos de

previsión y ha resultado ser el método de alisamiento exponencial el que mejor resultado ha dado, este es 1'13695. Seguidamente, en orden, estaría el método de Croston, el de Syntetos & Boylan, el de Shale-Boylan-Johnson y, por último, con el valor más alto de todos, el método de Teunter (véase Ilustración 24).

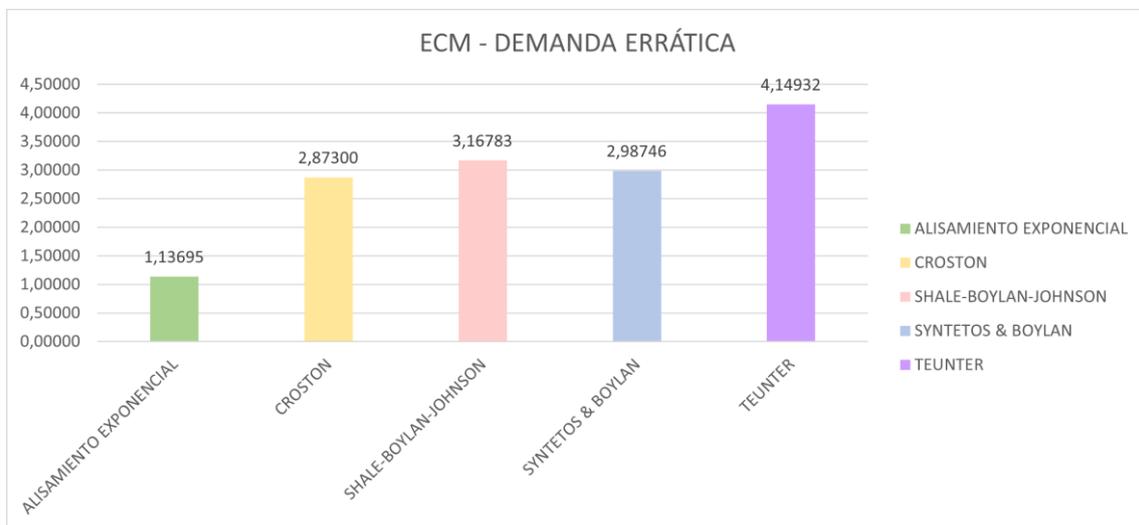


Ilustración 24. ECM. Demanda errática. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se ha hecho un estudio del MAPE' y, como se muestra en el gráfico, el método que presenta el valor más bajo es Shale-Boylan-Johnson, siendo este 18'68122. Con valores muy cercanos, le siguen el método de Syntetos & Boylan y el de Croston. Por otro lado, el método de alisamiento exponencial es el que presenta el valor más alto para esta medida y, por lo tanto, el peor (véase Ilustración 25).

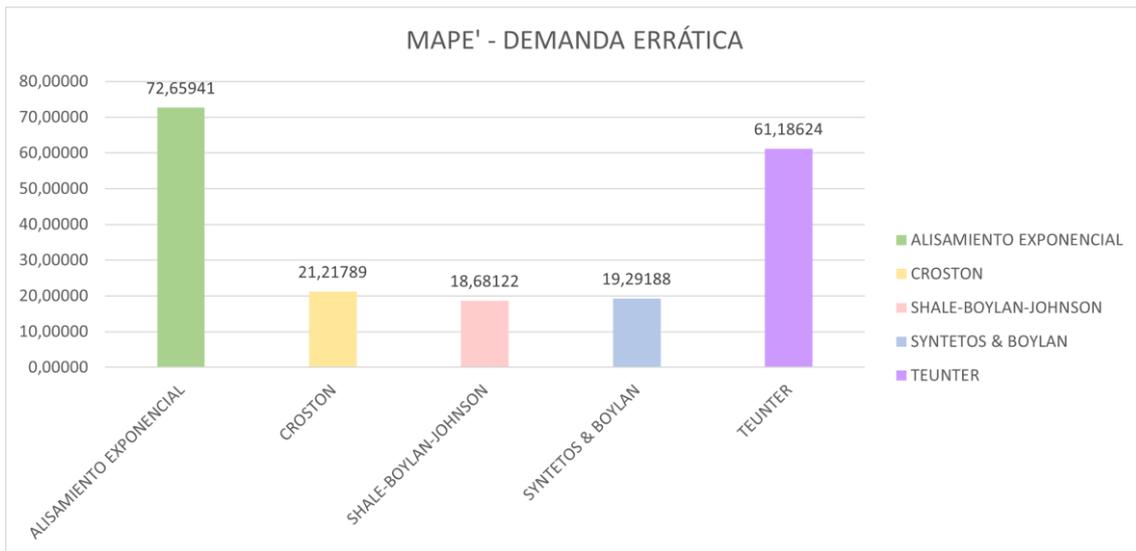


Ilustración 25. MAPE¹. Demanda errática. Fuente: Elaboración propia.

DEMANDA GRUMOSA

Empezando con la medida del inventario promedio, ente caso, se puede ver que el método que proporciona un valor más bajo y, por tanto, mejor, es el alisamiento exponencial con un valor de 1'028. Después de este, los siguientes más convenientes serían el de Shale-Boylan-Johnson, Syntetos & Boyan y Croston. Y, por último, el método que da el peor valor, con gran diferencia, es Teunter (véase Ilustración 26).

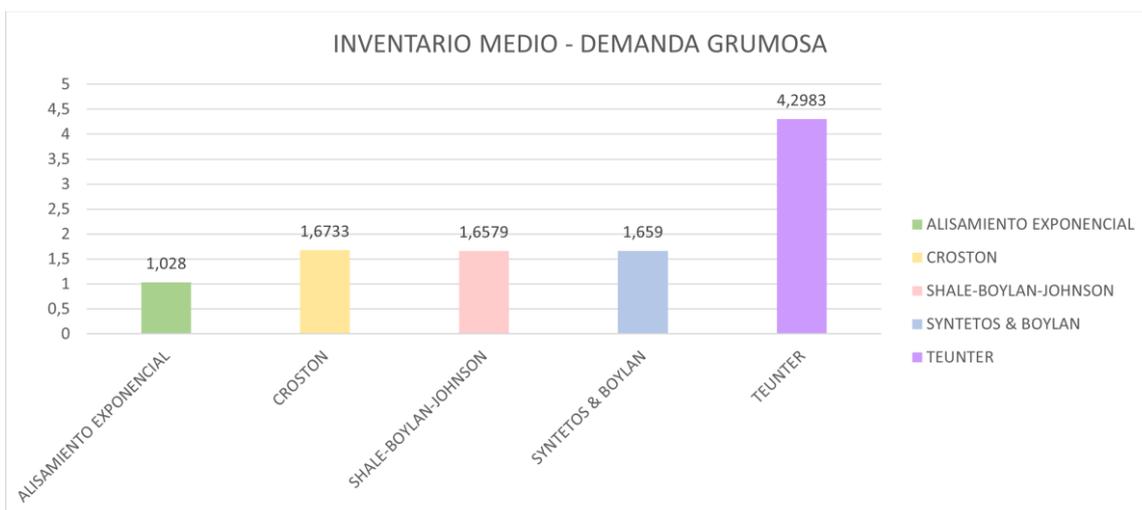


Ilustración 26. Inventario promedio. Demanda grumosa. Fuente: Elaboración propia.

Continuando con la rotura de stock, como se muestra en el gráfico de más abajo, el método que presenta el mejor valor por ser el más bajo, es el alisamiento exponencial con una rotura del 0'00%. Como en el caso anterior, Croston, Shale-Boylan-Johnson y Syntetos & Boylan dan valores muy simialres, mientras que el método de Teunter es el que presenta el valor más alto de todos (véase Ilustración 27).

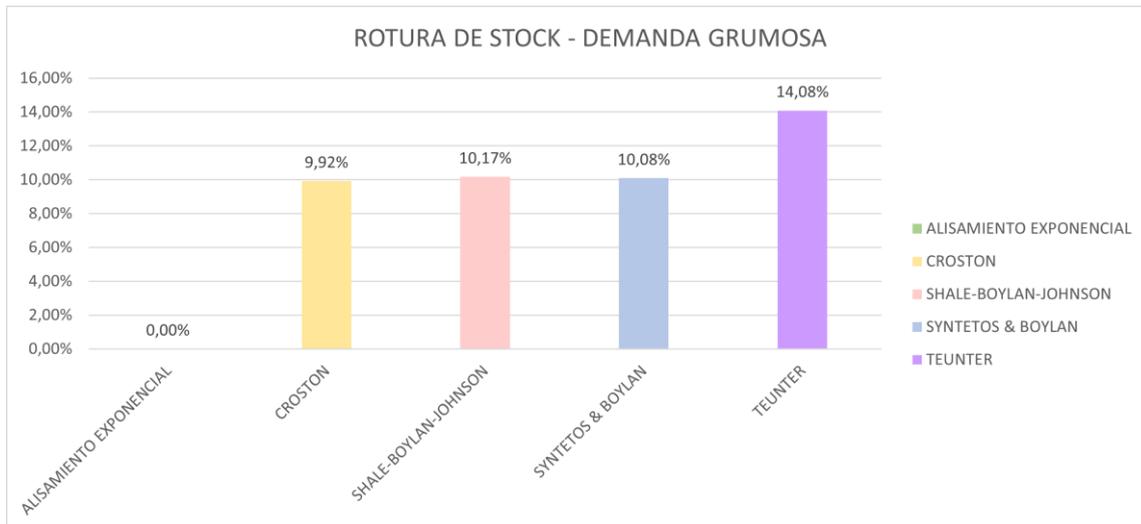


Ilustración 27. Rotura de stock. Demanda grumosa. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la desviación absoluta media, el método de alisamiento exponencial es el que proporcionar un valor más interesante por ser el más bajo, siendo este 0'00459. El resto de los métodos generan valores muy parecidos entre ellos, siendo el método de Teunter el que da un resultado más desfavorable (véase Ilustración 28).

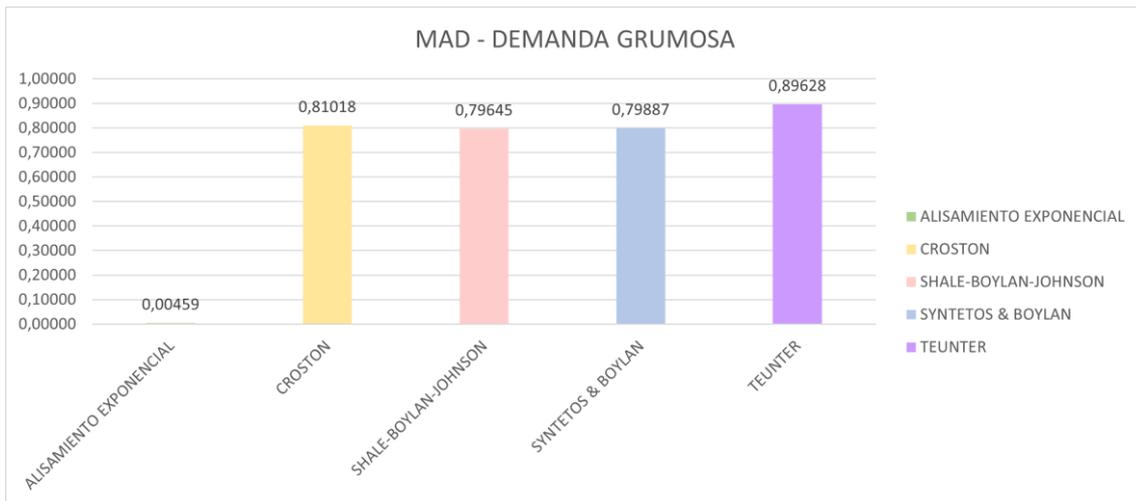


Ilustración 28. MAD. Demanda gruesa. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la medida del error cuadrático medio, el valor más bajo y, por ello, el más bueno, es de 0'86707 y pertenece al método de alisamiento exponencial. Seguidamente, con valores muy cercanos entre ellos, están el método de Croston, el de Shale-Boylan-Johnson y el de Syntetos & Boylan. Finalmente, el peor valor lo presenta el método de Teunter por ser el más bajo de todos (véase Ilustración 29).

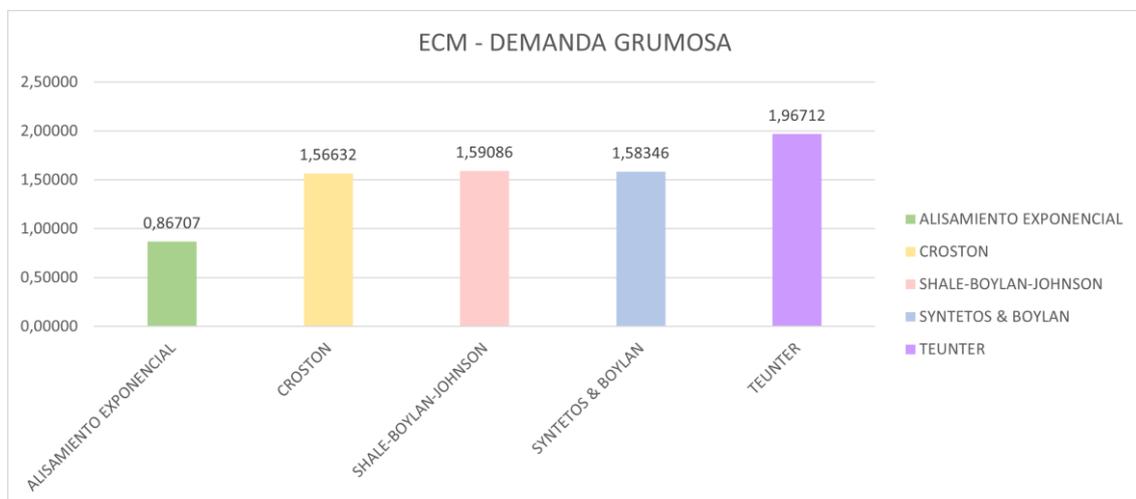


Ilustración 29. ECM. Demanda gruesa. Fuente: Elaboración propia.

Por último, se ha analizado el MAPE'. El método que ha resultado ser el mejor por proporcionar el valor más bajo con diferencia, ha sido el método de Teunter con un valor de 56'13275. A continuación, estaría el método de alisamiento exponencial, el de Croston y el Syntetos & Boylan, siendo el método de Shale-

Boylan-Johnson el que presenta un resultado más desfavorable por ser el más alto de todos (véase Ilustración 30).

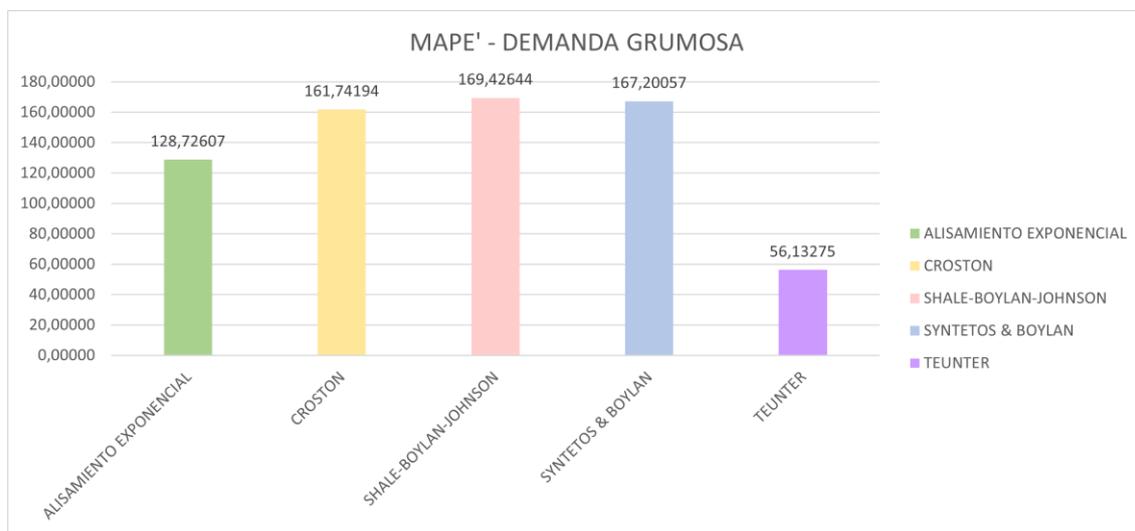


Ilustración 30. MAPE'. Demanda grumosa. Fuente: Elaboración propia.

6 CONCLUSIONES

Con el análisis de resultados realizado, se puede concluir que no se puede identificar un único método como el mejor para hacer la previsión de un tipo de demanda, sino que esto dependerá de la medida concreta que se quiera optimizar.

A continuación, se muestra una tabla (véase Tabla 1) en la que se refleja cuál es el método que proporciona mejor resultado dependiendo de la medida que se quiera optimizar y del tipo de demanda con la que se esté trabajando:

	DEMANDA SUAVE	DEMANDA INTERMITENTE	DEMANDA ERRÁTICA	DEMANDA GRUMOSA
Inventario medio	Alisamiento exponencial	Alisamiento exponencial	Alisamiento exponencial	Alisamiento exponencial
Rotura de stock	Croston	Alisamiento exponencial	Alisamiento exponencial	Alisamiento exponencial
MAD	Syntetos & Boylan	Alisamiento exponencial	Alisamiento exponencial	Alisamiento exponencial
ECM	Croston	Syntetos & Boylan	Alisamiento exponencial	Alisamiento exponencial
MAPE'	Croston	Teunter	Shale-Boylan-Johnson	Teunter

Tabla 1. Tabla resumen de resultados. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver, en ningún tipo de demanda hay un único método que se pueda caracterizar como el mejor. Sin embargo, en todos los casos, hay un método que predomina sobre el resto, ya que presenta los valores más favorables para mayor número de medidas optimizadas. Para el caso de la demanda suave, el método predominante es el de Croston, por el contrario, para el resto de los tipos de demandas, es el método de alisamiento exponencial.

Debido a que hay métodos que presentan valores similares, se ha decidido realizar una tabla indicando todas las alternativas de los métodos y la diferencia porcentual con respecto al mejor valor obtenido. En primer lugar, se ha analizado la demanda suave (véase Tabla 2):

DEMANDA SUAVE										
Medida	[0-10)%	[10-20)%	[20-30)%	[30-40)%	[40-50)%	[50-60)%	[60-70)%	[70-80)%	[80-90)%	[90-100)%
Inventario medio	AE				SBJ S&B	Croston				Teunter
Rotura de stock	Croston						AE	Teunter		S&B SBJ
MAD	AE SBJ AE		Teunter							Croston
ECM	Croston S&B	SBJ			AE					Teunter
MAPE'	Croston SBJ S&B							AE		Teunter

Tabla 2. Diferencia porcentual. Demanda suave. Fuente: Elaboración propia.

Como ya se ha mencionado anteriormente, dependiendo de la medida que se quiera optimizar, el método de previsión más adecuado será uno u otro. Sin embargo, en esta tabla también se puede ver que hay casos en los que no hay un solo método que se pueda clasificar como el más adecuado, ya que como en el caso del MAD, del ECM y del MAPE' existe más de uno con unos valores verdaderamente interesantes y no se puede tomar un único método como el mejor por la similitud de los resultados generados. Si se quiere optimizar la desviación media absoluta (MAD), sería buena opción utilizar tanto el método de Syntetos & Boylan, como el de Shale-Boylan-Johnson o el alisamiento exponencial. Por otro lado, si se quiere

optimizar el error cuadrático medio (ECM) es recomendable utilizar Croston o Syntetos & Boylan.

Mientras que si lo que se quiere optimizar es el MAPE', estaría bien usar Croston, Shale-Boylan-Johnson o Syntetos & Boylan.

Para el caso de la demanda intermitente (véase Tabla 3):

DEMANDA INTERMITENTE										
Medida	[0-10)%	[10-20)%	[20-30)%	[30-40)%	[40-50)%	[50-60)%	[60-70)%	[70-80)%	[80-90)%	[90-100)%
Inventario medio	AE						Croston SBJ S&B			Teunter
Rotura de stock	AE						Teunter		Croston SBJ	S&B
MAD	AE									Croston SBJ S&B Teunter
ECM	Croston SBJ S&B								Teunter	AE
MAPE'	Teunter			AE						Croston SBJ S&B

Tabla 3. Diferencia porcentual. Demanda intermitente. Fuente: Elaboración propia.

El error cuadrático medio es la única medida que presenta más de un método interesante para utilizar, estos son: Croston, Shale-Boylan-Johnson o Syntetos & Boylan.

Con respecto a la demanda errática (véase Tabla 4):

DEMANDA ERRÁTICA										
Medida	[0-10)%	[10-20)%	[20-30)%	[30-40)%	[40-50)%	[50-60)%	[60-70)%	[70-80)%	[80-90)%	[90-100)%
Inventario medio	AE				Croston	Teunter				SBJ S&B
Rotura de stock	AE Croston						SBJ	S&B		Teunter
MAD	AE									Teunter
ECM	AE Croston						SBJ S&B			Teunter
MAPE'	SBJ S&B		Croston					Teunter		AE

Tabla 4. Diferencia porcentual. Demanda errática. Fuente: Elaboración propia.

Si se quiere optimizar la rotura de stock, el método de alisamiento exponencial y el de Croston van a presentar buenos resultados. En el caso de que sea el error cuadrático medio (ECM) lo que se quiera optimizar, sería buena opción utilizar alisamiento exponencial o Croston. Por último, si la intención es optimizar la medida de MAPE', lo mejor sería usar Shale-Boylan-Johnson o Syntetos & Boylan.

Finalmente, para el caso de demanda gruesa (véase Tabla 5):

Medida	DEMANDA GRUOSA									
	[0-10)%	[10-20)%	[20-30)%	[30-40)%	[40-50)%	[50-60)%	[60-70)%	[70-80)%	[80-90)%	[90-100)%
Inventario medio	AE	Croston SBJ S&B								Teunter
Rotura de stock	AE							Croston SBJ S&B		Teunter
MAD	AE						Croston SBJ S&B			Teunter
ECM	AE						Croston SBJ S&B			Teunter
MAPE'	Teunter						AE			Croston SBJ S&B

Tabla 5. Diferencia porcentual. Demanda gruesa. Fuente: Elaboración propia.

Está claro cuáles son los métodos más adecuados a utilizar en cada caso y ya se ha explicado anteriormente.

A modo resumen de lo anterior, se presenta la siguiente tabla, la cual recoge todos los resultados obtenidos y explicados con anterioridad (véase Tabla 6):

	Medida	[0-10]%	[10-20]%	[20-30]%	[30-40]%	[40-50]%	[50-60]%	[60-70]%	[70-80]%	[80-90]%	[90-100]%
Dem suave	Inventario medio	AE				SBJ S&B	Croston				Teunter
	Rotura de stock	Croston						AE	Teunter		S&B SBJ
	MAD	AE SBJ AE		Teunter							Croston
	ECM	Croston S&B	SBJ			AE					Teunter
	MAPE'	Croston SBJ S&B							AE		Teunter
Dem intermitente	Inventario medio	AE						Croston SBJ S&B			Teunter
	Rotura de stock	AE						Teunter		Croston SBJ	S&B
	MAD	AE									Croston SBJ S&B Teunter
	ECM	Croston SBJ S&B								Teunter	AE
	MAPE'	Teunter			AE						Croston SBJ S&B
Dem errática	Inventario medio	AE				Croston	Teunter				SBJ S&B
	Rotura de stock	AE Croston						SBJ	S&B		Teunter
	MAD	AE									Teunter
	ECM	AE Croston						SBJ S&B			Teunter
	MAPE'	SBJ S&B		Croston					Teunter		AE
Dem gruesa	Inventario medio	AE	Croston SBJ S&B								Teunter
	Rotura de stock	AE							Croston SBJ S&B		Teunter
	MAD	AE						Croston SBJ S&B			Teunter
	ECM	AE						Croston SBJ S&B			Teunter
	MAPE'	Teunter						AE			Croston SBJ S&B

Tabla 6. Tabla resumen de resultados. Fuente: Elaboración propia.

Como conclusión final queda demostrado, con la realización de estas tablas, que, en los escenarios estudiados, el alisamiento exponencial representa una opción muy favorable en cuanto a las medidas de funcionamiento en la gestión del inventario.

La finalidad de este proyecto ha sido alcanzada, ya que se han trabajado todos los objetivos desarrollados en el capítulo 1:

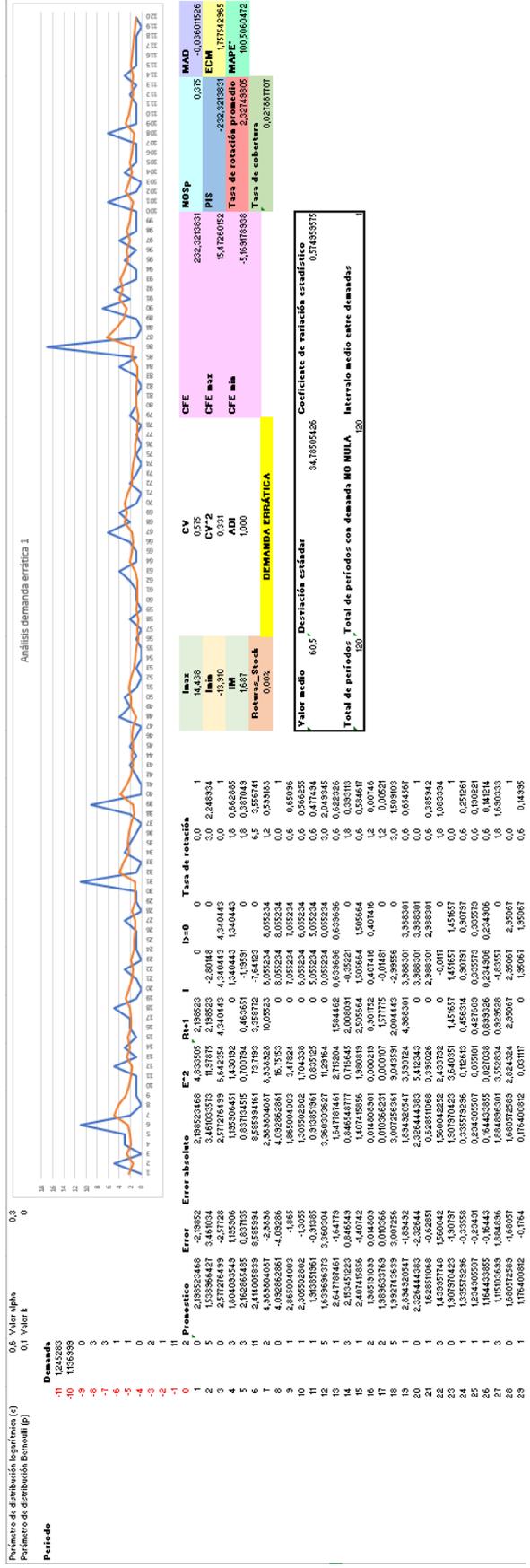
- Se han caracterizado los tipos de demanda en el capítulo 2.
- En el capítulo 3, se han dado a conocer los diferentes sistemas de previsión y se han estudiado las diferencias.
- En el capítulo 4, se han explicado los sistemas de previsión como sistemas de inventarios.
- En el capítulo 5, se ha abordado el objetivo relacionado con el análisis de los sistemas de previsión para la gestión de inventarios.
- Por último, se han extraído las conclusiones a nivel práctico en el capítulo 6.

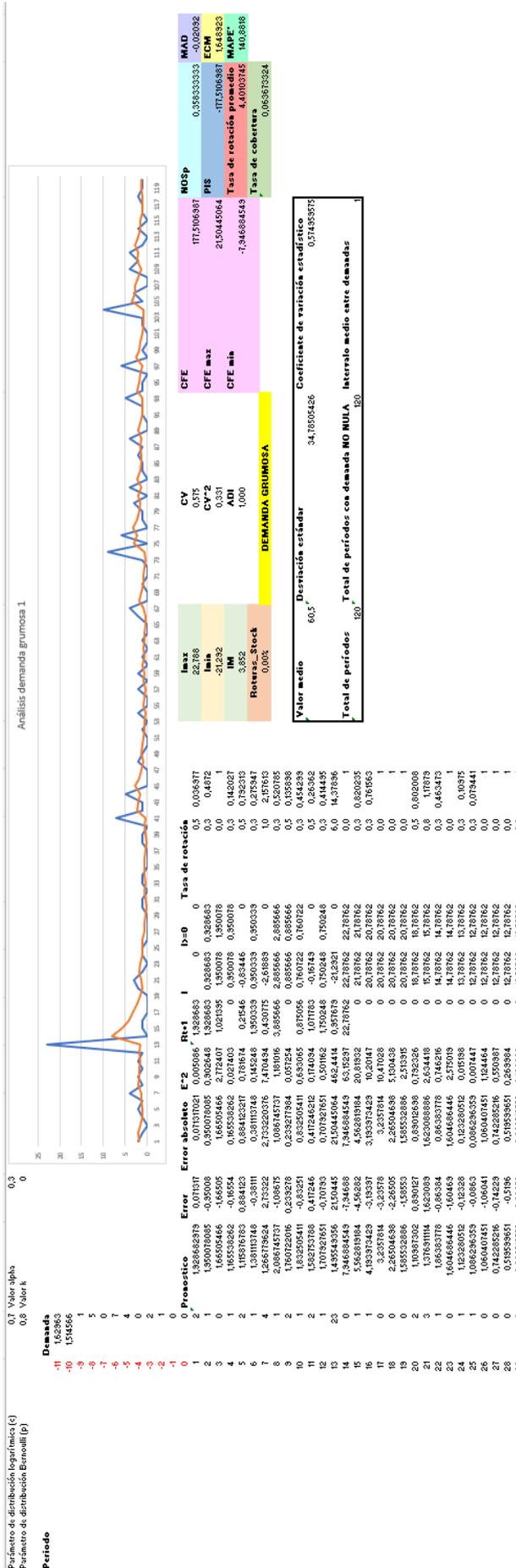
ANEXO 1.

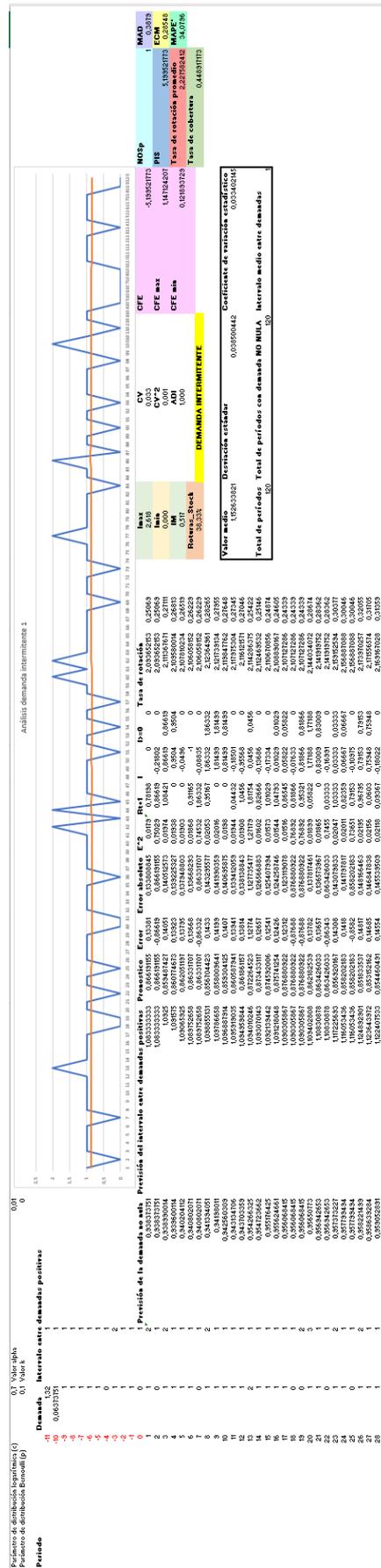
Implementación en EXCEL

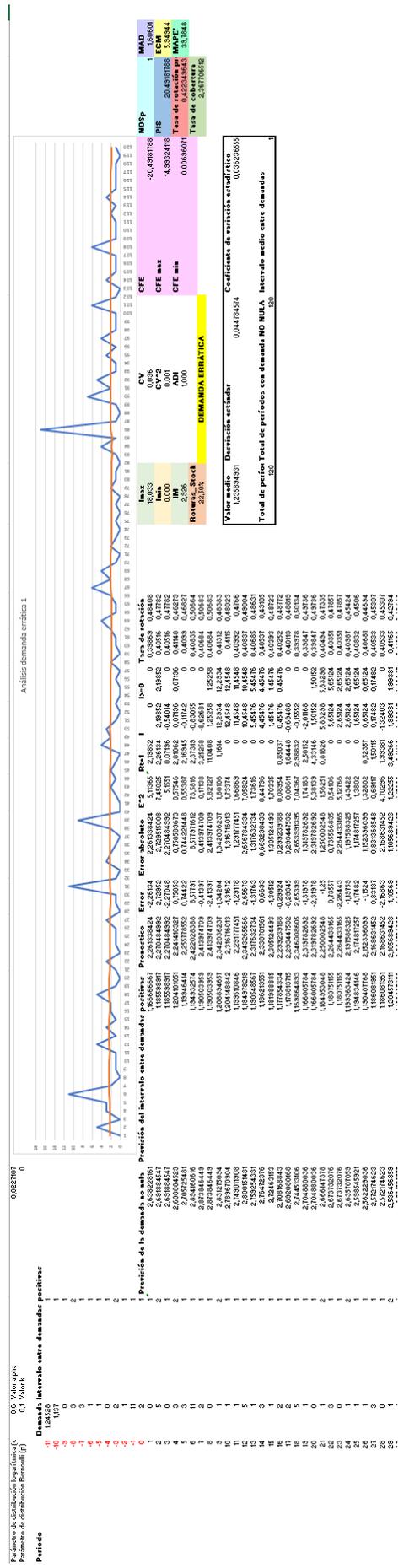
En este apartado de anexos se va a mostrar el análisis experimental realizado para cada tipo de demanda (suave, intermitente, errática y grumosa) con cada método de previsión (alisamiento exponencial, Croston, Shale-Boylan-Johnson, Syntetos & Boylan y Teunter). Como ya se ha mencionado con anterioridad, se han tomado diez series de datos distintas para cada uno de estos casos, pero en estos anexos sólo se mostrará el análisis para una serie de datos ya que sino la extensión de este apartado sería muy elevada.

Para una mayor resolución de los datos, en la imagen no se muestran los resultados para los 120 períodos, sino sólo para los 30 primeros. Para ellos se puede observar: el pronóstico de demanda, el error, el error absoluto, el error cuadrático, la cantidad de producto que se va a pedir para el siguiente período, la cantidad de inventario, la cantidad de inventario positivo y la tasa de rotación. A partir de estos resultados, se calculó: el inventario máximo, mínimo y medio, la rotura de stock, el coeficiente de variación estadística, el intervalo medio entre demandas, el error de pronóstico acumulativo (CFE mínimo y máximo), el porcentaje del número de desabastecimientos (NOSp), los períodos en stock (PIS), la tasa de rotación promedio, la tasa de cobertura, la desviación absoluta media (MAD), el error cuadrático medio (ECM) y la desviación absoluta porcentual media referida al pronóstico (MAPE').

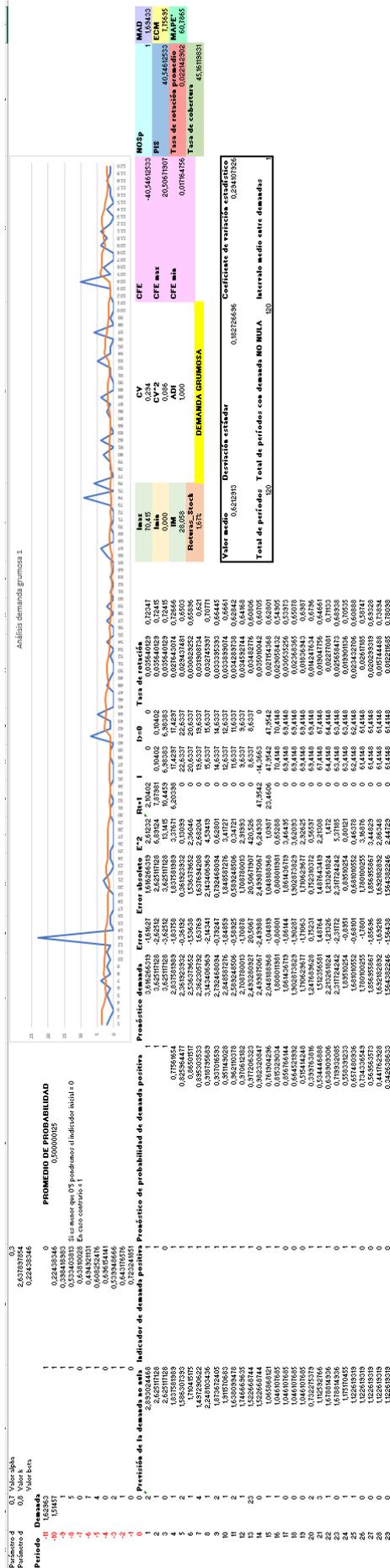












ANEXO 2.

Resultados

En este segundo apartado de anexos, se van a presentar de una forma clara y ordenada, los resultados óptimos obtenidos para cada tipo de demanda con cada método de previsión utilizado, según la medida que se desee optimizar. Además, se muestran las tablas con los valores de α , k y β que han logrado el valor óptimo de la medida que se pretendía optimizar. Por último, también se podrá ver los valores promedio de los resultados obtenidos. Estos están clasificados en una tabla según el tipo de demanda y el método de previsión utilizado.

ALISAMIENTO EXPONENCIAL

	DEMANDA SUAVE									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	0,216	0,496	0,215	0,35	0,572	0,205	0,219	0,226	0,359	0,472
Rotura de stock	0,83%	8,33%	4,17%	7,50%	2,50%	3,33%	53,33%	50,83%	31,67%	27,50%
MAD	0,3582	0,5562	0,3794	0,3952	0,6762	0,3056	0,311	0,3612	0,4315	0,5226
ECM	0,2006	0,7315	0,2297	0,5099	0,6455	0,2069	0,232	0,2642	0,4036	0,551
MAPE'	41,1635	74,1426	49,4363	38,8342	44,6347	37,3061	37,7898	41,8451	49,4295	46,9893

	DEMANDA INTERMITENTE									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	0,304	0,329	0,097	0,127	0,165	0,107	0,149	0,069	0,13	0,184
Rotura de stock	4,17%	3,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
MAD	0,4022	0,4246	0,0527	-0,003	-0,0106	0,0235	-0,013	0,1595	0,0781	-0,0586
ECM	0,2858	0,3215	0,4458	0,3782	0,4415	0,3896	0,4299	0,4742	0,4587	0,4136
MAPE'	48,7233	52,6683	68,6057	50,384	64,5209	53,9378	61,6898	75,8412	70,3546	55,7246

	DEMANDA ERRÁTICA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	1,687	0,393	0,41	0,592	1,927	0,215	0,553	0,442	0,546	2,567
Rotura de stock	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
MAD	-0,1928	0,0863	-0,0131	-0,0475	0,1600	-0,1076	-0,001	0,012	-0,0025	-0,0078
ECM	1,6345	0,6694	0,6165	0,8620	1,9064	0,3654	0,6921	0,7679	1,0002	2,8551
MAPE'	78,5638	62,3460	54,7359	66,5556	95,3398	35,7518	74,5651	72,1441	66,3457	120,2463

	DEMANDA GRUMOSA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	3,852	1,443	0,394	0,39	0,756	0,304	0,39	1,177	0,654	0,92
Rotura de stock	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
MAD	-0,2671	0,1881	-0,1377	-0,0016	0,2045	-0,0299	-0,0145	0,0124	0,086	0,0057
ECM	1,5008	0,9235	0,5433	0,5642	0,7638	0,5317	0,644	1,2268	0,8516	1,121
MAPE'	92,7150	163,1170	98,6969	120,5289	156,4717	91,8524	141,7861	168,3465	159,3611	94,3851

CROSTON

DEMANDA SUAVE										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	0,538	0,66	0,506	0,699	1,12	0,474	0,498	0,501	0,533	0,864
Rotura de stock	0,00%	0,83%	0,00%	0,00%	0,00%	0,83%	34,17%	35,83%	34,17%	26,67%
MAD	1,0098	1,0662	1,0470	1,1733	1,4030	0,9806	1,0427	0,9837	1,034	1,1151
ECM	0,2017	0,4683	0,2208	0,3666	0,4374	0,1789	0,2065	0,248	0,3461	0,4255
MAPE'	43,2994	30,8220	40,2200	10,5165	20,2242	27,6222	37,9576	37,9692	40,4896	5,8569

DEMANDA INTERMITENTE										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	0,517	0,702	0,506	0,542	0,519	0,472	0,632	0,524	0,521	0,532
Rotura de stock	10,00%	8,33%	10,00%	10,83%	9,17%	14,17%	32,50%	35,83%	29,17%	33,33%
MAD	0,3879	0,4253	0,4177	0,3633	0,4225	0,3607	0,3976	0,3908	0,4062	0,4224
ECM	0,2855	0,3118	0,2271	0,1921	0,2233	0,1888	0,2275	0,2477	0,2482	0,2527
MAPE'	34,0796	55,1633	103,9409	60,2643	97,8661	86,6383	67,9686	83,7499	103,1251	103,1251

DEMANDA ERRÁTICA										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	2,926	0,999	0,979	1,462	4,931	0,779	1,365	0,99	1,116	5,28
Rotura de stock	2,50%	5,83%	7,50%	5,00%	4,17%	10,00%	27,50%	30,00%	30,83%	21,67%
MAD	1,3864	0,6377	0,5936	0,784	1,7853	0,3927	0,5742	0,6388	0,8552	2,2572
ECM	4,4108	0,8551	0,8309	1,1452	6,9526	0,3882	0,7722	0,7424	1,1056	11,527
MAPE'	45,9517	9,6994	4,3658	9,8535	36,724	11,5018	8,4079	12,3207	22,5896	50,7645

DEMANDA GRUMOSA										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	5,559	2,153	0,648	1,171	1,052	0,828	0,93	1,698	1,323	1,371
Rotura de stock	2,50%	2,50%	0,83%	0,83%	2,50%	3,33%	19,17%	16,67%	24,17%	26,67%
MAD	1,4430	0,9505	0,5205	0,5737	0,7591	0,5233	0,6045	1,0197	0,7888	0,9187
ECM	5,6171	2,1237	0,3241	0,3896	1,0359	0,3191	0,5041	2,1098	1,0621	2,1777
MAPE'	18,0832	303,6509	147,4834	287,5101	395,0337	139,5568	52,4029	119,5884	119,9666	34,1434

SHALE-BOYLAN-JOHNSON

DEMANDA SUAVE										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	0,498	0,658	0,503	0,697	1,107	0,436	0,489	0,499	0,532	0,856
Rotura de stock	11,67%	9,17%	15,83%	11,67%	8,33%	20,00%	35,83%	38,33%	36,67%	31,75%
MAD	0,3323	0,4558	0,3406	0,3862	0,4298	0,2679	0,3081	0,3593	0,398	0,4491
ECM	0,2003	0,5235	0,2216	0,417	0,4934	0,1951	0,2188	0,2511	0,3665	0,4614
MAPE'	44,0231	24,6738	48,1808	11,5543	14,2484	32,5127	38,6544	33,9912	44,1888	6,7714

DEMANDA INTERMITENTE										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	0,513	0,699	0,505	0,52	0,502	0,432	0,573	0,523	0,494	0,584
Rotura de stock	10,83%	8,33%	7,50%	12,50%	9,17%	14,17%	34,17%	36,67%	33,33%	32,50%
MAD	0,3901	0,4181	0,4335	0,3539	0,4238	0,3841	0,399	0,4245	0,4421	0,3992
ECM	0,2842	0,3116	0,2287	0,1916	0,2229	0,1889	0,2262	0,2518	0,249	0,2249
MAPE'	34,7567	55,9469	120,3007	61,0737	98,8654	89,2692	68,817	90,8822	112,5671	68,9653

DEMANDA GRUMOSA										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	5,535	2,15	0,624	1,159	1,05	0,797	0,874	1,701	1,32	1,369
Rotura de stock	1,67%	2,50%	0,83%	0,83%	2,50%	5,00%	19,17%	16,67%	24,17%	28,33%
MAD	1,3565	0,9299	0,5022	0,5661	0,7603	0,524	0,5978	1,0194	0,7888	0,9195
ECM	5,685	2,1535	0,3174	0,3886	1,0623	0,3169	0,5028	2,1485	1,0624	2,2712
MAPE'	17,7795	305,6896	148,7333	289,4676	430,4612	140,7667	53,1726	151,5633	121,0775	35,5531

	DEMANDA ERRÁTICA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	2,896	0,997	0,973	1,459	16,839	0,642	1,332	0,989	3,746	5,252
Rotura de stock	4,17%	6,67%	7,50%	6,67%	4,17%	11,67%	24,17%	35,00%	14,17%	22,50%
MAD	1,3222	0,6548	0,5786	0,7825	1,6716	0,3593	0,5683	0,6364	0,7441	2,1302
ECM	6,0918	0,899	0,8672	1,1729	7,3322	0,3864	0,804	0,7586	1,2128	12,1534
MAPE'	30,5777	10,6277	4,6983	9,6028	33,7445	9,7645	8,3073	13,2978	22,1986	43,993

SYNTETOS & BOYLAN

	DEMANDA SUAVE									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	0,507	0,658	0,503	0,697	1,107	0,436	0,49	0,499	0,532	0,856
Rotura de stock	11,67%	7,50%	15,83%	11,67%	8,33%	20,83%	37,50%	35,83%	35,83%	31,67%
MAD	0,3323	0,4557	0,3401	0,3862	0,4266	0,2673	0,3081	0,3592	0,3978	0,4491
ECM	0,2003	0,5101	0,2216	0,4038	0,4778	0,1936	0,2184	0,2509	0,3637	0,4505
MAPE'	44,0195	24,3433	47,9525	11,5351	14,6496	32,3982	38,6509	33,9878	44,0258	6,759

	DEMANDA INTERMITENTE									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	0,513	0,699	0,505	0,52	0,502	0,468	0,585	0,523	0,5	0,587
Rotura de stock	10,83%	8,33%	7,50%	12,50%	9,17%	36,67%	34,17%	36,67%	33,33%	32,50%
MAD	0,39	0,4181	0,4429	0,3537	0,4238	0,384	0,399	0,4238	0,4413	0,3992
ECM	0,2842	0,3116	0,2286	0,1916	0,2229	0,1889	0,2262	0,2516	0,249	0,2249
MAPE'	34,7533	55,943	119,7191	61,0697	98,8604	89,2506	68,8127	90,8222	112,3808	68,961

	DEMANDA ERRÁTICA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	2,896	0,997	0,973	1,459	16,839	0,642	1,334	1,001	1,18	5,253
Rotura de stock	5,00%	6,67%	7,50%	5,83%	4,17%	10,00%	24,17%	35,00%	33,33%	22,50%
MAD	1,334	0,6541	0,5792	0,7805	1,6875	0,3593	0,5683	0,6519	0,7437	2,1442
ECM	4,595	0,8863	0,8562	1,1612	7,2501	0,3792	0,7943	0,7495	1,186	12,0168
MAPE'	32,9562	10,618	4,6965	9,6042	33,9024	9,7627	8,3078	13,287	24,7771	45,0069

	DEMANDA GRUMOSA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	5,535	2,15	0,624	1,159	1,05	0,797	0,885	1,701	1,32	1,369
Rotura de stock	2,50%	2,50%	0,83%	0,83%	2,50%	3,33%	19,17%	16,67%	24,17%	28,33%
MAD	1,367	0,9363	0,505	0,5671	0,7636	0,524	0,598	1,0194	0,7888	0,9195
ECM	5,6594	2,1465	0,3179	0,3886	1,056	0,3169	0,5012	2,1384	1,0624	2,2473
MAPE'	17,7827	305,6793	148,2771	289,4579	428,9911	140,7606	53,1688	131,295	121,072	35,5212

TEUNTER

	DEMANDA SUAVE									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	0,712	0,923	0,742	1,384	1,399	0,704	0,787	0,785	0,839	1,181
Rotura de stock	12,50%	21,67%	26,67%	9,17%	18,33%	17,50%	16,67%	18,33%	30,00%	26,67%
MAD	0,3994	0,6384	0,4755	0,6452	0,7837	0,4389	0,4228	0,4283	0,5539	0,708
ECM	0,3349	0,7103	0,4148	0,6141	0,8509	0,3385	0,3436	0,3402	0,4941	0,7404
MAPE'	49,7221	50,7023	50,4387	53,189	57,3955	49,4204	49,2594	49,5334	51,2981	55,254

	DEMANDA INTERMITENTE									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	0,716	0,995	0,767	0,701	0,768	0,684	0,842	0,752	0,653	0,87
Rotura de stock	15,00%	15,00%	15,83%	16,67%	15,83%	15,00%	14,17%	15,83%	18,33%	14,17%
MAD	0,4665	0,5115	0,3857	0,3817	0,3825	0,3516	0,4204	0,394	0,3999	0,3945
ECM	0,4379	0,4879	0,3478	0,3401	0,3408	0,3066	0,3912	0,3518	0,3513	0,3528
MAPE'	49,839	51,8373	48,8578	49,8874	48,1588	47,885	52,3007	49,107	50,4901	49,3102

	DEMANDA ERRÁTICA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	3,322	1,138	1,226	1,828	5,389	0,946	1,516	1,222	1,377	5,709
Rotura de stock	18,33%	20,00%	23,33%	20,00%	13,33%	23,33%	21,67%	16,67%	23,33%	19,17%
MAD	1,82	0,8326	0,869	0,9573	2,4595	0,5418	0,7417	0,8283	0,9653	2,909
ECM	6,5355	1,1543	1,168	1,4089	10,0732	0,5496	1,0239	0,966	1,7459	16,8679
MAPE'	67,835	56,8796	57,9547	60,0949	69,2606	51,9384	54,7523	58,1339	58,7491	76,2639

	DEMANDA GRUMOSA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inventario medio	29,649	2,419	0,922	1,413	1,333	0,949	1,05	1,902	1,681	1,665
Rotura de stock	1,67%	12,50%	14,17%	13,33%	15,83%	16,67%	14,17%	18,33%	17,50%	16,67%
MAD	1,6876	1,0302	0,5812	0,6538	0,7999	0,5307	0,6427	1,1122	0,8687	1,0558
ECM	7,5471	2,5216	0,4451	0,5267	1,166	0,3852	0,6084	2,4656	1,1998	2,8057
MAPE'	60,7865	55,3832	56,5609	59,5837	58,5281	50,0016	50,8897	49,7567	62,5825	57,2546

VALORES ÓPTIMOS DE ALPHA

- Alisamiento exponencial:

DEMANDA SUAVE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,1065	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,1406	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,0165	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

DEMANDA INTERMITENTE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,0444	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,0601	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,0444	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

DEMANDA ERRÁTICA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

DEMANDA GRUMOSA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,059	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

- Croston:

DEMANDA SUAVE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0542	0,01	0,01	0,01	0,0571	0,0838	0,0444	0,01	0,01	0,01
0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,098	0,3	0,3
0,3	0,01	0,01	0,01	0,3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,0426	0,3	0,044	0,3	0,3	0,3	0,3	0,098	0,3	0,3
0,01	0,1159	0,1604	0,0327	0,1247	0,0852	0,01	0,0833	0,0949	0,0245

DEMANDA INTERMITENTE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,01	0,01	0,01	0,0415	0,0327	0,01	0,113	0,01	0,01	0,1
0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,113	0,1412	0,3	0,1
0,01	0,0954	0,3	0,3	0,01	0,3	0,01	0,3	0,3	0,1
0,01	0,01	0,0449	0,0121	0,01216	0,01	0,0271	0,1979	0,0285	0,1
0,01	0,01	0,3	0,01	0,01	0,0432	0,01	0,1412	0,1236	0,1

DEMANDA ERRÁTICA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0227	0,01	0,01	0,01	0,0405	0,01	0,0763	0,01	0,01	0,0223
0,0748	0,3	0,01	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,0223
0,3	0,3	0,2177	0,3	0,3	0,3	0,0493	0,01	0,01	0,3
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
0,0748	0,0202	0,01	0,0121	0,1118	0,3	0,01	0,0209	0,01	0,3

DEMANDA GRUMOSA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0324	0,01	0,1553	0,0566	0,01	0,1284	0,1058	0,01	0,01	0,01
0,1	0,1	0,01	0,1	0,1	0,1	0,01	0,3	0,01	0,3
0,3	0,01	0,2731	0,0922	0,01	0,0572	0,3000	0,0100	0,01	0,0120
0,3	0,3	0,1786	0,0359	0,3	0,073	0,3000	0,3000	0,01	0,3000
0,0237	0,01	0,01	0,01	0,1749	0,01	0,0100	0,1620	0,01	0,0389

- Shale-Boylan-Johnson:

DEMANDA SUAVE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,3	0,01	0,01	0,01	0,3	0,172	0,0506	0,01	0,01	0,01
0,1	0,3	0,0744	0,3	0,1	0,1	0,0513	0,01	0,0594	0,0245
0,01	0,0897	0,0575	0,01	0,2886	0,056	0,01	0,01	0,0401	0,01
0,0636	0,3	0,0456	0,3	0,3	0,1604	0,1072	0,0783	0,1832	0,3
0,01	0,1073	0,0744	0,0321	0,1699	0,0664	0,01	0,01	0,0594	0,0245

DEMANDA INTERMITENTE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0303	0,0167	0,01	0,3	0,0579	0,01	0,3	0,01	0,3	0,135
0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,1	0,01	0,01	0,0934	0,01
0,01	0,01	0,0842	0,01	0,01	0,3	0,01	0,0821	0,0934	0,01
0,0869	0,01	0,0432	0,0134	0,0148	0,01	0,0286	0,0762	0,0235	0,0335
0,01	0,01	0,0958	0,01	0,01	0,0195	0,01	0,0341	0,0561	0,01

DEMANDA ERRÁTICA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0309	0,01	0,0259	0,018	0,1089	0,0766	0,1135	0,01	0,3	0,0288
0,01	0,0194	0,01	0,1	0,1	0,1	0,01	0,01	0,01	0,0288
0,0439	0,1491	0,1045	0,2572	0,3	0,0135	0,0419	0,01	0,3	0,3
0,01	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
0,01	0,0194	0,01	0,0116	0,1122	0,01	0,01	0,0208	0,01	0,3

DEMANDA GRUMOSA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0364	0,01	0,2175	0,0806	0,01	0,3	0,3	0,01	0,01	0,01
0,023	0,1	0,01	0,1	0,1	0,1	0,01	0,3	0,01	0,3
0,3	0,3	0,3	0,1893	0,3	0,0426	0,3	0,01	0,01	0,0125
0,3	0,3	0,2346	0,0417	0,3	0,0761	0,2915	0,3	0,01	0,3
0,023	0,01	0,01	0,01	0,0982	0,01	0,01	0,0646	0,01	0,041

- Syntetos & Boylan:

DEMANDA SUAVE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,3	0,01	0,01	0,01	0,3	0,172	0,0505	0,01	0,01	0,01
0,1	0,1	0,0592	0,3	0,1	0,1	0,0505	0,0812	0,0624	0,3
0,01	0,089	0,0592	0,01	0,3	0,0578	0,01	0,01	0,0399	0,01
0,064	0,3	0,046	0,3	0,3	0,2197	0,1373	0,0812	0,2305	0,3
0,01	0,1103	0,0767	0,032	0,1722	0,0579	0,01	0,01	0,0624	0,0246

DEMANDA INTERMITENTE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0303	0,0167	0,01	0,3	0,0579	0,01	0,3	0,01	0,3	0,1339
0,1	0,01	0,0893	0,01	0,1	0,01	0,3	0,01	0,1026	0,01
0,01	0,01	0,0893	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0896	0,1026	0,01
0,0887	0,01	0,0435	0,0134	0,0148	0,01	0,0285	0,0831	0,0237	0,0335
0,01	0,01	0,0998	0,01	0,01	0,0197	0,01	0,0356	0,0589	0,01

DEMANDA ERRÁTICA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0309	0,01	0,0259	0,018	0,1089	0,0766	0,1169	0,0662	0,104	0,0285
0,1	0,0194	0,01	0,2828	0,1	0,3	0,01	0,0654	0,1353	0,0285
0,3	0,1523	0,1076	0,2828	0,3	0,0135	0,0419	0,0654	0,3	0,0285
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
0,0722	0,0194	0,01	0,0116	0,1128	0,01	0,01	0,0208	0,1353	0,3

DEMANDA GRUMOSA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0364	0,01	0,2175	0,0806	0,01	0,3	0,3	0,01	0,01	0,01
0,1	0,1	0,01	0,1	0,1	0,01	0,01	0,3	0,01	0,3
0,3	0,3	0,3	0,162	0,1407	0,0431	0,3	0,01	0,01	0,0125
0,3	0,3	0,2272	0,0413	0,3	0,0758	0,3	0,3	0,01	0,3
0,023	0,01	0,01	0,01	0,1019	0,01	0,01	0,0672	0,01	0,0409

- Teunter:

DEMANDA SUAVE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0932	0,01	0,0934	0,012	0,0618	0,01	0,06	0,0245	0,01	0,01
0,3	0,01	0,0934	0,012	0,3	0,01	0,1131	0,0187	0,01	0,01
0,1104	0,01	0,1107	0,0218	0,1569	0,01	0,0557	0,0241	0,01	0,01
0,1849	0,01	0,0693	0,0107	0,0794	0,01	0,044	0,0211	0,01	0,01
0,3	0,01	0,1069	0,0297	0,3	0,01	0,1131	0,0187	0,01	0,01

DEMANDA INTERMITENTE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0865	0,0461	0,1283	0,078	0,0829	0,0821	0,0773	0,045	0,0814	0,0891
0,1496	0,287	0,1817	0,1394	0,1627	0,2062	0,2855	0,1982	0,2328	0,2437
0,069	0,065	0,0427	0,0462	0,0434	0,0626	0,0754	0,055	0,0423	0,0613
0,0702	0,074	0,0715	0,0704	0,099	0,0932	0,1395	0,0711	0,073	0,0927
0,1496	0,287	0,1817	0,1394	0,1627	0,2062	0,2855	0,1982	0,2328	0,2437

DEMANDA ERRÁTICA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0579	0,1869	0,0512	0,0301	0,0315	0,0587	0,0921	0,01	0,01	0,02
0,3	0,3	0,087	0,2412	0,1025	0,0587	0,0921	0,2914	0,01	0,02
0,0701	0,1597	0,087	0,1036	0,1025	0,1026	0,0758	0,0864	0,01	0,0463
0,0412	0,0797	0,0428	0,0729	0,0369	0,0697	0,0458	0,0792	0,01	0,0115
0,3	0,3	0,0851	0,2412	0,3	0,3	0,3	0,2914	0,01	0,3

DEMANDA GRUMOSA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,3	0,1384	0,1664	0,1007	0,0946	0,1972	0,2136	0,2544	0,0449	0,01
0,3	0,2514	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2544	0,0449	0,0201
0,2099	0,2514	0,2674	0,1245	0,1099	0,1628	0,1571	0,0624	0,0827	0,0458
0,118	0,1109	0,2142	0,1439	0,1102	0,195	0,1607	0,0624	0,0793	0,01
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0201

VALORES ÓPTIMOS DE K:

- Alisamiento exponencial:

DEMANDA SUAVE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3,0000543	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3,0000543	3	3	3	3	3	3	3	3	3

DEMANDA INTERMITENTE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3,0330	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3,0330	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3,0330	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3,0497	3	3	3	3	3	3	3	3	3

DEMANDA ERRÁTICA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3,0271	3	3	3	3	3	3	3	3	3

DEMANDA GRUMOSA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3,0103	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3,0103	3	3	3	3	3	3	3	3	3

- Croston:

DEMANDA SUAVE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	3	3	3	3	0	0	0	0
3	3	3	3	3	3	0	0	0	0
2,9809	3	3,0062	3	3	3	0	0	0	0
2,9809	2,6289	3,0062	2,6837	2,9563	2,9139	0	0	0	0

DEMANDA INTERMITENTE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	3	3	3	3	0	0	0	0
3	3	3	3	3	3	0	0	0	0
3	3	2,9293	3,0002	3,0002	3	0	0	0	0
3	3	2,9293	3,0002	3,0002	3,0002	0	0	0	0

DEMANDA ERRÁTICA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0,0389	0	0	0	0	0
2,9805	3	3	3	3	3	0	0	0	0
3	3	3,0001	3	3	3	0	0	0	0
3	3	3,0001	3	3	3	0	0	0	0
2,9805	3,0003	3,0001	3,0003	2,9958	3	0	0	0	0

DEMANDA GRUMOSA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	3	3	3	3	0	0	0	0
3	3	3	3	3	3	0	0	0	0
3	3	3	3	3	3	0	0	0	0
2,4291	3	3	3	2,9957	3	0	0	0	0

- **Shale-Boylan-Johnson:**

DEMANDA SUAVE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0,1708	0	0	0	0	0
3	2,6958	3	3	3	3	0,025	0	0	0
3	2,6958	3	3	2,9878	3	0,025	0	0	0
3,0019	2,6958	3	3	2,9878	3	0,0251	0	0	0
3,0019	2,6755	3	2,9462	2,9751	3	0,0251	0	0	0

DEMANDA INTERMITENTE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	3,0003	3	3	3	0	0	0	0
3	3	3	3	3	3	0	0	0	0
3,0131	3	3	3,0008	3,0015	3	0	0	0	0
3,0131	3	3	3,0008	3,0015	3,0048	0	0	0	0

DEMANDA ERRÁTICA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	2,9148	0	0	0	2,1296	0
3	3,0003	3	3	3	3	0	0	2,1296	0
3	3	3	3	3	3,0006	0	0	2,1296	0
3	3	3	3	3	3,0006	0	0	2,1296	0
3	3,0003	3	3,0003	2,9954	3,0006	0	0	2,1296	0

DEMANDA GRUMOSA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0,0184	0	0
2,8235	3	2,9904	3	3	3	0	0,0184	0	0
3	3	3	3	3	3	0	0,0184	0	0
3	3	2,9904	3	3	3	0	0,0184	0	0
2,8235	3	2,9904	3	2,9244	3	0	0,0184	0	0

- Syntetos & Boylan:

DEMANDA SUAVE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0,1708	0	0	0	0	0
3	3	3	3	3	3	0	0	0	0
3	3	3	3	3	3	0	0	0	0
3,0038	3	3	3	3	3	0	0	0	0
3,0038	2,9672	3	2,9142	2,989	3	0	0	0	0

DEMANDA INTERMITENTE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	3	3	3	0	0	0	0	0
3	3	3	3	3	0	0	0	0	0
3,0686	3	3	3,0008	3,0015	0	0	0	0	0
3,0686	3	3	3,0008	3,0015	0	0	0	0	0

DEMANDA ERRÁTICA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	2,9148	0	0	0	0,0609	0
3	3,0038	3	2,9504	3	3,0075	0	0	0,0609	0
3	3	3	2,9504	3	3,0075	0	0	0,0609	0
3	3	3	2,9504	3	3,0075	0	0	0,0609	0
2,8853	3,0038	3	2,9507	2,9148	3,0075	0	0	0,0609	0

DEMANDA GRUMOSA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0,0184	0	0
3	3	2,9913	3	3	3	0	0,0184	0	0
3	3	3	3	3	3	0	0,0184	0	0
3	3	2,9913	3	3	3	0	0,0184	0	0
2,7883	3	2,9913	3	2,9229	3	0	0,0183	0	0

- Teunter:

DEMANDA SUAVE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

DEMANDA INTERMITENTE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

DEMANDA ERRÁTICA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0,0449	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0,0449	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0,0449	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0,0449	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0,0449	0	0	0	0	0

DEMANDA GRUMOSA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,8556	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,8556	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,7885	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,7885	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,7885	0	0	0	0	0	0	0	0	0

VALORES ÓPTIMOS DE BETA (Método de Teunter)

DEMANDA SUAVE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,01	0,01	0,01	0,99	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,2204	0,9866	0,8887	0,99	0,9471	0,9382	0,8292	0,9255	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,2204	0,9866	0,8887	0,99	0,9471	0,9382	0,8292	0,9255	0,9518	0,1786

DEMANDA INTERMITENTE									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,8205	0,6879	0,7388	0,01	0,5946	0,7092	0,5638	0,6731	0,5981	0,5147
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,8205	0,6879	0,7388	0,7328	0,5946	0,7092	0,5638	0,6731	0,5981	0,5147

DEMANDA ERRÁTICA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,9083	0,2339	0,01	0,1835	0,3831	0,01	0,01	0,7534	0,1523	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,3831	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,9083	0,2339	0,99	0,1835	0,9756	0,7264	0,6635	0,7534	0,1523	0,99

DEMANDA GRUMOSA									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,2244	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1599	0,01
0,2244	0,01	0,1411	0,3388	0,1922	0,2065	0,2873	0,01	0,1599	0,99
0,2784	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,2709	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,2244	0,1069	0,1411	0,3388	0,1922	0,2065	0,2873	0,1242	0,266	0,99

VALORES PROMEDIO DE LOS RESULTADOS

	DEMANDA SUAVE				
	ALISAMIENTO EXPONENCIAL	CROSTON	SHALE-BOYLAN-JOHNSON	SYNTETOS & BOYLAN	TEUNTER
Inventario medio	0,333	0,6393	0,6275	0,6285	0,9456
Rotura de stock	19,00%	13,25%	21,93%	21,67%	19,75%
MAD	0,42971	1,08554	0,37271	0,37224	0,54941
ECM	0,39749	0,30998	0,33487	0,32907	0,51818
MAPE'	46,15711	29,49776	29,87989	29,83217	51,62129

DEMANDA INTERMITENTE					
ALISAMIENTO EXPONENCIAL	CROSTON	SHALE-BOYLAN-JOHNSON	SYNTETOS & BOYLAN	TEUNTER	
0,1661	0,5467	0,5345	0,5402	0,7748	
0,75%	19,33%	19,92%	22,17%	15,58%	
0,10554	0,39944	0,40683	0,40758	0,40883	
0,40388	0,24047	0,23798	0,23795	0,37082	
60,24502	79,59212	80,14442	80,05728	49,76733	

DEMANDA ERRÁTICA					
ALISAMIENTO EXPONENCIAL	CROSTON	SHALE-BOYLAN-JOHNSON	SYNTETOS & BOYLAN	TEUNTER	
0,9332	2,0827	3,5125	3,2574	2,3673	
0,00%	14,50%	13,67%	15,42%	19,92%	
-0,01140	0,99051	0,94480	0,95027	1,29245	
1,13695	2,87300	3,16783	2,98746	4,14932	
72,65941	21,21789	18,68122	19,29188	61,18624	

DEMANDA GRUMOSA					
ALISAMIENTO EXPONENCIAL	CROSTON	SHALE-BOYLAN-JOHNSON	SYNTETOS & BOYLAN	TEUNTER	
1,028	1,6733	1,6579	1,659	4,2983	
0,00%	9,92%	10,17%	10,08%	14,08%	
0,00459	0,81018	0,79645	0,79887	0,89628	
0,86707	1,56632	1,59086	1,58346	1,96712	
128,72607	161,74194	169,42644	167,20057	56,13275	

REFERENCIAS

- Babiloni Griñón, M. E., & Cardós Carboneras, M. (2009). *Una metodología para la estimación eficiente del stock de referencia en políticas de revisión periódica con demanda discreta*.
- Brown, R. G., & Meyer, R. F. (1961). The fundamental theorem of exponential smoothing. *Operations Research*, 9(5), 673-685.
- Croston, J. D. (1970). Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands. In *Source: Operational Research Quarterly* (Vol. 23, Issue 3). <https://www.jstor.org/stable/3007885>
- Deep & Shallow. (7 de octubre, 2020). *Forecast Error Measures: Intermittent Demand*.
- <https://deep-and-shallow.com/2020/10/07/forecast-error-measures-intermittent-demand/>
- Diaz, Z., Ivan, F., Trujillo, S., & Cabrera, G. (2008). *MODELOS DE ELECCION DISCRETA: REVISION Y APLICACION MEDIANTE CUADRATURA GAUSSIANA*.
- García Sabater, J. P. (2020). *Previsión de Demanda*. <http://hdl.handle.net/10251/152734><http://hdl.handle.net/10251/152734>
- Hemeimat, R., Al-Qatawneh, L., Arafeh, M., & Masoud, S. (2016a). Forecasting Spare Parts Demand Using Statistical Analysis. *American Journal of Operations Research*, 06(02), 113–120. <https://doi.org/10.4236/ajor.2016.62014>
- Hemeimat, R., Al-Qatawneh, L., Arafeh, M., & Masoud, S. (2016b). Forecasting Spare Parts Demand Using Statistical Analysis. *American Journal of Operations Research*, 06(02), 113–120. <https://doi.org/10.4236/ajor.2016.62014>
- IBM. (6 de marzo, 2021) *¿Qué es la gestión de inventario?*
- <https://www.ibm.com/mx-es/topics/inventory-management>

Kaya, G. O., Sahin, M., & Demirel, O. F. (2020). Intermittent demand forecasting: a guideline for method selection. *Indian Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s12046-020-1285-8S>

Las movies del commerce. (11 de marzo, 2016). *Los tipos de demanda*.

- <https://lasmoviesdelcommerce.wordpress.com/2016/03/11/tipos-de-demanda/>

Mecalux Esmena. (18 de octubre de 2019). *Las ventajas del método ABC para la clasificación de inventarios en el almacén*.

- <https://www.mecalux.es/blog/metodo-abc-clasificacion-almacen>

René Santa Cruz, R., & Corrêa, C. (2017). Previsión de demanda intermitente con métodos de series de tiempo y redes neuronales artificiales: Estudio de caso. *DYNA (Colombia)*, 84(203), 9–16. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n203.63141>

Rosas, J. A., & Cortes, E. L. (2013). *Propuesta de una metodología de planeación y de los inventarios de medicamentos y dispositivos médicos*.

Santesmases Mestre, M. (2007). Conceptos y estrategias. *M. Santesmases Mestre, Marketing: Conceptos y Estrategias*.

Seijas, C. (2002). *MODELO ESTOCÁSTICO DE LA SERIE DE TIEMPO ECONÓMICA “INFLACIÓN EN VENEZUELA (JUNIO/95 A JULIO/2000).”*

Syntetos, A. A., & Boylan, J. E. (2005). The accuracy of intermittent demand estimates. *International Journal of Forecasting*, 21(2), 303–314. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2004.10.001>

Teunter, R. H., Syntetos, A. A., & Babai, M. Z. (2011a). Intermittent demand: Linking forecasting to inventory obsolescence. *European Journal of Operational Research*, 214(3), 606–615. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.05.018>

Teunter, R. H., Syntetos, A. A., & Babai, M. Z. (2011b). Intermittent demand: Linking forecasting to inventory obsolescence. *European Journal of Operational Research*, 214(3), 606–615. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.05.018>

