

Nota de Aceptación

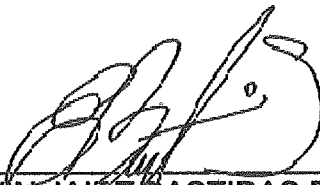
Aprobado por el Comité de Proyecto de Diseño II en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar el título de Ingeniero Industrial.



Dr. JAIME AGUILAR ZAMBRANO
Decano de la Facultad de Ingeniería



ING. JORGE ENRIQUE ÁLVAREZ PATIÑO
Director(a) Carrera Ingeniería



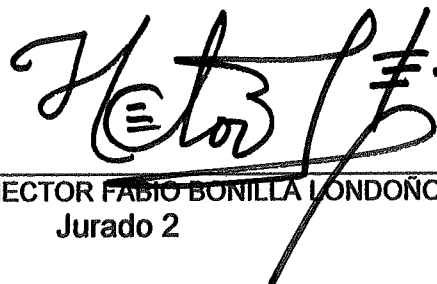
ING. EDWIN JARRT BASTIDAS BONILLA
Director(a) Proyecto de Diseño



ING. DANIEL MORILLO TORRES
Director(a) Proyecto de Diseño



ING. LUIS ALONSO VELASCO ROLDAN
Jurado 1



ING. HECTOR FABIO BONILLA LONDOÑO
Jurado 2

Santiago de Cali, junio 10 de 2019

Jorge Enrique Álvarez Patiño

Director del programa de Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Pontificia Universidad Javeriana Cali
Ciudad Cali

Reciba usted un cordial saludo.

Después de haber hecho seguimiento al proyecto de diseño bajo mi dirección denominado “*Diseño de una política de inventarios para una empresa textil*”, código 2018206, desarrollado por los estudiantes de Ingeniería Industrial Daniela Cruz Restrepo, Sebastian Pacheco Giessenow, Javier Escobar Abbad y Pablo Rodríguez Gomez con códigos 5609051, 2299194, 5301280 y 5869419 respectivamente, considero que este cumple a cabalidad con los objetivos propuestos. De igual manera, he leído el documento final a cabalidad el cual avalo que está listo para ser entregado y evaluado.

Cordialmente,



Edwin Jair Bastidas Bonilla

Director(a) del Proyecto
CC 94.409.002 de Cali

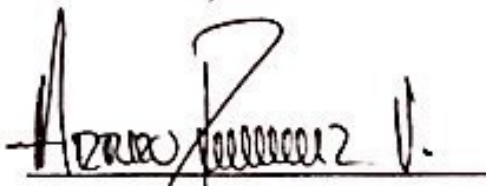
Santiago de Cali, junio 10 de 2019

Cordial saludo,

El proyecto de diseño denominado "*Diseño de una política de inventarios para una empresa textil*", código 2018206, desarrollado por los estudiantes de Ingeniería Industrial Daniela Cruz Restrepo, Sebastian Pacheco Giessenow, Javier Escobar Abbad y Pablo Rodríguez Gómez con cédulas de ciudadanía 1115193927, 1144095162, 1125618403 y 1107092693 respectivamente, fue revisado por Aritex de Colombia S.A.S.

De igual manera, se garantiza el trabajo realizado por dichos estudiantes dentro de la bodega en cuanto a la toma y recolección de datos. La propuesta será revisada tomando en cuenta las recomendaciones que se realizaron en el documento escrito para una posible implementación a futuro.

Cordialmente,



Arturo Ramírez V.
Administrador de la bodega
CC 16.732.017 de Santiago de Cali.



Diseño de una política de inventarios para una empresa del sector confecciones

Daniela Cruz Restrepo^{a,c} , Javier Escobar Abbad^{a,c} , Sebastián Pacheco Giessenow^{a,c} , Pablo Rodríguez Gómez^{a,c}

Edwin Jairt Bastidas Bonilla^{b,c} , Daniel Morillo Torres^b

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

Resumen

El presente proyecto de diseño se realizó en una empresa del sector confecciones, la cual está perdiendo clientes debido a su incapacidad para atender la demanda a causa de la falta de un método de pronóstico que se ajuste a esta. Para dar solución a este problema se hizo uso de los métodos clásicos de pronósticos, escogiendo el de menor error porcentual. Por otra parte, como requerimiento de la empresa, se hizo entrega de un modelo matemático el cual determinó la cantidad a pedir, inventario en bodega y número de faltantes con el fin de maximizar el EBITDA de la empresa. Al comparar la situación actual de la empresa con la esperada se evidenció una mejora de 12,48% el cual representa 38'185.520 COP anuales. Para los productos seleccionados y un ahorro del 91,91% que representan 20'081.160 COP en costos asociados a mantenimiento de inventario, esta mejora fue posible gracias a los bajos niveles de inventario con los que contaría la bodega. Por lo tanto se puede afirmar que las empresas deben de conocer a profundidad su demanda y basarse en el método más apropiado de pronóstico, con el fin de predecir su comportamiento.

Palabras claves: Demanda, Modelo matemático, Programación entera mixta, Inventario, EBITDA, Pronósticos.

EBITDA: Beneficios antes de impuestos, intereses, amortizaciones y depreciaciones.

Abstract (in English)

This project was carried out in a textile company which is losing customers due to its inability to meet the demand because of the lack of a forecasting method. To solve this problem, the classic forecasting methods were applied, choosing the one with the lowest percentage error. On the other hand, as a requirement of the company, a mathematical model was delivered which determined the quantity to be ordered, inventory in the warehouse and number of missing items in order to maximize the EBITDA of the company. When comparing the current situation of the company with the expected one, an improvement of 12.48% was evidenced for the selected products and a saving of 91.91% in costs associated with maintaining inventory, this improvement was possible thanks to the low inventory levels with which the winery would count. Given the foregoing, it can be stated that companies must know in depth the behavior of their demand based on the most appropriate method of forecasting.

Key Words: Demand, Mixed Integer Linear Programming, Inventory, EBITDA, Forecasts.

Tabla de contenido.

1. Definir	3
2. Medir	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Metodología.....	4
2.3. Mediciones.....	7
3. Análisis.....	7

3.1. Análisis de causas	11
3.2. Exploración de ideas	11
4. Mejorar / Diseñar	12
4.1. Selección de la mejor solución.....	14
4.2. Desarrollo del diseño de la solución	15
4.3. Medición de los impactos	22
5. Control / Verificación	23
5.1. Instrumentos de validación	23
5.2. Estandarización de la solución – POE’S (plan de control).....	24
5.3. Conclusiones.....	25
5.4. Recomendaciones	25
6. Glosario	26
7. Tabla de Anexos	26
8. Referencias	27

1. Definir

PROJECT CHARTER																																													
Descripción (Business case)																																													
<p>La compañía la cual proporcionó los datos para el posible desarrollo de este proyecto de diseño no será revelada por cuestiones de confidencialidad, por lo tanto, en el presente documento se hará referencia a la compañía como “LA EMPRESA”. Esta compañía está dedicada a la fabricación y distribución de prendas de vestir para hombres, mujeres y niños. Esta empresa se fundó en la ciudad de Santiago de Cali en el año 1993. Actualmente, cuenta con una gran variedad de líneas de productos, siendo la línea básica de <i>camibusos</i>, <i>camisetas cuello redondo</i> y <i>camisetas cuello en v</i> las de mayor impacto en el mercado. La bodega principal de la empresa está ubicada en el Barrio San Nicolás en el centro de Cali y se encarga de la distribución a clientes mayoristas.</p> <p>LA EMPRESA cuenta con una curva de producción, la cual es la cantidad a producir de cada referencia para cada talla (S, M, L, XL, XXL). En el caso de los <i>camibusos</i>, la curva de producción es (S=1, M= 2, L=2, XL=1, XXL=1). Esta curva es calculada de modo que se utilice de forma eficiente la materia prima. Esto genera una mayor cantidad de inventario en ciertas tallas en bodega. Así mismo, hay referencias y colores con mayor fabricación, las cuales causan mayor disponibilidad en stock.</p>																																													
<p>Planteamiento del problema (Problem statement)</p> <p>LA EMPRESA cuenta con una política de ventas flexible para el cliente, es decir, el cliente puede pedir la cantidad que requiera en la talla que necesite y el color deseado. De este modo, LA EMPRESA dependiendo de su inventario disponible permite que el cliente ordene acorde a sus necesidades.</p> <p>El problema principal es la pérdida de clientes debido a su incapacidad para atender la demanda a causa de una mala planeación de pedidos. Esto puede ser por falta de un método de pronóstico, mal manejo de inventario o una deficiente administración de la capacidad necesaria.</p>	<p style="text-align: center;">Impacto de los actores (Stakeholder's business needs)</p> <table border="1"> <caption>Stakeholder Map Data</caption> <thead> <tr> <th>Stakeholder</th> <th>Interés (X)</th> <th>Poder (Y)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Gerencia</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>Área Financiera</td><td>8</td><td>9</td></tr> <tr><td>Proveedores</td><td>9</td><td>9</td></tr> <tr><td>Área de distribución y logística</td><td>10</td><td>8</td></tr> <tr><td>Administrador de la bodega</td><td>10</td><td>7</td></tr> <tr><td>Desarrolladores del Proyecto</td><td>10</td><td>7</td></tr> <tr><td>Socios e inversionistas</td><td>6</td><td>5</td></tr> <tr><td>Clientes mayoristas</td><td>8</td><td>3</td></tr> <tr><td>Clientes minoristas</td><td>8</td><td>2</td></tr> <tr><td>Clientes institucionales</td><td>6</td><td>2</td></tr> <tr><td>Trabajadores</td><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>Competidores</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>DIAN</td><td>2</td><td>4</td></tr> </tbody> </table>			Stakeholder	Interés (X)	Poder (Y)	Gerencia	10	10	Área Financiera	8	9	Proveedores	9	9	Área de distribución y logística	10	8	Administrador de la bodega	10	7	Desarrolladores del Proyecto	10	7	Socios e inversionistas	6	5	Clientes mayoristas	8	3	Clientes minoristas	8	2	Clientes institucionales	6	2	Trabajadores	4	2	Competidores	2	1	DIAN	2	4
Stakeholder	Interés (X)	Poder (Y)																																											
Gerencia	10	10																																											
Área Financiera	8	9																																											
Proveedores	9	9																																											
Área de distribución y logística	10	8																																											
Administrador de la bodega	10	7																																											
Desarrolladores del Proyecto	10	7																																											
Socios e inversionistas	6	5																																											
Clientes mayoristas	8	3																																											
Clientes minoristas	8	2																																											
Clientes institucionales	6	2																																											
Trabajadores	4	2																																											
Competidores	2	1																																											
DIAN	2	4																																											
Objetivo general (Goal statement)																																													
<i>Diseñar una política de inventarios para la EMPRESA utilizando herramientas matemáticas..</i>																																													
Objetivos específicos (Project scope)																																													
<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar los productos según su relevancia haciendo uso del análisis ABC. • Proponer un modelo de pronóstico de demanda adecuado para los productos de mayor impacto usando herramientas estadísticas. • Diseñar una política de inventarios haciendo uso de modelos matemáticos. • Estimar el impacto económico generado por la política de gestión de inventarios propuesta. 																																													
Equipo de trabajo (Team members Photos)																																													
Sebastian Pacheco Giessenow	Daniela Cruz Restrepo	Pablo Rodríguez Gómez	Javier Escobar Abbad																																										

PROJECT CHARTER



Plan de Trabajo (*Milestones*)

Las fases por considerar para el desarrollo del proyecto se presentan en las Figuras del anexo 1. Este cronograma muestra de manera secuencial cuáles son las actividades principales para cada fase con su respectiva fecha de entrega. Para la segunda parte de proyecto de diseño se ejecutarán las actividades que conforman los objetivos específicos.

Herramientas de Ingeniería Industrial

Las herramientas utilizadas para cumplir cada uno de los objetivos específicos hacen parte de las áreas de conocimiento de la ingeniería industrial. En el anexo 2 se detalla las herramientas a utilizar en relación a cada objetivo específico, además detalla el área de conocimiento y los entregables a realizar. Para mayor información ver el anexo 2.

Requerimientos (componente de diseño en ingeniería)

Restricciones	Especificaciones	Normas y estándares
Capacidad de producción	Nivel de cumplimiento	Plan de producción
Tiempo	Entrega del diseño de una política de inventario	Código de comercio ley 3284-artículo 255°
Recursos	Control de inventario	Pólizas de incumplimiento
Contratos	Entregas a tiempo	Ley 256 de 1996, Diario oficial No. 42692
Inventario	Existencia del producto	
	Competencia justa	

2. Medir

En esta etapa de la metodología se recolectaron todos los datos pertinentes para una correcta medición de la situación actual de LA EMPRESA. De igual manera se investigó en artículos científicos referentes al tema del proyecto para encontrar las herramientas y metodologías que investigadores utilizaron para resolver distintas situaciones en el ámbito de la gestión de inventarios para así ser tomadas como referencia.

2.1. Antecedentes

Se revisaron artículos relacionados con la gestión de inventarios, pronósticos modelos de inventario y evaluación económica, donde se destaca que el análisis ABC es clave para la gestión de inventarios porque clasifica los productos y proporciona información crítica para realizar las diferentes estrategias del manejo de inventario. Hatefi S.M. y Torabi S.A. [1] (2014) proponen una metodología de clasificación de inventario ABC con un enfoque de optimización lineal aplicando múltiples criterios. Utilizan la matriz AHP-DEA donde el método propuesto incorpora una evaluación de eficiencia cruzada con un modelo de optimización lineal ponderado para una mejor clasificación de los artículos de inventario. Conjuntamente comparan los diferentes métodos de clasificación ABC y concluye que el método propuesto es muy eficiente desde el punto de vista computacional ya que solo un modelo de programación lineal necesita ser resuelto mientras que otros métodos necesitan de

varios modelos lineales o incluso no lineales. Este artículo es de gran relevancia para el proyecto de diseño, puesto que se utilizó el análisis ABC, y el artículo sirvió como una guía para la implementación de la metodología.

Por otra parte R. A. Pérez, S. A. Mosquera y J.J. Bravo. (2012) [2] en su artículo sobre la aplicación de métodos de pronósticos a productos de consumo masivo, utiliza la clasificación ABC para los artículos por su contribución a los costos. Luego sobre cada categoría de productos se aplican diferentes métodos de pronósticos. Realizan un repaso de las diferentes medidas de pronósticos como los tipos de errores y variaciones, además presentan un análisis de algunos métodos de pronósticos entre los que se destacan pronóstico por Promedio Móvil, Suavización Exponencial Simple, método de Holt-Winters y método de Croston. El artículo en mención se destaca, porque brinda la guía para elegir el mejor método de pronóstico, puesto que en una de sus conclusiones R. A. Pérez et al. indica dependiendo de la categoría del producto, ya sea A, B o C, que criterio utilizar para seleccionar el método de pronóstico. Particularmente se destaca que para la categoría A, se debía seleccionar el pronóstico con menor desviación absoluta media (MAD).

Seguidamente se revisó el artículo de R.P. Tripathi (2013) [3] donde analiza dos casos para un sistema de inventarios. En el primero la tasa de demanda y el costo de mantener inventario son dependientes del tiempo, y en el segundo tanto demanda como costo de mantener inventario permanecen constantes. Luego desarrolla un algoritmo de optimización común es decir un algoritmo que involucra los dos casos expuestos por R.P. Tripathi, con el fin de encontrar una solución óptima que minimiza la función de costo total de inventario la cual involucra costo de mantener inventario, costo de pedido y los costos totales de inventario. Por último, realiza un análisis de sensibilidad y evalúa las implicaciones económicas. Además, concluye que el modelo se puede utilizar como punto de partida para modelos más complejos siendo el trabajo de Tripathi de gran importancia para el proyecto de diseño puesto que presenta herramientas para analizar, evaluar y optimizar costos de manejo de inventarios, sirvió como documento de comparación para la estimación de costos asociados al manejo de inventarios.

Conjuntamente Ramaseshan, B., Achuthan, N. R. & Collinson, R. (2009) [4] desarrollaron un modelo de gestión de inventario para un minorista, consideraron en este modelo factores propios de un punto minorista como lo es el espacio en estanterías, el surtido de producto, la demanda, el espacio en bodega, los recursos financieros del minorista, entre otros. El modelo busca maximizar el beneficio neto de las variables de decisión y lo resuelven mediante programación de enteros mixtos no lineales. Por otra parte, explica el modelo realizado y lo prueba con datos reales de una franquicia minorista, y sirvió principalmente como un guía para la elaboración del análisis de sensibilidad expuesto en el numeral 5.1 instrumentos de validación.

2.2. Metodología

Inicialmente, se utilizó la metodología de clasificación ABC, la cual parte del principio de Pareto y permite organizar las distintas referencias de producto de acuerdo al impacto que generan en la empresa en términos de ventas, utilidades y costos. De esta manera, se procede a controlar y monitorear de una manera exhaustiva la categoría A, ya que en conjunto representan aproximadamente el 80% del valor total y está compuesta por solo el 20% de los productos.

Posteriormente, para entender cómo es el comportamiento de la referencia de mayor impacto en inventario se calculó la rotación de inventario, la cual es presentada en la Ecuación (1). El resultado obtenido representa las veces que se rotó el inventario en la unidad de tiempo que se esté manejando, es decir, cada cuánto se renuevan las unidades en inventario.

$$RI = \frac{VPC}{EM} \quad (1)$$

Donde VPC son las ventas realizadas a precio de costo y EM son las existencias medias en inventario.

Así mismo, se utilizaron distintas medidas de error de pronóstico para realizar un diagnóstico de la forma en que la bodega anticipa su demanda. La demanda se comporta de forma normal, por esta razón es confiable utilizar el error absoluto medio. En la ecuación (2) se presenta el cálculo del error de pronóstico y en la Ecuación (3) se presenta el error absoluto medio, el cual indica el desfase promedio del método de pronóstico.

$$e_t = A_t - F_t \quad (2)$$

Donde A_t es la demanda real en el periodo t , F_t es la demanda pronosticada para el mismo periodo t .

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (3)$$

Donde A_t es la demanda real en el periodo t , F_t es la demanda pronosticada para el mismo periodo t y n es el número de periodos t analizados.

Otro método para identificar si LA EMPRESA está pronosticando de manera adecuada es el cálculo de la señal de rastreo, el cual se presenta en la Ecuación (4). Esta expresión tiene dos interpretaciones ya que su signo indica si se está subestimando o sobrestimando la demanda y su valor si se están realizando de manera adecuada los pronósticos.

$$TS = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |A_t - F_t|} \quad (4)$$

Donde A_t es la demanda real en el periodo t , F_t es la demanda pronosticada para el mismo periodo t y n es el número de periodos t analizados.

Finalmente, se calculó el error absoluto porcentual medio, el cual es una medida de error de fácil interpretación. Su resultado indica de manera porcentual el promedio de las diferencias entre el pronóstico y la demanda real. Dicha expresión está representada en la Ecuación (5).

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{|A_t|}}{n} \quad (5)$$

Donde A_t es la demanda real en el periodo t , F_t es la demanda pronosticada para el mismo periodo t y n es el número de periodos t analizados.

Para evaluar la situación actual de la empresa se utilizará el indicador financiero EBITDA, esta muestra los beneficios antes de impuestos, intereses, depreciación y amortización.

2.3. Mediciones

El proceso de planeación actual de producción de LA EMPRESA se encuentra ilustrado en la Figura 1. Todos los procesos que se realizan para planear la producción de las diferentes líneas se desarrollan en el área de gerencia, debido a que es en esta área donde se toman las decisiones importantes a la hora de producir.



Figura 1. Cursograma analítico del proceso de planeación de la producción.

En la tabla 1 se muestra la caracterización del proceso de planeación en la producción de camisetas, donde están todas las actividades que deben ser realizadas antes del proceso de producción. El alcance de esta caracterización va desde examinar cuánto se va a producir, es decir pronosticar, hasta el momento en el que se lleva la materia prima al área de producción para la confección.

Tabla 1. Caracterización del proceso de planeación de producción.

Proveedores	Entradas	Proceso	Salida	Cliente
Software	Información de entradas y salidas de inventario	Realizar inventario en existencia	Información de inventario en existencia	Gerente de ventas
Área de ventas	Rotación de camibuses de meses pasados, colorido y talla	Examinar unidades vendidas de meses pasados	Pronóstico de producción de camibuses	Área financiera
Área financiera	Cantidad a producir y costo por unidad	Definir presupuesto de producción	Costo de producción	Coordinador de compras
Coordinador de compras	Numero de camibuses por talla a producir	Definir cantidad de materias primas y recursos de producción	Requerimiento de recursos	Área financiera
Área de planeación	Cantidad demandada	Programar la producción	Plan maestro de producción	Área de compras y área de producción
Asistente de compras	Cantidad de tela requerida	Realizar pedido de materia prima	Orden de pedido	Proveedor externo
Camión transportador	Operario de recepción	Recepcion de materia prima	Materia prima requerida	Área de producción

Para medir la situación del sistema en términos cuantitativos se recolectó toda la información con respecto al manejo actual de inventarios con el que cuenta la bodega. Además, se consultaron diferentes fuentes bibliográficas y profesores de esta área, para así tener claro cuáles eran los datos e indicadores más relevantes. Posteriormente, se consultó con el administrador de la bodega, el cual facilitó los datos para su posterior análisis. La información requerida correspondía a registros de ventas realizadas, ventas pronosticadas, rotación de inventario, inventario de seguridad, inventario promedio y nivel de servicio. Cabe resaltar que la información entregada va desde de enero de 2017 hasta agosto de 2018.

Además, se realizó una clasificación ABC teniendo en cuenta utilidades, para así identificar los productos de mayor impacto para LA EMPRESA. En la Figura 2 se presenta dicha clasificación teniendo en cuenta las utilidades brutas que genera cada línea de producto. En esta figura se evidencia que la línea que mayores utilidades genera es la de *camibuses*, representando aproximadamente el 38,9% de las utilidades totales de la bodega. Luego se encuentran las camisetas cuello redondo y cuello en v. Estos tres pertenecen a la categoría A. Por este motivo, se deben realizar grandes esfuerzos en monitorear estas líneas de producto en términos del manejo de su inventario, ya que las decisiones que se tomen con respecto a esta afectarán en gran medida a la compañía.

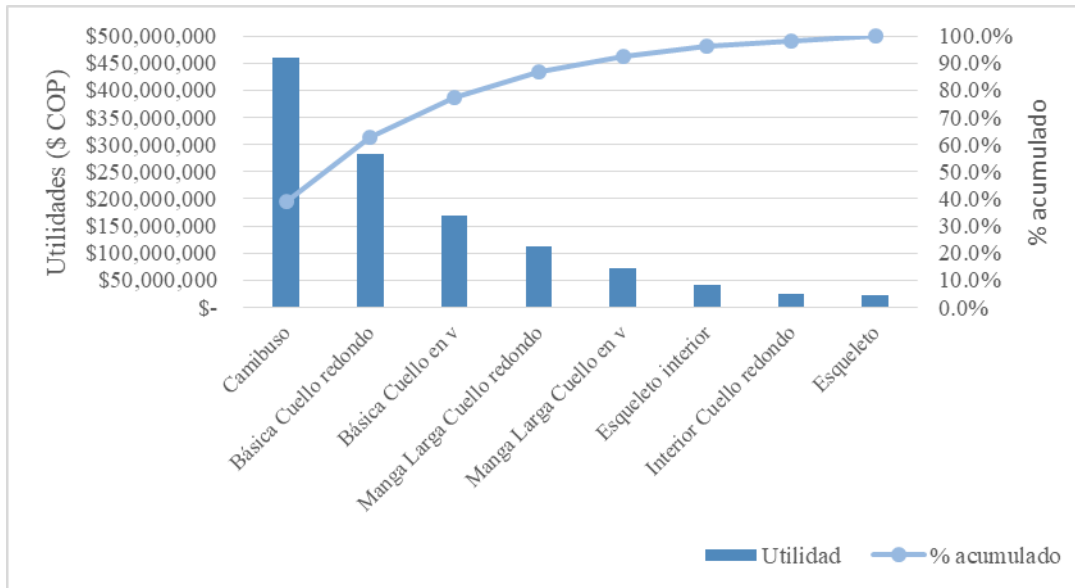


Figura 2. Clasificación ABC por utilidades

En primer lugar, el método actual de la bodega de LA EMPRESA para pronosticar, según el administrador de la bodega, es un método empírico, el cual toma el valor de las ventas realizadas en el mismo periodo del año anterior añadiendo un porcentaje de crecimiento del 10%. Cabe resaltar que la bodega no cuenta con un registro de demanda insatisfecha, por lo que el análisis será realizado con las ventas realizadas. En la Figura 3 se muestra el comportamiento de las ventas de *camibusos* y del pronóstico realizado para cada mes en el 2018. En esta figura se puede observar que en todos los meses el pronóstico estuvo por encima de las ventas realizadas, lo cual indica que se está sobrestimando la demanda. Así mismo, los meses en que hubo un mayor desfase fueron mayo y agosto, en donde se vendieron 1.975 y 1.499 unidades menos a lo presupuestado para estos periodos. Mientras que en los meses de abril, septiembre y noviembre se tuvo un error reducido en el pronóstico. Finalmente, se puede observar que la línea de pronóstico tiende a ajustarse al comportamiento de las ventas en algunos meses, pero está evidentemente por encima de las ventas de la bodega.

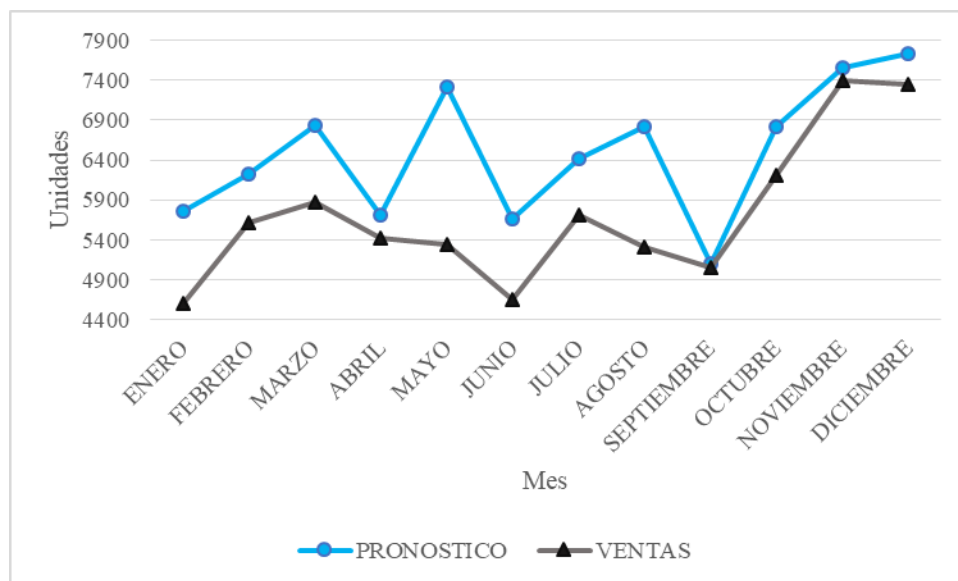


Figura 3. Comportamiento de las ventas en el año 2018.
Fuente: LA EMPRESA

En términos del manejo de inventario, la bodega cuenta con un inventario de seguridad para casos en que se realicen ventas de gran volumen y tengan que ser entregadas de inmediato. Este nivel de seguridad se calcula extrayendo el 20% del inventario promedio del año anterior. En el transcurso del 2018 se tuvo un inventario promedio de 5.500 unidades por mes, lo cual indica que para 2019 se mantendrá un inventario de seguridad de 1.100 *camibusos* por mes. Por otro lado, para las camisetas básicas de cuello redondo se tuvo un inventario promedio de 8.000 unidades y de 3.750 unidades para las básicas cuello en v en el 2018.

En cuanto a rotación de inventario utilizando la ecuación (1), se obtuvo que en el 2018 el inventario de *camibusos* rotó 12,46 veces, lo cual señala que aproximadamente cada mes se renuevan las unidades en inventario. Esto indica que los *camibusos* cuentan con un nivel de rotación aceptable ya que según la empresa el producto debe rotar como mínimo una vez al mes. Esto cobra importancia debido a que gran parte de las ventas realizadas por la bodega son financiadas a crédito y por lo tanto, en algunos meses no se cuenta con el flujo de caja necesario para mantener un nivel alto de inventario. Así mismo, para las camisetas básicas cuello redondo se tuvo una rotación de 11,22, lo que indica que el inventario rotó también aproximadamente cada mes. Finalmente, para las básicas con cuello en v el inventario rotó 8,67 veces, es decir aproximadamente cada 1,4 meses.

Se calculó el EBITDA actual de la bodega. Este fue hallado con la utilidad bruta obtenida por los 3 productos de la categoría A, es decir \$856.986.380 COP restada con los gastos administrativos. En estos gastos administrativos incluyen los \$43.000.000 COP generados por los salarios de los trabajadores, transporte de mercancía, pago de servicios de agua y luz, arriendo, seguridad privada, aseo y remodelación de la bodega y \$21.384.300 COP de costo de almacenamiento. De esta manera, se encontró que la bodega tuvo un EBITDA de \$305.894.480 COP en el 2018.

En síntesis, la bodega está teniendo problemas en el momento de realizar la planeación de pedidos al centro de producción, ya que se observó que las ventas pronosticadas difieren en algunos meses hasta en 2,000 unidades, las cuales representan aproximadamente \$2.464.000 COP en costo de mantener inventario. Esto indica que la bodega necesita implementar una mejora en la planeación utilizando modelos de pronósticos, ya que de esta manera se podrían reducir considerablemente los errores de estimación de cada mes y anticiparse de mejor manera al comportamiento del mercado. Así mismo, se debe estar al tanto del comportamiento del entorno, ya que festividades, elecciones políticas y eventos pueden hacer que se incremente la demanda imprevistamente. No obstante, se evidencia que la bodega cuenta con un stock de seguridad del 20% respecto a la demanda pronosticada suficiente para amortiguar las subidas de demanda. Además, el inventario rota aproximadamente cada mes, lo cual genera que el tiempo en el que se recupera la inversión realizada sea reducido. Por otro lado, la empresa no lleva control del indicador del nivel de servicio ni de demanda insatisfecha, por lo que es fundamental que se comience a realizar este cálculo para medir su rendimiento.

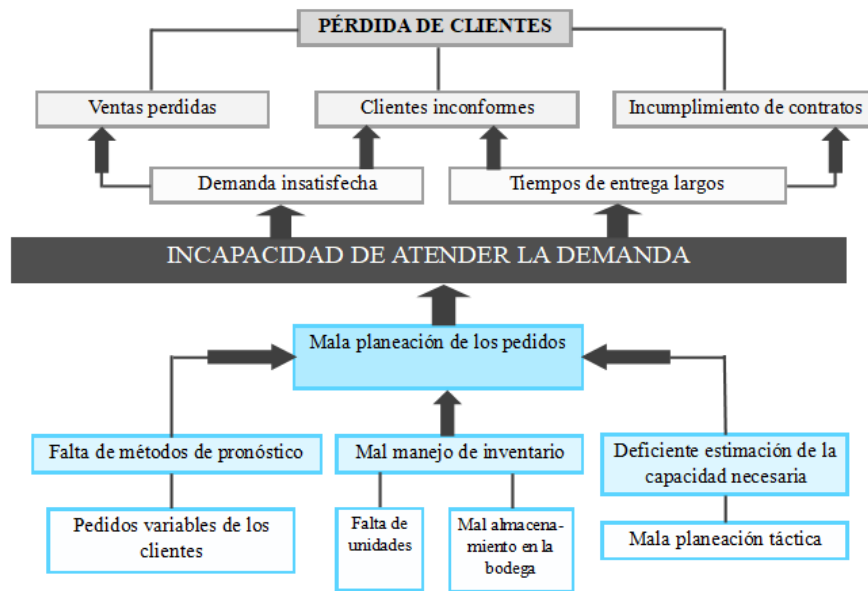
3. Análisis

Teniendo en cuenta toda la información recolectada en la fase Medir, se pretende analizar todos los factores que afectan al problema encontrado para poder formular alternativas de solución. De esta manera, se evaluará la forma en que la bodega de LA EMPRESA está realizando sus pedidos y observar de qué manera la variabilidad de la demanda afecta el proceso de planeación.

3.1. Análisis de causas

Inicialmente se realizó el árbol de causas mostrado en la Figura 4 para analizar todas las posibles causas del problema identificado y sus posibles consecuencias y efectos. El problema principal que tiene la bodega es la incapacidad de atender la demanda de manera adecuada, lo cual es causado directamente por la mala planeación de los pedidos al centro de producción. Esta mala planeación es ocasionada por la falta de métodos de pronóstico de demanda y ausencia de formas de anticiparse a la variabilidad del mercado. También, el mal manejo del inventario causa que no se tenga certeza de cuántas unidades se tiene en inventario y por lo tanto se hagan pedidos erróneos. Además, este problema también es causado por una mala planeación táctica de LA EMPRESA en general, ya que no estima correctamente la capacidad necesaria para atender la demanda de la bodega y en consecuencia no se pueda satisfacer efectivamente los requerimientos de los clientes. Por otro lado, el problema principal está generando como efectos tiempos de entrega largos y demanda insatisfecha. Esto a su vez causa consecuencias como ventas perdidas, clientes inconformes e incumplimiento de contratos. Todo esto ocasiona finalmente la pérdida de clientes.

Figura 4. Árbol de causas para el problema de planeación



Se analizó como se están planeando los pedidos actualmente y el comportamiento de la demanda. Inicialmente se calcularon los errores de pronóstico para cada periodo y se obtuvo que para todos los meses el error tuvo signo negativo, lo cual indica que se está sobrestimando la demanda. Por otro lado, en la Figura 3 se observa que el mes que presentó mayor error fue mayo, donde se vendieron 1.975 unidades menos que las pronosticadas para dicho periodo. Así mismo, septiembre fue el mes en el que el pronóstico se ajustó de mejor manera a las ventas realizadas, ya que se tuvo un desfase de solo 51 *camibusos*.

Posteriormente, para evaluar cuantitativamente el método de pronóstico actual se calculó el MAD o error absoluto medio, para el cual se obtuvo un resultado de 785,4 lo que indica en promedio cada mes el pronóstico se está desfasando en 786 unidades de *camibusos*. No obstante, este valor solo indica la dispersión entre la demanda real y el pronóstico realizado, por lo que se calculó la señal de seguimiento o TS para ver si en promedio los pronósticos siguen los cambios hacia arriba o hacia abajo en la demanda. Esta medida arrojó un resultado de -12, lo que significa que la bodega está pronosticando de manera errónea, ya que este valor está fuera de los límites de control que abarcan el rango de -4 a 4.

De igual manera, es importante analizar los errores de pronóstico en términos porcentuales, ya que de esta manera se facilita la interpretación del rendimiento de la planeación de la demanda. Para esto se calculó el error porcentual absoluto medio o MAPE, en donde el resultado obtenido fue del 14,62%,

Por otro lado, para la correcta formulación de las propuestas de solución se debe analizar todo el entorno del problema, por lo que se buscaron los meses que mayores ventas de *camibusos* tienen y qué porcentaje representan de las ventas totales del año. El mes que mayores ventas tuvo en 2018 fue noviembre, superando las 7.400 unidades y representando aproximadamente el 10,8% de las ventas anuales. Así mismo en los meses de diciembre, marzo, julio y octubre se tuvieron ventas significativas, ya que las ventas de estos meses sumadas con las de noviembre representan superan el 50% del total del año. Este

comportamiento tiene relación a una estacionalidad en la demanda, que a pesar de que no se cuenta con datos anteriores al 2018, LA EMPRESA manifestó que cuentan con picos de ventas de *camibusos* en estos meses mencionados anteriormente. Así mismo, en la Figura 3 se evidenció la presencia de dos ciclos en donde se presentan picos en las ventas. Estos dos ciclos están representando más de la mitad de las ventas anuales y en consecuencia los mayores ingresos en el año. Por este motivo, es importante encontrar un modelo o distribución de probabilidad que se ajuste a este comportamiento para anticiparlo de una manera más eficaz.

3.2. Exploración de ideas

Para encontrar alternativas del problema presentado anteriormente se hará uso de la técnica de ideación denominada “Brainwriting”, este método permite analizar y solucionar problemas desde distintas perspectivas. Además, esta técnica se suele realizar en grupo, en donde cada uno participa dando ideas. También, ofrece una forma simple y eficaz de conseguir ideas innovadoras, que permiten desarrollar proyectos, mejorar situaciones, resolver problemas o mejorar algún aspecto.

Para las siguientes alternativas se utilizó la técnica anteriormente mencionada, las alternativas de pronósticos fueron tomadas de R. A. Pérez, S. A. Mosquera y J.J. Bravo. (2012) [2]. Por otro lado, para la profundización de las alternativas de gestión de inventario se utilizó la información de Valencia, M., Díaz, F. and Correa, J. (2014) [5].

3.2.1. Alternativa de pronósticos 1: Pronóstico por Promedio Móvil

Esta alternativa es aplicable cuando la demanda presenta un comportamiento estacionario, este método establece un promedio de la demanda pasada dando el mismo peso a las últimas N demandas.

$$M_t = \frac{\sum_{i=t-N}^{t-1} X_{t-1}}{N} \quad (6)$$

Donde X_t es la demanda real del periodo t y N es el número de demandas.

3.2.2. Alternativa de pronósticos 2: Suavización Exponencial Simple

Este método ajusta los pesos de los datos de la demanda pasada a un valor α a la última demanda y $(1-\alpha)$ al pronóstico anterior. Esta alternativa se describe con la siguiente ecuación (7).

$$S_t = \alpha x_{t-1} + (1 - \alpha)S_{t-1} \quad (7)$$

Donde α es la constante de suavización y toma un valor entre $0 \leq \alpha \leq 1$, S_t es el pronóstico al final del periodo t y X_t es la demanda real.

3.2.3. Alternativa de pronósticos 3: Función de probabilidad

La función de probabilidad es una función que asocia a cada punto del espacio muestral una probabilidad. Para el desarrollo de esta función se escogerán los datos de la demanda con el fin de realizar una prueba de bondad de ajustes en donde se determinará a que distribución se ajusta. Conociendo la distribución de probabilidad a la que se ajusta la demanda se utilizarán herramientas de simulación para pronosticar la demanda de los periodos siguientes.

3.2.4. Alternativa de pronósticos 4: Método de Holt-Winters

Esta alternativa se utiliza cuando la demanda es estacional y requiere valores de arranque, utilizando datos históricos. Este método tiene la ventaja de ser fácil de adaptarse a medida que nueva información real está disponible. Holt-Winters considera niveles de arranque $a_1(0)$, tendencia $b_2(0)$ y estacional de una determinada serie de tiempos $c_t(0)$, expresadas en la siguiente Ecuación (8).

$$a_1(T) = \frac{\alpha x_T}{c_T(T-L)} + (1 - \alpha)[a_1(T - 1) + b_2(T - 1)] \quad (8)$$

Luego, se estima la tendencia (9)

$$b_2(T) = \beta[a_1(T) - a(T - 1)] + (1 - \beta)b_2(T - 1) \quad (9)$$

Donde x_T es la última demanda, L es el periodo que cubre la estación, $c(L-T)$ es la componente estacional, M son los datos históricos y β es la segunda constante de suavización y toma valores $0 < \beta < 1$.

Seguido se estima el factor estacional para el periodo t en la ecuación (10)

$$C_T(T) = \gamma(X_T/a_1(T)) + (1 - \gamma)C_T(T - L) \quad (10)$$

Donde $0 < \gamma < 1$ siendo la tercera constante de suavización. Finalmente se pronostica la demanda de cualquier periodo futuro (11).

$$x_{T+\tau}(T) = [a_1T + \tau b_2(T)]c_{T+\tau}(T + \tau - L) \quad (11)$$

Donde $T + \tau$ es el periodo futuro, (a, b, c) son los valores de arranque y L es el periodo que cubre la estación.

3.2.5. Alternativa para gestión de inventario 1: Programación entera mixta

La programación entera mixta (MILP) se utiliza en problemas de optimización que consideran variables de decisión entera o binaria. Entre las distintas categorías de modelamiento, los problemas PEM pueden considerarse híbridos, siendo aquel caso que considera la mezcla de variables enteras y continuas. En este tipo de modelamientos se pueden ajustar modelos cuantitativos, reglas o condiciones lógicas adicionales, logrando ajustar el modelo a una situación real que permita realizar un diagnóstico con mayor certeza. Esta solución puede ser viable dado que permite predecir de manera anticipada algunos incrementos de la demanda ocasionados por eventos aleatorios y ayudaría a amortiguar esta variabilidad en el mercado.

3.2.6. Alternativa para gestión de inventario 2: Método Meta-heurístico

La metodología meta heurística son estrategias para diseñar y/o mejorar los procedimientos heurísticos orientados a obtener un alto rendimiento. Es decir, son métodos diseñados para resolver problemas de difícil optimización combinatoria, en los que los heurísticos clásicos no son efectivos. Además, permite crear nuevos algoritmos híbridos, combinando diferentes conceptos de diversos campos. Con esta alternativa es posible que no siempre se encuentre un óptimo global. Sin embargo, se pueden crear estrategias de búsqueda donde usando variables aleatorias se logren diseñar espacios de soluciones y aprendizaje para encontrar una solución de forma más aproximada.

3.2.7. Alternativa para gestión de inventario 3: Revisión Periódica

Los modelos de revisión periódica son comúnmente usados en la planeación de inventario. Consiste en revisar el inventario cada determinado periodo de tiempos fijos, y realizar una orden dependiendo del comportamiento de la demanda. En este modelo las políticas de mayor práctica con la (s,S) y la (R,Q), en donde la primera consiste en llegar a un nivel s de inventario y se realiza una orden de determinada cantidad para llegar a S. En la segunda, cuando se alcanza un punto R se envía una orden de tamaño Q establecido con anterioridad. En otros casos, se usa el análisis de stocks de seguridad, o un análisis de cotas máximas en los periodos de tiempo necesarios para alcanzar dicho nivel.

3.2.8. Alternativa para gestión de inventario 4: Modelo de la Cantidad Económica de Pedido

Esta alternativa busca minimizar el costo total de inventario, considerando una cantidad fija a pedir cada cierto periodo de tiempo, la cantidad es conocida con anterioridad. Sin embargo, en estos modelos se pueden incorporar variaciones en la forma de representar el tiempo de suministro y la demanda. Este modelo se basa en tres supuestos fundamentales, el primero es

conocer cuál es la utilización anual de los artículos que se encuentran en el inventario, segundo que la frecuencia con la que se utiliza el inventario no varíe con el tiempo.

4. Mejorar / Diseñar

Como anteriormente se mencionó en el numeral 3.1 LA EMPRESA está perdiendo clientes, una de las razones es la incapacidad de atender la demanda. Para mejorar este problema se hizo un análisis del comportamiento de la demanda para determinar cuáles de los métodos de pronósticos mencionados en el numeral 3.2 es el más adecuado para LA EMPRESA. Una vez fijado el método de pronóstico, se estableció la mejor alternativa de inventario de acuerdo a los criterios de la matriz comparación por pares ilustrados en la tabla 2.

4.1. Selección de la mejor solución

Para determinar el método más adecuado de pronóstico se utilizó el programa Minitab, el cual permitió a través de herramientas estadísticas pronosticar a 12 meses la demanda de los productos pertenecientes a la categoría A. Según R. A. Pérez, S. A. Mosquera y J.J. Bravo. (2012) [2] afirman que para seleccionar el método de pronóstico más adecuado se debe pronosticar con todos los métodos y el que arroje un menor MAD (Desviación Absoluta Media) será el mejor método. Es decir que para cada ítem de la categoría se pronosticó a 12 meses con cada uno de los métodos mencionados en el numeral 3.2.

Para este proyecto de diseño se necesita seleccionar la alternativa más adecuada para la política de inventario que se ajuste mejor al comportamiento de la demanda, para esto se utilizó la matriz AHP la cual determina el vector prioridad, este indica un valor numérico para cada uno de los criterios de selección. Los cuales son: costos (recurso económico para la realización de la propuesta), facilidad (dificultad para realizar la propuesta), calidad (efectividad de la propuesta) y velocidad (tiempo estimado que tardaría realizar la propuesta). Estos criterios se escogieron de acuerdo con los requerimientos de la empresa. En la tabla 2 se puede evidenciar la comparación entre criterios para las alternativas de inventario. En el anexo 3 se evidencian los cálculos de la matriz 2.

Tabla 2. Matriz Comparación por pares

Criterios	Costo	Facilidad	Calidad	Velocidad
Costo	1	4	2	3
Facilidad	1/4	1	1/3	1/2
Calidad	1/2	3	1	4
Velocidad	1/3	2	1/4	1

Al evaluar los criterios, se obtuvo que la matriz es consistente debido a que la razón de consistencia es 0,05 siendo menor a 0,1. Hallado el vector prioridades y siendo la matriz consistente, se utilizó la matriz de preferencia para la selección de alternativas, donde cada criterio tendría un peso que ayudaría en el proceso de selección. Para esta matriz se asignó un puntaje de 1 a 10, siendo 1 el más bajo y 10 el más alto, para al criterio de cada alternativa. Finalmente, la alternativa de mayor puntaje fue programación entera mixta, la cual se ajusta mejor a los criterios de evaluación impuestos por la empresa. En la tabla 3 se puede evidenciar los puntajes de cada una de las alternativas y en el anexo 4 se evidencian los cálculos de esta tabla.

Tabla 3. Matriz de preferencias para selección de alternativas

Criterios de selección	Peso ponderado del criterio (Según AHP)	Programación entera mixta		Metodología meta-heurística		Revisión periódica		Modelo de la cantidad económica de pedido	
		Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos
Costo	45%	6	268.66	6	268.66	5	223.89	4	179.11
Facilidad	9%	7	65.07	3	27.89	5	46.48	5	46.48
Calidad	32%	9	290.17	8	257.93	8	257.93	8	257.93
Velocidad	14%	4	54.74	4	54.74	8	109.48	7	95.80
Totales	100%	678.65		609.22		637.78		579.32	
Alternativa seleccionada		Programación entera mixta		No seleccionado		No seleccionado		No seleccionado	

Fuente: Álvaro Figueroa Cabrera.

4.2. Desarrollo del diseño de la solución

A continuación se muestra el mejor método de pronóstico para cada uno de los ítems de la categoría A ilustrado en la figura 5, 6 y 7. En el anexo 6 se evidencia todos los cálculos para determinar el mejor pronóstico.

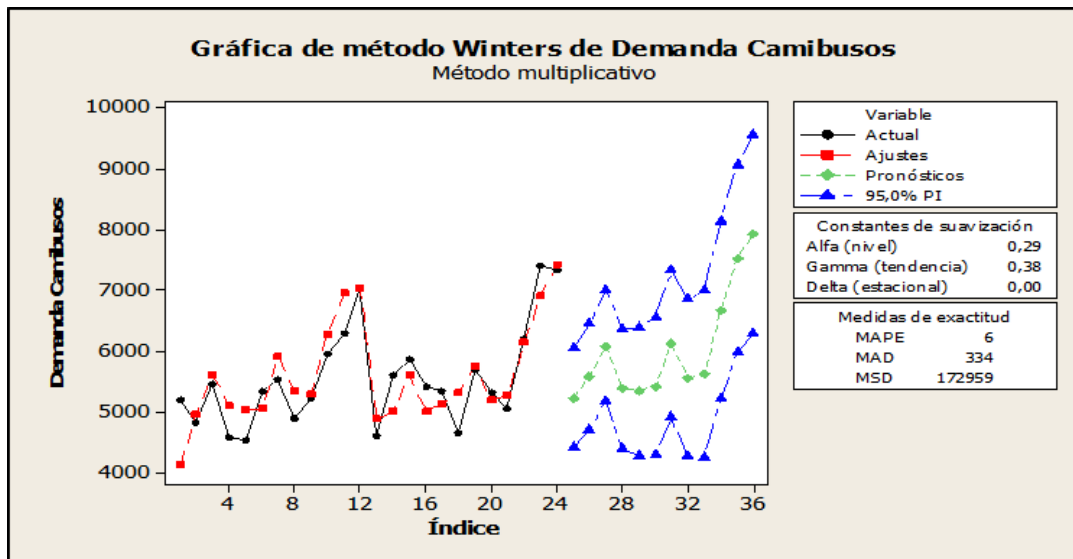


Figura 5. Método de pronóstico Holt-Winters para camibuses.

En la figura 5 se observa que la desviación absoluta media (MAD) es de 334 unidades, siendo la más baja de todos los métodos de pronóstico para este ítem. Esto indica que el pronóstico por el método Holt-Winters tiene un error o desfase promedio de 334 unidades, parece ser un error grande para un error promedio, sin embargo, el error porcentual absoluto medio (MAPE) muestra que solo es de 6%.

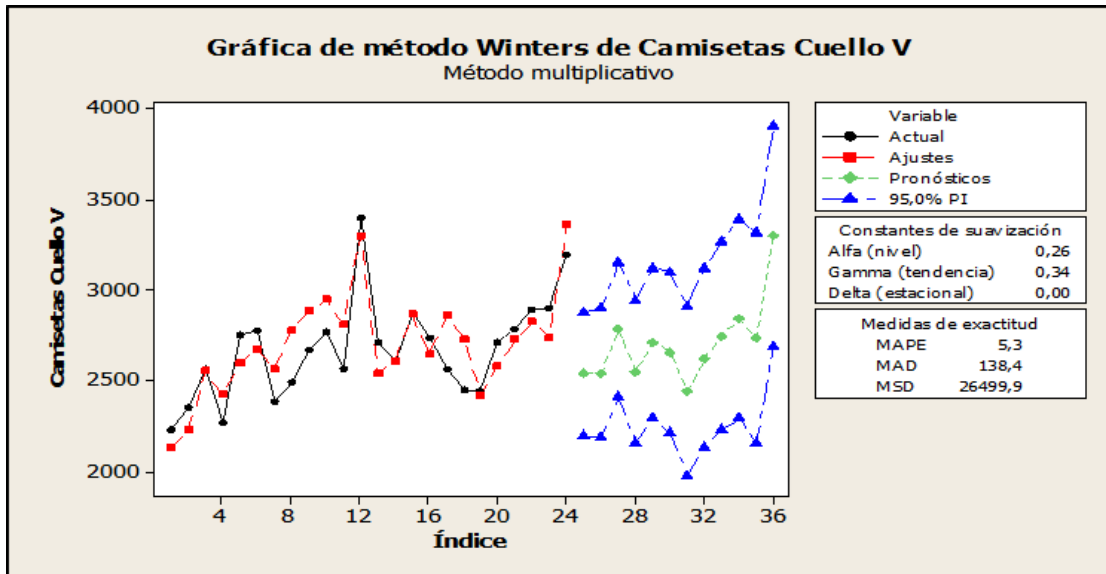


Figura 6. Método de pronóstico Holt-Winters para camisetas cuello en v.

En la figura 6 se observa que la desviación absoluta media (MAD) es de 139 unidades, siendo la más baja de todos los métodos de pronóstico para este ítem. Esto indica que el pronóstico por el método Holt-Winters tiene un error o desfase de 139 unidades. El error porcentual absoluto medio (MAPE) es de 5,3, lo cual denota que el error de pronóstico por este método es de 5,3% para las *camisetas cuello en v*.

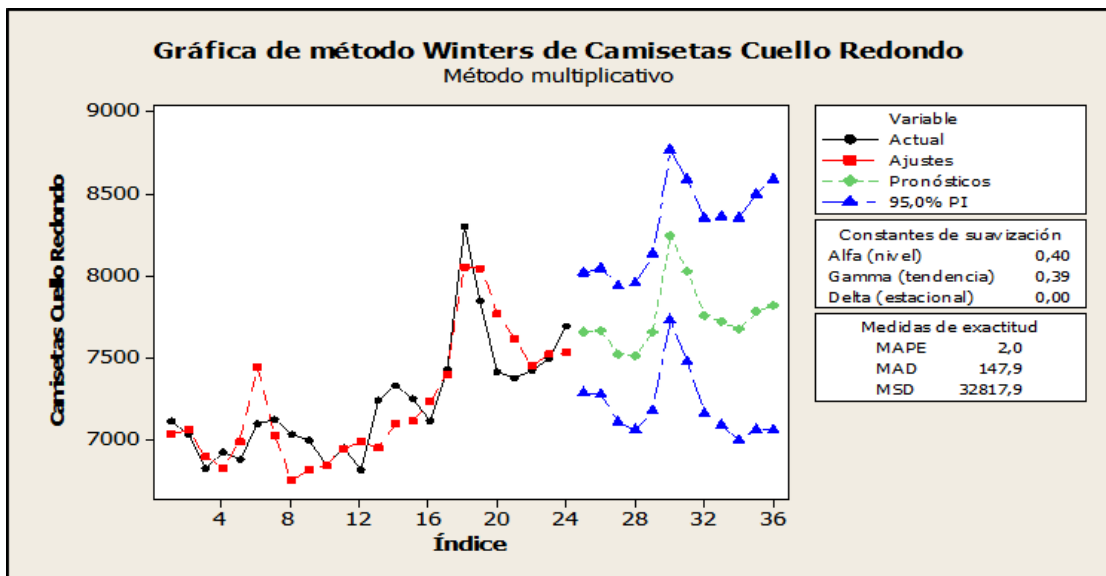


Figura 7. Método de pronóstico Holt-Winters para camisetas cuello redondo.

En la figura 7 se observa que la desviación absoluta media (MAD) es de 148 unidades, siendo la más baja de todos los métodos de pronóstico para este ítem. Esto indica que el pronóstico por el método Holt-Winters tiene un error o desfase de 148 unidades. El error porcentual absoluto medio (MAPE) es de 2%, lo cual denota que el error de pronóstico por este método es de 2% para las *camisetas cuello redondo*.

Como se mencionó en el numeral 4.1, la alternativa a desarrollar fue un modelo de programación entera mixta. Para la construcción de este modelo se tuvieron en cuenta todos los parámetros y variables necesarios para que se ajustara a la realidad de LA EMPRESA. De la misma manera, se tomaron en cuenta los tres productos más relevantes para la empresa obtenidos al realizar la clasificación ABC. Cabe resaltar que se modeló en un horizonte de planeación de 12 meses en el 2019.

Por este motivo, se establecieron los conjuntos a los que pertenecen los parámetros y variables de decisión. El primer conjunto representa el tipo de producto. Para esto se le otorgó un valor numérico a cada referencia, 1 para la línea de *camibuses*, 2 para básicas cuello redondo y 3 para las camisetas básicas cuello en v. Este conjunto se representó mediante la letra P. Por otro lado, se consideró un segundo conjunto que determina el mes en que se encuentra. Este conjunto se compone de 12 meses y es denominado por la letra T.

En cuanto a los parámetros requeridos para el modelo, inicialmente se calculó el costo de mantener inventario de LA EMPRESA, para el cual se utilizó la ecuación (12).

$$\text{Costo de almacenamiento} = \frac{GOP}{Fe} \quad (12)$$

Donde GOP son todos los gastos asociados a la operación de la bodega y Fe es el flujo de entrada de la bodega medido en unidades por cada año.

El valor entregado por LA EMPRESA de estos gastos operativos es de \$46'000.000 COP cada mes, lo cual se multiplicó por 12 meses para obtener un valor anual de \$552'000.000 COP. Cabe resaltar que estos gastos operativos incluyen los salarios de los trabajadores, servicios de agua y luz, arriendo, seguridad privada y depreciación de los activos de la bodega. Por otro lado, la empresa estima que en promedio el flujo de entrada a la bodega de todos los productos es de 400.000 unidades por año. Al reemplazar estos valores en la Ecuación (12) se obtuvo un valor de \$1.380 COP por unidad cada año. Esto significa que mantener una unidad cada año en esta bodega tiene un costo de \$1.380 COP. Posteriormente, para hallar la tasa que representa este costo, se procedió a dividir el costo de almacenamiento entre el costo unitario de cada producto, lo cual arrojó un 17% para *camibuses*, 30% para básicas cuello redondo y 29% para las camisetas básicas cuello en v. Luego se convirtieron estas tasas de anuales a mensuales mediante la Ecuación (13).

$$TM = (TA+1)^{1/12} - 1 \quad (13)$$

Donde TM es la tasa de interés mensual y TA es la tasa de interés anual.

Al reemplazar las tasas anuales obtenidas anteriormente en esta ecuación, se obtuvieron unas tasas mensuales de 1,337% para *camibuses*, 2,232% para básicas cuello redondo y 2,169% para las camisetas básicas cuello en v. Finalmente, para hallar el parámetro CM_p , el cual representa el costo de mantener inventario para cada producto tipo p, se multiplicaron estas tasas mensuales por el costo unitario de cada producto. De esta manera, se obtuvo que para los *camibuses* el costo de almacenamiento mensual es de \$ 106,79 COP/unidad, para las camisetas básicas cuello redondo \$101,56 COP/unidad y para las básicas de cuello en v \$101,92 COP/unidad.

Por otro lado, la capacidad de producción de la planta de LA EMPRESA para cada producto es denominada CAP_p dentro del modelo. CU_p representa el costo asociado a la producción de cada producto y PV_p es el precio de venta de cada tipo de producto. Los valores de estos parámetros se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen de parámetros del modelo

Producto	Parámetro		
	CU _p	PV _p	CAP _p
Camibuses	\$ 7.990	\$ 13.700	6500
Cuello redondo	\$ 4.550	\$ 7.700	7700
Cuello en V	\$ 4.700	\$ 9.900	2600

Otro parámetro considerado dentro del modelo fue el pronóstico de demanda de cada producto para cada mes, el cual se presenta resumido en la Tabla 5.

Tabla 5. Resumen de pronósticos de demanda para cada tipo de producto

Mes	Pronóstico		
	Camibuses	Cuello redondo	Cuello en V
1	5237	7655	2554
2	5583	7666	2560
3	6092	7523	2802
4	5386	7510	2569
5	5343	7661	2729
6	5426	8250	2676
7	6120	8033	2462
8	5568	7757	2647
9	5624	7726	2771
10	6681	7677	2864
11	7534	7781	2759
12	7932	7824	3328

Por otra parte, CF representa costos asociados a la operación de la bodega, entre estos están incluidos los salarios de los trabajadores, pago de servicios de agua y luz, arriendo, seguridad privada y gastos de aseo y remodelación de la bodega. El valor entregado por la empresa fue de \$43'000.000 COP al mes. Así mismo, se cuenta con un costo asociado al transporte de mercancía, el cual se representa mediante CC y tiene un valor de \$100.000 COP por trayecto o pedido realizado. Este último costo incluye gastos por mantenimiento y combustible del camión. Así mismo, este camión tiene una capacidad de 20 m³, por lo cual se puede transportar un máximo de 4.500 unidades por trayecto. Finalmente, la empresa tiene un nivel de servicio deseado que está entre el 90% y 95%, por lo cual se estableció el parámetro NS, con un valor de 0.1. Este valor es el porcentaje máximo de demanda insatisfecha que se obtenga en el modelo.

Consiguientemente, se propusieron ocho variables de decisión para el modelamiento de la solución. La primera variable es X_{p,t}, la cual indica el número de unidades a pedir de cada producto en cada periodo. La segunda es V_{p,t}, la cual representa las unidades vendidas de cada producto en cada periodo. Y_{p,t} es el número de faltantes o de demanda insatisfecha de cada producto p en el periodo t. I_{p,t} es el inventario de cada tipo de producto al final de cada periodo t. El número de pedidos que se realizan en cada periodo t para cada producto p es representado por N_{p,t}. Las variables mencionadas anteriormente son enteras positivas. Por otro lado, EBITDA_t representa los beneficios antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización de cada periodo. ING_t representa los ingresos obtenidos en el periodo t. COST_t indica los costos y gastos administrativos de la bodega en el periodo t. Estas últimas variables son positivas.

Luego de esto, se plantearon las distintas restricciones del modelo. Las primeras tres restricciones le otorgan valores a las últimas variables mencionadas anteriormente.

$$EBITDA_t = ING_t - COST_t \quad ; \forall t \in T$$

Esta restricción asegura que el valor del EBITDA sea calculado cada periodo.

$$ING_t = \sum_{p \in P} PV_p * V_{p,t} \quad ; \forall t \in T$$

Esta restricción asegura que los ingresos sean calculados en cada periodo.

$$COST_t = \sum_{p \in P} (X_{p,t} * CU_p + I_{p,t} * CM_p + N_{p,t} * CC) + CF \quad ; \forall t \in T$$

Esta restricción asegura que los costos y gastos administrativos sean calculados cada periodo.

Luego, se plantearon dos restricciones de capacidad, una asociada a la capacidad de producción de la planta y otra a la capacidad del camión.

$$X_{p,t} \leq CAP_p \quad ; \forall t \in T, p \in P$$

Esta restricción asegura que la cantidad a pedir de cada producto en cada periodo no supere la capacidad de producción del producto p de la planta.

$$X_{p,t} \leq CAPC * N_{p,t} \quad ; \forall t \in T, p \in P$$

Esta restricción asegura que la cantidad a pedir de cada producto en cada periodo no supere la capacidad del camión por el número de pedidos del producto p o viajes que el camión va a realizar en el periodo t.

Las otras dos restricciones aseguran el balance de unidades en la bodega y que el inventario inicial del periodo antes del primero sea 0.

$$I_{p,t-1} + X_{p,t} = D_{p,t} + I_{p,t} - Y_{p,t} \quad ; \forall t \in T, p \in P$$

$$I_{p,0} = 0 \quad ; p \in P$$

Después de esto se construyó una restricción que indica que las ventas realizadas de cada producto en cada periodo son iguales a la demanda pronosticada menos los faltantes.

$$V_{p,t} = D_{p,t} - Y_{p,t} \quad ; \forall t \in T, p \in P$$

La penúltima restricción asegura que la cantidad de unidades faltantes de cada producto en cada periodo no supere el 10% de la demanda pronosticada. De esta manera se garantiza que para cada producto se tenga un nivel de servicio del 90% o más en todos los meses.

$$Y_{p,t} \leq NS * D_{p,t} \quad ; \forall t \in T, p \in P$$

Finalmente se tiene la restricción de no negatividad, la cual asegura que todas las variables del modelo sean mayores o iguales a 0.

A continuación se encuentra el planteamiento completo del modelo realizado:

Conjuntos

$$P = \{1, 2, 3\}$$

$$T = \{1, \dots, t, \dots, 12\}$$

Parámetros:

- CM_p : Costo de mantener inventario asociado al producto p
 CAP_p : Capacidad de producción para cada tipo de producto p
 CU_p : Costo unitario de cada producto tipo p
 PV_p : Precio de venta de cada producto tipo p
 $D_{p,t}$: Demanda pronosticada para cada tipo de producto p en el mes t
 CF : Costo fijo de operación de la bodega
 CC : Costo de cada desplazamiento del modo de transporte
 $CAPC$: Capacidad del modo de transporte
 NS : Nivel de servicio

Variables:

- $X_{p,t}$: Cantidad a pedir del producto tipo p en el periodo t
 $V_{p,t}$: Cantidad a vender del producto tipo p en el periodo t
 $Y_{p,t}$: Número de faltantes del producto tipo p en el periodo t
 $I_{p,t}$: Inventario al final del periodo t del producto tipo p
 $EBITDA_t$: Beneficios antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización
 $N_{p,t}$: Número de pedidos realizados en el periodo p para el producto tipo p
 ING_t : Ingresos obtenidos en el periodo t
 $COST_t$: Costos y gastos administrativos en el periodo t

Función objetivo:

$$\text{Maximizar FO: } \sum_{t \in T} EBITDA_t$$

Restricciones:

$$EBITDA_t = ING_t - COST_t \quad ; \forall t \in T$$

$$ING_t = \sum_{p \in P} PV_p * V_{p,t} \quad ; \forall t \in T$$

$$COST_t = \sum_{p \in P} (X_{p,t} * CU_p + I_{p,t} * CM_p + N_{p,t} * CC) + CF \quad ; \forall t \in T$$

$$X_{p,t} \leq CAP_p \quad ; \forall t \in T, p \in P$$

$$X_{p,t} \leq CAPC * N_{p,t} \quad ; \forall t \in T, p \in P$$

$$I_{p,t-1} + X_{p,t} = D_{p,t} + I_{p,t} - Y_{p,t} \quad ; \forall t \in T, p \in P$$

$$I_{p,0} = 0 \quad ; p \in P$$

$$Y_{p,t} \leq NS * D_{p,t} \quad ; \forall t \in T, p \in P$$

$$V_{p,t} = D_{p,t} - Y_{p,t} \quad ; \forall t \in T, p \in P$$

$$X_{p,t}, V_{p,t}, Y_{p,t}, I_{p,t}, EBITDA_t, N_{p,t}, ING_t, COST_t \geq 0$$

Para la solución del modelo se utilizó el lenguaje de programación algebraica AMPL, y se optimizó mediante la herramienta AMPL IDE y el solver CPLEX ver anexo 5. Luego de implementar el modelo, se obtuvo un valor óptimo de 344080354.9 de la función objetivo. Esto indica que el valor del EBITDA para el 2019, según el modelo, es de \$344'080.354,9 COP. Así mismo los resultados de las variables de decisión para los *camibuses* se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados del modelo para la línea de camibuses

	$V_{p,t}$	$X_{p,t}$	$I_{p,t}$	$Y_{p,t}$	$N_{p,t}$
Enero	5237	5237	0	0	2
Febrero	5582	5582	0	0	2
Marzo	6091	6091	0	0	2
Abril	5386	5386	0	0	2
Mayo	5343	5343	0	0	2
Junio	5425	5880	455	0	2
Julio	6120	6500	835	0	2
Agosto	5567	6500	1768	0	2
Septiembre	5623	6500	2645	0	2
Octubre	6681	6500	2464	0	2
Noviembre	7533	6500	1431	0	2
Diciembre	7931	6500	0	0	2

Como se puede observar, el modelo arrojó que, para los primeros cinco meses, no se debe contar con inventario. Luego, a partir de junio se comienzan a almacenar *camibuses* para el alza en la demanda de los meses de noviembre y diciembre. El inventario promedio de *camibuses* es de 800 unidades. Así mismo, de enero a junio la cantidad a pedir es igual al pronóstico de demanda de dichos meses y de julio a diciembre se debería pedir la capacidad máxima de producción para poder cumplir con el pico de demanda de final de año. Se observa además que en todos los meses el camión debe realizar dos recorridos para abastecer la bodega y que en ningún mes se presentan unidades faltantes, lo cual garantiza un nivel de servicio del 100%.

De la misma manera, se observa en la Tabla 7 se muestra que para el básico cuello redondo sí se cuenta con unidades faltantes. No obstante, el nivel de servicio obtenido es del 99,29%. Debido a la alta demanda, en todos los meses se debe tener la capacidad máxima de producción. De enero a mayo y luego en octubre se debe tener en inventario las cantidades mostradas, para el resto de los meses el nivel de inventario debería ser 0. El inventario promedio es de 112 unidades. Finalmente, se observa que para satisfacer la demanda de camisetas básicas cuello redondo el camión debe realizar dos recorridos por mes.

Tabla 7. Resultados del modelo para la línea de básicas cuello redondo

	$V_{p,t}$	$X_{p,t}$	$I_{p,t}$	$Y_{p,t}$	$N_{p,t}$
Enero	7654	7700	46	0	2
Febrero	7665	7700	81	0	2
Marzo	7523	7700	258	0	2
Abril	7509	7700	449	0	2
Mayo	7661	7700	488	0	2
Junio	8188	7700	0	61	2
Julio	7700	7700	0	333	2
Agosto	7700	7700	0	57	2
Septiembre	7700	7700	0	26	2
Octubre	7676	7700	24	0	2
Noviembre	7724	7700	0	57	2
Diciembre	7700	7700	0	124	2

Para las camisetas básicas de cuello en v, se debe pedir todos los meses 2600 unidades, lo cual es la capacidad máxima de producción de la planta. Así mismo, se debe mantener inventario en los ocho meses que se muestran en la Tabla 8. De esta manera, el inventario promedio es de 116 unidades. Por otro lado, esta línea es la que mayor número de faltantes tiene y el nivel de servicio obtenido es del 95,37%. Finalmente se tiene que para atender la demanda de esta línea de producto el camión debe realizar un desplazamiento por mes.

Tabla 8. Resultados del modelo para la línea de básicas cuello en v

	$V_{p,t}$	$X_{p,t}$	$I_{p,t}$	$Y_{p,t}$	$N_{p,t}$
Enero	2554	2600	46	0	1
Febrero	2559	2600	87	0	1
Marzo	2687	2600	0	114	1
Abril	2568	2600	32	0	1
Mayo	2632	2600	0	96	1
Junio	2600	2600	0	76	1
Julio	2462	2600	138	0	1
Agosto	2587	2600	151	59	1
Septiembre	2493	2600	258	277	1
Octubre	2578	2600	280	286	1
Noviembre	2484	2600	396	275	1
Diciembre	2996	2600	0	332	1

4.3. Medición de los impactos

En la etapa de Medir, se obtuvo que la bodega contó con un EBITDA de \$ 305'894.480COP. Luego de la mejora, se podría obtener un EBITDA de \$344'080.000. Esto indica que, si se implementa la política de inventarios arrojada por el modelo, la empresa podría tener un aumento de aproximadamente 12,48% de los beneficios antes de impuestos, intereses, depreciación y amortización obtenidos por los productos de la categoría A. Este ahorro es generado principalmente por los bajos niveles de inventario que contaría la bodega. De esta manera se pasaría de gastar \$21'384.300 COP a \$1'303.140 COP en almacenamiento de inventario, lo cual implicaría un ahorro del 91,91% para la empresa.

Por otro lado, se tendría menor capital de trabajo invertido en inventarios. Esto se evidencia al comparar los inventarios promedio y la rotación de cada producto. El inventario promedio disminuiría 4700, 7888 y 3634 unidades para los *camibuses*,

camisetas básicas cuello redondo y básicas cuello en v respectivamente. Así mismo el inventario pasaría de rotar aproximadamente cada mes a rotar cada 4, 1, y 2 días respectivamente para estas tres líneas de producto. Esto lograría un impacto positivo en la empresa teniendo en cuenta que gran parte de las ventas realizadas son a crédito y por ende se podría aumentar el flujo de efectivo en la bodega. Así mismo, al llevar un control de demanda insatisfecha se podría monitorear el nivel de servicio, el cual luego de la mejora cumple con la política interna de mantener este indicador entre el 90% y 95%.

5. Control / Verificación

El modelo matemático genera una valoración económica de los beneficios potenciales para la empresa, si se ordenan y almacenan las cantidades descritas en cada periodo para las referencias de producto involucradas. Se realizó una validación de la solución y se describen los aspectos a tener en cuenta para la implementación y control.

5.1. Instrumentos de validación

En este proyecto se desarrolló un modelo matemático de programación lineal entera mixta, en lenguaje de programación AMPL, se utilizó el solver CPLEX en un procesador Intel® Core™ i7-6500U CPU @ 2.50GHz 2.59GHz, memoria RAM 8.00GB y con sistema operativo de 64 bits. Al ejecutar el modelo en AMPL con el procesador descrito se obtuvieron 216 variables, 180 de carácter enteras y 36 lineales, 131 restricciones todas lineales, 108 de igualdades y 23 de desigualdades en un tiempo de procesamiento de 15 segundos con 85 iteraciones MIP simplex. En el momento de la formulación matemática, se debe de realizar la validación con expertos de manera que las restricciones matemáticamente estén asegurando las condiciones descritas y se ajusten a la realidad de la empresa, esta validación se hace con cada restricción una por una para verificando que el resultado esté dentro de valores reales.

Se procedió a realizar un análisis de sensibilidad para determinar qué tan susceptible es el modelo a cambios en los parámetros de entrada. La demanda es el parámetro más crítico puesto que no se tiene control sobre sus valores, y se optó por variar los niveles de demanda en un 5%, luego se varió la demanda por producto manteniendo constante la demanda de los demás productos para determinar cómo contribuye cada ítem en el comportamiento del modelo, se resume en la siguiente tabla los valores encontrados:

Tabla 9. Resultado variaciones análisis sensibilidad

Item	Variacion	% Variación Ebitda
Demanda	5%	5.69%
Demanda	-5%	-9.72%
Camibuso	5%	5.75%
Camibuso	-5%	-5.83%
Cuello Redondo	5%	0.04%
Cuello Redondo	-5%	-3.62%
Cuello en V	5%	-0.08%
Cuello en V	-5%	-0.27%

En el primer caso se encuentra una relación proporcional frente al incremento de la demanda ya que la función objetivo responde al aumento del 5% con un incremento del 5,69%, y en el caso de disminución de la demanda se ve un decremento del valor de la EBITDA de un 9,7% de lo anterior se puede concluir que el sistema es más sensible ante cambios hacia la disminución de la demanda. Yendo más al detalle de la contribución de cada ítem en las variaciones descritas, según la Tabla 9, los *camibuses* es el artículo más sensible, pues en ambos casos muestra la mayor variación, mientras que la referencia de Cuello en V, tanto para el aumento como la disminución de la demanda aporta una baja variación en ambos casos negativa, fenómeno que se explica porque al aumentar la demanda el sistema no tiene la capacidad para responder ante este aumento y se incurre muchos costos de faltantes. En todos los casos se cumple la política de la empresa de atender a la demanda con un nivel de servicio mayor al 90%.


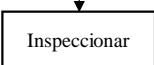
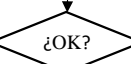
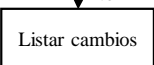
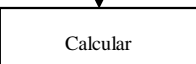
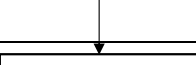


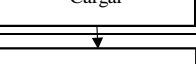
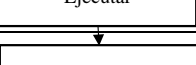
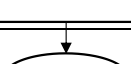
Se realizó una nueva modificación al modelo considerando un aumento en la demanda de 10 puntos porcentuales lo que generó mucha demanda insatisfecha por falta de capacidad de producción, y por ende incumplimiento en la política de calidad de nivel de servicio. De lo anterior se puede concluir que cuantitativamente ante variaciones superiores al 10% de la demanda,

sin aumento de las capacidades, el modelo no satisface las condiciones de servicio del sistema. Por último, Se duplicaron los costos de mantener inventario, pero estos no afectan ni en un 1% la valoración económica, lo que se puede concluir que estos costos no tienen impacto en la solución calculada por el modelo matemático.

5.2. Estandarización de la solución – POE'S (plan de control)

Se entregó a la empresa, el modelo matemático programado en lenguaje de programación AMPL, seguido de un archivo de Excel formulado para calcular los pronósticos de demanda y demás parámetros de entrada del modelo. Para utilizar en el mercado la herramienta AMPL se debe adquirir por parte de la empresa una licencia para negocios, al ser un modelo simple se recomienda el primer paquete ofrecido por los servicios de AMPL, la cual es una licencia de tipo usuario único y su valor comercial es de 4,000 USD. La solución propuesta está determinada para un periodo de 12 meses, por lo cual se busca asegurar que al final del último periodo al interior de la empresa se pueda modificar el archivo de datos y realimentar el modelo con nuevos parámetros de entrada. Se generó el siguiente procedimiento para manipular el modelo mostrado en la Tabla 10:

Tabla 10. Procedimiento operacional estándar (POE)

PROCEDIMIENTO OPERACIONAL ESTANDAR (POE)			
Manipulación Modelo			
Objetivo: Obtener un nuevo plan para la gestión de inventarios de los siguientes periodos que indique la cantidades de inventario para cada periodo y poder satisfacer la demanda con un nivel de servicio superior al 90%.			
Recursos: Equipo de computo, software Excel y AMPL.			
Item	Actividad	Descripcion	Responsable
		Inicio del proceso	
1		Abrir el archivo de datos y revisar que parametros de entrada esten actualizados.	Administrador Bodega
		¿Estan los valores de los datos actualizados?	
2		Ordenar en una lista los datos a cambiar.	Asistente Bodega
3		Según el tipo de dato a calcular, realizar el procedimiento, hasta completar la lista de cambios.	Asistente Bodega
4		Según listado, reemplazar nuevos valores calculados.	Asistente Bodega
5		Cersiorarse que todos los datos esten debidamente registrados	Asistente Bodega
6		Guardar y cargar los archivos de data, modelo y comandos en el solver.	Administrador Bodega
7		Correr el modelo y extraer la informacion clave.	Administrador Bodega
8		Verificar que la informacion extraida sea coherente.	Administrador Bodega
		Fin del proceso	

En el ítem 3, la actividad calcular es crítica pues se debe hacer uso de una herramienta externa al modelo como lo es el archivo entregado de Excel, el cual está formulado para calcular los pronósticos de demanda y demás parámetros de entrada del modelo. Se debe seguir las siguientes recomendaciones descritas en la Tabla 11:

Tabla 11. Recomendaciones procedimiento operacional estándar (POE)

PROCEDIMIENTO OPERACIONAL ESTÁNDAR (POE)
Manipulacion Modelo
Actividad: Calculo datos
Ejecutor: Asistente bodega
Resultados esperados: Matriz de datos de demanda en la cual las columnas son los periodos y las filas los tipos de productos.
Preparacion y manteriales necesarios: Formato en excel formulado para el calculo de los pronosticos de demanda metodo Holt Winters, constantes de suavizacion del modelo para cada referencia.
Principales tareas: Verificar que los historicos de demanda sean de la referencia a ser calculada. Consignar los valores de demanda de los periodos que no se tienen registro. Desplegar formulas de excel. Extraer datos de la columna de pronostico Organizar informacion de matriz siguiendo el orden establecido para las referencias
Aspectos a tener en cuenta: Para determinar los parametros diferentes a los de demanda, es preciso seguir un proceso similar identificando el tipo de dato en el excel y modificar los datos verificando que se ajusten al orden establecido en el archivo de datos de AMPL.

Por último, se debe realizar un análisis estadístico de los datos para obtener los pronósticos adecuados, y se recomienda que sea un ingeniero quien realice cualquier modificación sobre el modelo y los parámetros de entrada.

5.3. Conclusiones

La política de inventarios para la Empresa de confecciones de la ciudad de Cali, se define mediante un modelo matemático el cual, al utilizar programación lineal entera mixta, indica las cantidades a ordenar y a almacenar por mes. Al no realizar la implementación de la propuesta de mejora no hay evidencia que asegure un beneficio para la operación de la bodega. Sin embargo, se podría generar hasta un ahorro del 91% en costo de mantener inventario, es decir 20'081.160 COP que se dejarían de invertir en inventarios pues se gastaría \$1'303.140 COP en vez de los \$21'384.300 COP que se invierten actualmente en la bodega. Además, se podría tener un aumento del 12.48% de los beneficios antes de impuestos, depreciación y amortización de la operación de la bodega, que representa 38'185.520 COP anuales.

Como efecto directo de la política de inventarios se sistematizo los pronósticos de demanda para las tres referencias de productos involucradas en el modelo, se concluye que la metodología utilizada es reproducible pues se logró reducir el error porcentual medio absoluto (MAPE) a menos del 6% para todas las referencias, lo que representa una desviación media absoluta (MAD) de menos de 350 unidades de producto para la referencia con mayor error de pronóstico, lo que asegura un nivel de servicio con el cliente superior al 90% en cada uno de los meses considerados por el modelo.

5.4. Recomendaciones

Se considera que deben involucrarse todas las referencias de productos en el modelo matemático para abarcar la totalidad de la operación de la bodega y de esta manera sistematizar por completo la política de inventarios para cada línea de productos. Por otra parte, se podría valorar económicamente toda la gestión de la bodega y se podría extraer información clave para tomar de decisiones de nivel gerencial.

Se recomienda sistematizar la recolección de datos de demanda para realizar pronósticos con mayor eficacia para todas las referencias de producto, así como registrar demanda insatisfecha que permita valorar el nivel de servicio y obtener un control sobre la demanda insatisfecha y así monitorear el indicador de nivel de servicio.

Se recomienda revisar y reemplazar los datos de costos propuestos en el modelo, debido a que los datos planteados son aproximaciones del valor real. La empresa puede estimar mejor los costos incluyendo todas las variables que afecten el resultado. Para proyectos de diseño similares es preciso involucrar todos los costos asociados a la operación de la empresa en estudio, con el fin de dar una valoración económica confiable.

6. Glosario

Probabilidad: Es la mayor o menor posibilidad de que algo ocurra, es determinar cuantitativamente la certeza o duda de que un suceso dado ocurra o no [11]

Inventario probabilístico: Es un modelo estadístico aplicable cuando la demanda del producto o cualquier otra variable no se conoce, pero se puede especificar por medio de una distribución de probabilidad. [12]

Efecto látigo: describe la tendencia a las grandes fluctuaciones en el tamaño de los pedidos a medida que los pedidos se transmiten a la cadena de suministro hasta el cliente. El efecto látigo puede ocurrir cuando los pedidos disminuyen y cuando aumentan a lo largo de la cadena de suministro. [13]

Clasificación ABC: El análisis ABC es una aplicación de inventario de lo que se conoce como el principio de Pareto (llamado así por Vilfredo Pareto, un economista italiano del siglo XIX). El principio de Pareto establece que existen “pocos críticos y muchos triviales”. [14]

Demanda: la demanda es la suma de las compras de bienes y servicios que realiza un cierto grupo social en un momento determinado. [15]

Inventario de seguridad: El inventario de seguridad aumenta agregando una cantidad de unidades como amortiguador al punto de reorden. [16]

Cadena de suministro: Es la coordinación de todas las actividades de la cadena de suministro involucradas en la mejora del valor del cliente [17].

Curva de producción: Cantidad a producir de cada talla (XS, S, M, L y XL) en cada referencia de acuerdo a la demanda y a la utilización de la tela.

7. Tabla de Anexos

No. Anexo	Nombre	Desarrollo (propio o terceros)	Tipo de Archivo (PDF, HTLM, Excel, Word...)	Enlace corto (https://goo.gl/)
1	Cronograma	Propio	Word	
2	Herramientas de ingeniería utilizadas para alcanzar cada objetivo específico	Propio	Word	http://www.iise.org/details.aspx?id=43631
3	Matriz comparación por pares	Propio	Excel	
4	Matriz de preferencias para selección de alternativas	Terceros	Excel	Fuente: Alvaro Figueroa Cabrera
5	Modelo matemático	Propio	AMPL	
6	Cálculos para el modelo y pronósticos	Propios	Excel	
7	Resultados modelo	Propio	Excel	

8. Referencias

- [1] S. Hatefi and S. Torabi,(2014) "A Common Weight Linear Optimization Approach for Multicriteria ABC Inventory Classification", *Advances in Decision Sciences*, vol. 2015, pp. 1-11, 2014. Available: [http://file://clspujfscv01/DatosE02/pablopr10/Downloads/ContentServer%20\(1\).pdf](http://file://clspujfscv01/DatosE02/pablopr10/Downloads/ContentServer%20(1).pdf). [Accessed 1 February 2019].
- [2] R. Perez, S. Mosquera and J. Bravo, (2012) "Application of Forecast Models In Products of Massive Consumption", *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* Vol 10, no. 2 pp. 117-125, 2012. Available: [file://clspujfscv01/DatosE02/pablopr10/Downloads/pronosticos%20\(1\).pdf](file://clspujfscv01/DatosE02/pablopr10/Downloads/pronosticos%20(1).pdf). [Accessed 1 February 2019].
- [3] R. Tripathi, (2013) "Inventory Model with Different Demand Rate and Different Holding Cost", *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol. 4, no. 3, pp. 437-446. Available in:

<http://file://clspujfscv01/DatosE02/pablopr10/Downloads/inventory%20model%20diferent%20demand%20rate.pdf>.
[Accessed 1 February 2019].

- [4] B. RAMASESHAN, N. ACHUTHAN and R. COLLINSON, "A Retail Category Management Model Integrating Shelf Space and Inventory Levels", *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, vol. 26, no. 04, pp. 457-478, 2009. Available: <file://clspujfscv01/DatosE02/pablopr10/Downloads/out.pdf>. [Accessed 1 February 2019].
- [5] Valencia, M., Díaz, F. and Correa, J. (2014). *Inventory planning with dynamic demand. A state of art review*. DYNA, [online] pp.182-191. Available at: <http://file:///C:/Users/W8.1/Downloads/inventarios.pdf> [Accessed 17 Apr. 2019].
- [6] «INSTITUTE OF INDUSTRIAL AND SYSTEMS ENGINEERS» 2018, [En línea]. Disponible en: <http://www.iise.org/details.aspx?id=43631>. [Ultimo acceso: 26 08 2018]
- [7] E. (EAM), "Encuesta anual manufacturera (EAM)", Dane.gov.co, 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/encuesta-anual-manufacturera-enam>. [Accessed: 11- Nov- 2018].
- [8] S. Disneya, A. Maltz, X. Wang and R. Warburton, "Inventory management for stochastic lead times with order crossovers", ELSEVIER. Boston, pp. 473-486, 2015.
- [9] Tsai, S. and Zheng, Y. (2013). A simulation optimization approach for a two-echelon inventory system with service level constraints. In: ELSEVIER, 4th ed. Taiwan, pp.364-374.
- [10] Baghalian, A., Rezapour, S. and Farahani, R. (2013). Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case. In: ELSEVIER, 3rd ed. Iran, pp.199-215.
- [11] "Código de comercio ley 3284", Oas.org, 2018. [En línea]. Disponible: http://www.oas.org/juridico/spanish/mesicic3_cri_comercio.pdf. [Accessed: 05- Oct- 2018].
- [12] "Secretaría Senado. Diario oficial No.42692". 2018. [En línea]. Disponible: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0256_1996.html
- [13] Definista, "Probabilidad", Concepto de - Definición de, 2018. [En línea]. Disponible: <https://conceptodefinicion.de/probabilidad/>. [Accessed: 10- Nov- 2018].
- [14] J. Heizer, B. Render and C. Munson, *Operations management*, 20th ed. Boston: Pearson, 2015, pp. 508.
- [15] J. Heizer, B. Render and C. Munson, *Operations management*, 20th ed. Boston: Pearson, 2015, pp. 474-475.
- [16] J. Heizer, B. Render and C. Munson, *Operations management*, 20th ed. Boston: Pearson, 2015, pp. 491.
- [17] J. Perez Porto and A. Gardey, "Definición de demanda — Definicion.de", Definición.de, 2009. [En línea]. Disponible: <https://definicion.de/demanda/>. [Accessed: 10- Nov- 2018].
- [18] J. Heizer, B. Render and C. Munson, *Operations management*, 20th ed. Boston: Pearson, 2015, pp. 508.
- [19] J. Heizer, B. Render and C. Munson, *Operations management*, 20th ed. Boston: Pearson, 2015, pp. 444.