



UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

---

**DESARROLLO DE MODELO DE  
OPTIMIZACIÓN PARA EL PROCESO DE  
ADQUISICIÓN DE TÓTEMES PARA  
ESTACIONES DE SERVICIO EN COPEC  
S.A.**

---

**Alumna:** Natalia Sofía Hellwig García

**Carrera:** Ingeniería Civil Industrial

**Universidad:** Universidad Adolfo Ibáñez

**Profesor:** Raimundo Sánchez Undurraga

## RESUMEN

El suministro de combustible juega un papel vital en la logística y el transporte a nivel nacional. La eficiencia operativa y la optimización en este ámbito son pilares fundamentales. Copec S.A., como empresa líder en el sector, tiene como requisito instalar un Tótem de precios con el logo de la empresa en cada estación de servicio que abren, éstos son actualizados cada 5 años.

El proyecto de pasantía se centra en desarrollar un modelo de optimización para la gestión de compras de estos Tótems. El objetivo es evitar tanto el exceso de stock como la falta de actualización de estos elementos. Esta optimización permitirá utilizar los almacenes internos de manera más efectiva y evitará situaciones de escasez o exceso de inventario en las estaciones de servicio.

El modelo se diseñó con una base de datos que abarca el periodo 2020 hasta el 2023, este trabaja con la premisa de requerir la menor cantidad de datos posibles, incluyendo la demanda real del material en el momento actual, los costos asociados a los pedidos y almacenamiento, así como los espacios disponibles y utilizados para los Tótems a nivel nacional. Para garantizar el éxito y la consecución de los objetivos propuestos, se llevó a cabo un levantamiento de información a través de SAP (*este conjunto de datos se multiplicó por un factor Alpha, asegurando así la protección de información sensible de la empresa*). Posteriormente, se procedió a filtrar y analizar estos datos para ejecutar el modelo, sometiéndolo a diversos testeos y condiciones.

El indicador de eficiencia utilizado se centró en la reducción del exceso de inventario al inicio de cada periodo, así como en el ahorro derivado de la adquisición en comparación con la fecha óptima para realizar los pedidos.

Como resultado, se logró una disminución del 50% en el inventario inmovilizado gracias a una precisa previsión de la demanda. Este acierto en la previsión de compras generó un ahorro del 26% en lo adquirido, destacando el impacto positivo del modelo en la gestión de inventario y compras de la empresa.

Conceptos clave: Modelo de Holt Winters, Modelo de Wagner Whitin, Sobre stock, Tótem.

## ABSTRACT

Fuel supply plays a vital role in national-level logistics and transportation. Operational efficiency and optimization are fundamental pillars in this area. Copec S.A., as a leading company in the sector, requires the installation of a price Totem featuring the company's logo at every service station they open, which is updated every 5 years.

The internship project focuses on developing an optimization model for managing the procurement of these Totems. The goal is to prevent both overstocking and the lack of updates for these elements. This optimization will enable more effective use of internal warehouses and prevent situations of inventory shortage or excess at service stations.

The model was designed with a database covering the period from 2020 to 2023. It operates under the premise of requiring the minimum amount of data possible, including the real-time demand for the material, costs associated with orders and storage, as well as the spaces available and used for the Totems nationwide. To ensure success and achieve the proposed objectives, information gathering was conducted through SAP (*this dataset was multiplied by an Alpha factor, ensuring the protection of sensitive company information*). Subsequently, this data was filtered and analyzed to execute the model, subjecting it to various tests and conditions.

The efficiency indicator used focused on reducing excess inventory at the beginning of each period, as well as the savings derived from acquisitions compared to the optimal date for placing orders.

As a result, a 50% decrease in immobilized inventory was achieved due to an accurate forecast of demand. This successful procurement forecast resulted in a 26% savings in acquisitions, highlighting the positive impact of the model on inventory and purchasing management within the company.

Key concepts: Holt Winters Model, Wagner Whitin Model, Overstock, Totem.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. CONTEXTO EMPRESA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>5</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3. DEFINICIÓN INDICADORES DE DESEMPEÑO .....</b>	<b>9</b>
<b>3. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1. PRONÓSTICOS DE DEMANDA.....</b>	<b>9</b>
3.1.1. MEDIAS MÓVILES:.....	10
3.1.2. SUAVIZADO EXPONENCIAL SIMPLE: .....	10
3.1.3. MÉTODO DE HOLT WINTERS .....	10
<b>3.2. MODELOS DE PLANIFICACIÓN .....</b>	<b>12</b>
3.2.1. MODELO EOQ .....	12
3.2.2. MODELO WAGNER WHITIN .....	13
3.2.3. MODELO NEWSVENDOR.....	14
<b>4. METODOLOGÍA DE LA SOLUCIÓN ESCOGIDA.....</b>	<b>15</b>
<b>4.1. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN .....</b>	<b>15</b>
4.1.1. EOQ ECONOMIC ORDER QUANTITY:.....	15
4.1.2. NEWSVENDOR:.....	16
4.1.3. INVENTARIO MULTIPRODUCTO (WAGNER WHITIN):.....	16
<b>4.2. SOLUCIÓN ESCOGIDA.....</b>	<b>17</b>
<b>5. DESARROLLO DE SOLUCIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>5.1. METODOLOGÍA.....</b>	<b>18</b>
<b>5.2. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN .....</b>	<b>29</b>
<b>5.3. ANÁLISIS DE RIESGOS.....</b>	<b>31</b>
<b>5.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA .....</b>	<b>33</b>
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
<b>6.1. RESULTADOS DEL DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>6.2. EVALUACIÓN DE MÉTRICAS DE DESEMPEÑO .....</b>	<b>35</b>
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>8. REFERENCIAS .....</b>	<b>36</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. CONTEXTO EMPRESA

Copec S.A Compañía de Petróleos de Chile, fue fundada el año 1934 y al día de hoy se dedica a una amplia gama de actividades relacionadas con el combustible y la energía, que incluyen el refinamiento y distribución de productos combustibles, así como la generación y distribución de energía eléctrica. La empresa también está involucrada en la venta de combustibles, lubricantes, productos químicos y servicios relacionados en Chile.<sup>1</sup>

El proyecto se llevará a cabo en la Subgerencia de Proyectos y Construcciones, la cual tiene como función el desarrollo y ejecución de Estaciones de Servicio, específicamente dentro del equipo de soporte en equipamiento e innovación (*Figura 1*), área encargada de la definición y gestión para adquisición de materiales involucrados en cada proyecto e implementación de innovaciones que den una ventaja en el servicio a la empresa.

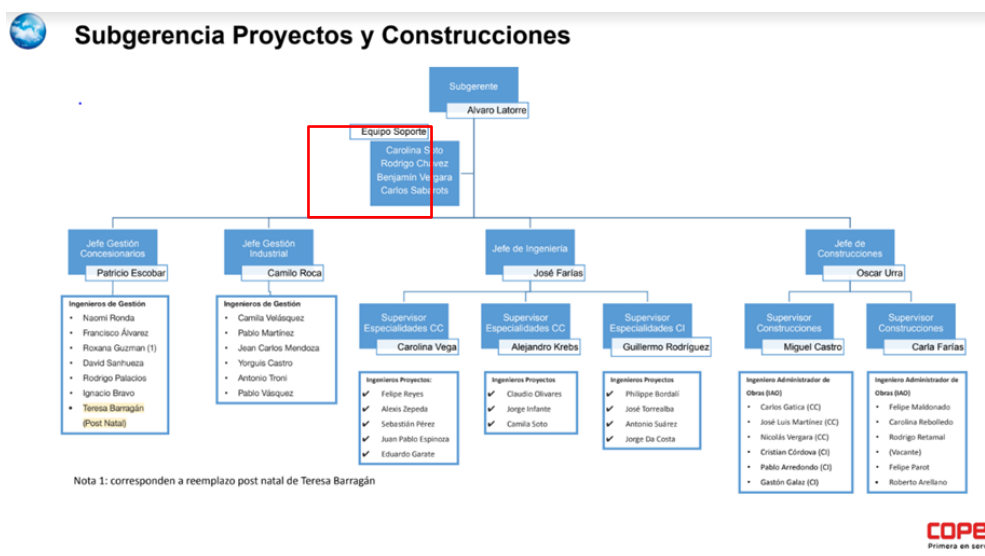


Figura 1: Organigrama Subgerencia Proyectos y Construcción. Fuente: Copec S.A.

El suministro de combustible de Copec se realiza a través de Estaciones de Servicio dispuestas a lo largo del país. Actualmente existen 683 Estaciones de Servicio que representan un 60,82% del mercado del combustible a nivel nacional. Respecto de sus competidores el porcentaje de suministro de Petróleo Combustible N°6 es de un 69%, Diésel de un 67% y Kerosene utilizado en la industria de la aviación de un 49%.

<sup>1</sup> Historia - Copec S.A. (s/f). Copec S.A. | Primera en servicio. Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de <https://ww2.copec.cl/nuestra-empresa/historia>

Asimismo, las Estaciones de Servicio al día de hoy, no sólo se enfocan en el abastecimiento de combustible para vehículos, sino que han implementado servicios adicionales para diferenciarse de la competencia. Entre ellos se destacan tiendas Pronto Copec y Punto Copec, aplicación Copec para pago digital, Lavamax, Zervo (Autoservicio), entre otros.<sup>2</sup>

La empresa Copec S.A. se caracteriza por la distribución de gasolina a nivel nacional. Cada Estación de Servicio tiene como requisito, para iniciar su operación, posicionar la Marca Copec y dar a conocer los precios de combustibles a través de Tótems (Figura 2).

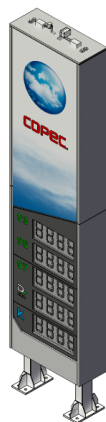


Figura 2: Prototipo de Tótem de precio

La distribución de las estaciones de servicio a nivel nacional se presentan en Figura 3 y la distribución de los Tótems en Figura 4:

### Distribución de Estaciones de Servicio

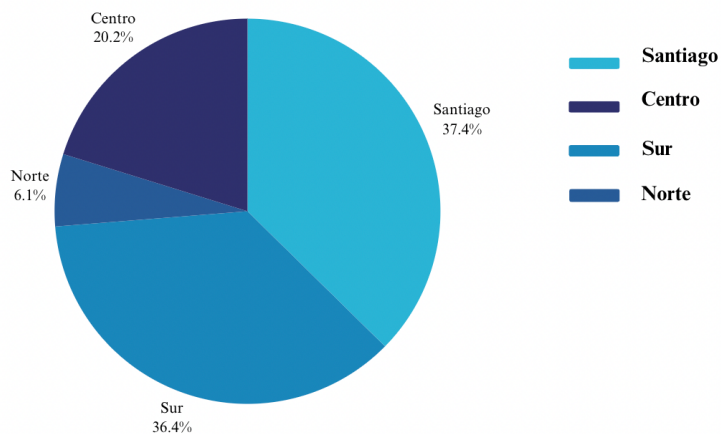


Figura 3 : Distribución de Estaciones de Servicio por zona

<sup>2</sup> Nuestra Empresa - Copec S.A. (s/f). Copec S.A. | Primera en servicio. Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de <https://ww2.copec.cl/nuestra-empresa>

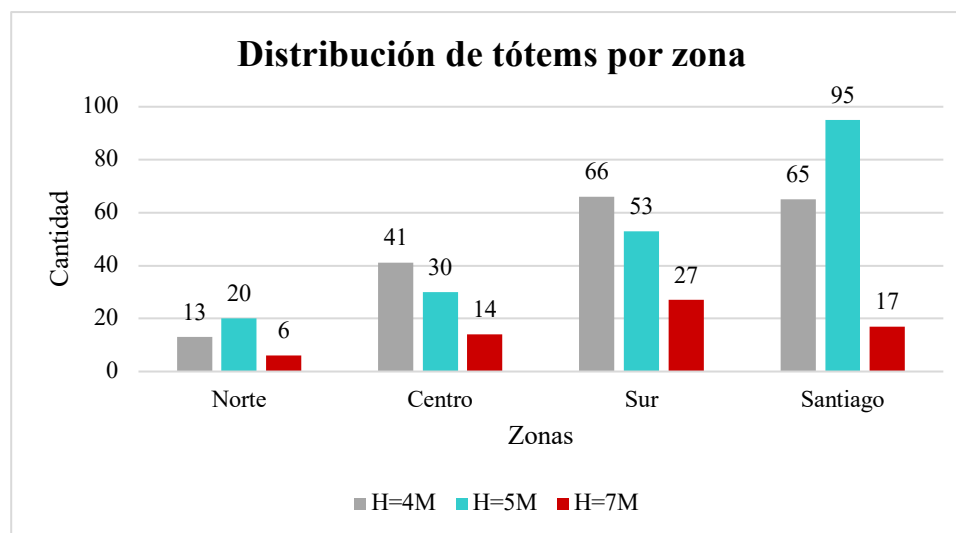


Figura 4: Distribución Tótems ubicación geográfica

A continuación se presenta el diagrama de flujo que explica el proceso de compra de los materiales que equipan las estaciones de servicio en Copec

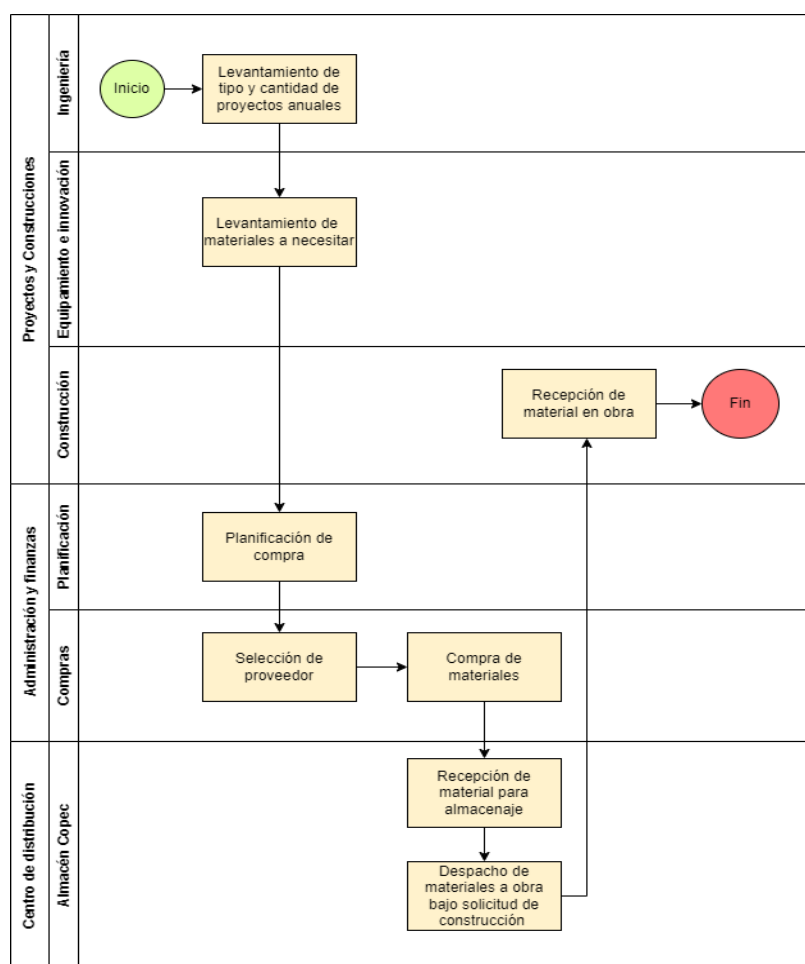


Figura 5: Proceso de adquisición de materiales. Fuente: elaboración propia

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El desafío central se encuentra en la gestión de los materiales, reflejado en el exceso de inventario almacenado al inicio de cada periodo, lo que deriva en un uso ineficiente de los recursos. Esta sobrecarga de stock en la bodega no solo conlleva a dejar de usar tótems adquiridos, sino que también genera un impacto negativo en la eficiencia general del proceso. Es crucial replantear la planificación de materiales para optimizar el flujo de inventario, evitar el exceso de almacenamiento y garantizar un uso más efectivo de los recursos disponibles.

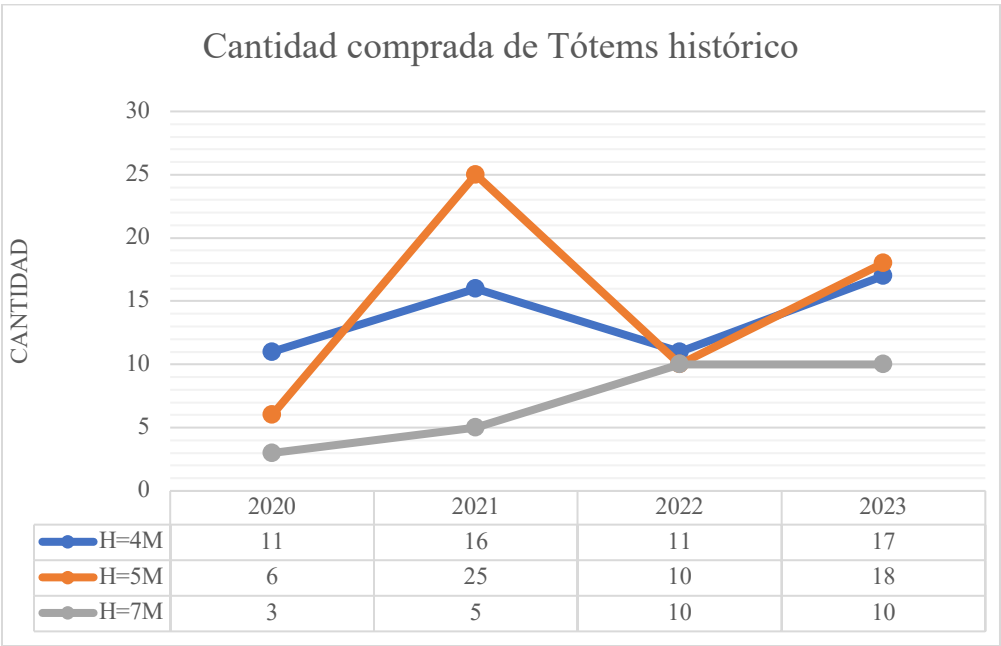
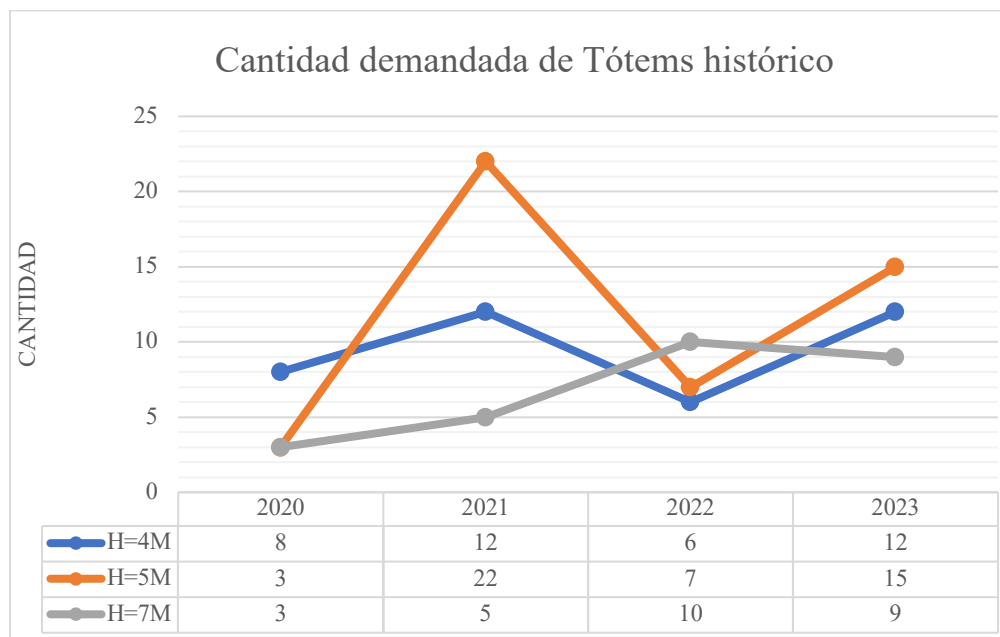


Figura 6: Cantidad total comprada histórica de Tótems



En función de la cantidad adquirida comparada con la realmente solicitada de almacén, se desprende que se pide menos de lo que hay, como lo muestra el *Figura 7*:



*Figura 7: Cantidad total utilizada histórica de Tótems*

En base a la información entregada por los gráficos de la cantidad histórica se puede hacer el cálculo del inventario disponible a inicio de cada periodo, como lo muestra la *Tabla 1*:

TÓTEM	2020	2021	2022	2023
H=4M	3	4	5	5
H=5M	3	3	3	3
H=7M	0	0	0	1

*Tabla 1: Cantidad de inventario a inicio de cada periodo*

TÓTEM	Costo [\$]
H=4M	4.500.000
H=5M	7.560.000
H=7M	11.160.000

*Tabla 2: Costo unitario de fabricación de Tótems*

TÓTEM	Costo Almacén Interno [\$]	Costo Almacén Externo [\$]
H=4M	64.000	80.000
H=5M	80.000	100.000
H=7M	112.000	120.000

*Tabla 3: Costo de almacenaje de Tótems*

Considerando los costos de almacenaje de los Tótems en almacenes externos, la *Tabla 4* y *Tabla 5* reflejan el valor asociado a la inmovilización de dicho inventario.

TÓTEM	2020 [\$]	2021 [\$]	2022 [\$]	2023 [\$]
H=4M	192.000	256.000	320.000	320.000
H=5M	240.000	240.000	240.000	240.000
H=7M	-	-	-	-
Total	432.000	496.000	560.000	672.000

*Tabla 4: Costo de inventario inmovilizado mensual*

TÓTEM	2020 [\$]	2021 [\$]	2022 [\$]	2023 [\$]
H=4M	2.304.400	3.072.000	3.840.000	3.840.000
H=5M	2.880.000	2.880.000	2.880.000	2.880.000
H=7M	-	-	-	1.344.000

*Tabla 5: Costo de inventario inmovilizado anual*

La empresa cuenta con una bodega interna que posee con una superficie de 120 [m<sup>2</sup>] destinada al almacenaje de estos materiales. En cambio, la bodega externa tiene suficiente espacio como para almacenar la totalidad de los Tótems fabricados.

El problema radica en el uso combinado de bodegas internas y externas ya que, el almacenamiento en esta última tiene un costo elevado al interno y es propenso a una depreciación y un costo de oportunidad ya que la gestión no siempre es notificada al área de planificación, pudiendo surgir daños físicos o stock fantasma por falta de registro vía SAP de las salidas. La *Tabla 6* presenta los costos de oportunidad y el daño de material.

COSTO FIJO DAÑO MATERIAL [\$]	400.000
COSTO DE OPORTUNIDAD [\$]	1.000.000

*Tabla 6: Costos fijos de Tótems*

TÓTEM	2020 [\$]	2021 [\$]	2022 [\$]	2023 [\$]
H=4M	14.040.000	18.720.000	23.400.000	23.400.000
H=5M	14.040.000	14.040.000	14.040.000	14.040.000
H=7M	-	-	-	4.680.000
Total	28.080.000	32.760.000	37.440.000	42.120.000

*Tabla 7: Costo de fabricación de inventario inmovilizado*

## 2. OBJETIVO

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Reducir en un 30% la cantidad de tótems solicitados al año (para evitar sobre stock) en un periodo de 12 meses mediante el desarrollo de un modelo de optimización.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Efectuar un levantamiento de información del actual proceso de manejo de stock de tótems.
2. Identificación de roles y responsabilidades mediante entrevistas a encargados de áreas para identificar el flujo del proceso.
3. Visita a bodega para conocer in situ manejo de stock de materiales.
4. Desarrollo de diagrama de flujo del manejo de stock de tótems.
5. Recopilación y análisis de datos históricos y costos de stock de tótems en bodega.
6. Definición de métricas de desempeño para incorporación de modelo de optimización.
7. Definición modelo a utilizar.
8. Identificación función objetivo del modelo
9. Identificación de variables involucradas.
10. Identificación de restricciones.
11. Elaboración de modelo de optimización.
12. Comunicación a involucrados de propuesta de mejora y forma de implementación.
14. Entrega de modelo de optimización.

### 2.3. DEFINICIÓN INDICADORES DE DESEMPEÑO

La reducción del sobre stock permite minimizar costos asociados al almacenamiento de productos no rotados y asegurar un flujo más ágil de materiales, lo que puede impactar positivamente en la rentabilidad de la empresa. Además, al mantener niveles de inventario más ajustados, se reduce el riesgo de obsolescencia y se libera capital para inversiones más estratégicas.

$$\text{Reducción de sobre stock} = \frac{(\text{Sobre stock real} - \text{Sobre stock pronosticado})}{\text{Sobre stock real}} \cdot 100\%$$

Al disminuir el sobre stock, se puede observar cómo estas mejoras en la planificación afectan directamente a la gestión de inventario.

Una reducción significativa en el sobre stock indicaría que se está logrando una planificación más precisa y eficiente, lo cual suele reflejarse en una reducción de costos asociados, al mismo tiempo que se garantiza un flujo más ágil de productos.

$$\text{Ahorro} = \frac{(\text{Costo sin pronóstico} - \text{Costo con pronóstico})}{\text{Costo sin pronóstico}} \cdot 100\%$$

## 3. ESTADO DEL ARTE

Con el fin de garantizar el adecuado progreso y la ejecución exitosa de este proyecto, se llevó a cabo una investigación que examinó varios casos de estudio en los que se abordaron problemas similares a los que se presentan en Copec S.A.

### 3.1. PRONÓSTICOS DE DEMANDA

La literatura explica varios modelos para pronosticar la demanda de un material. De éstos, se enfatizó en tres:

### 3.1.1. MEDIAS MÓVILES:

Diseñado para demanda intermitente, establece un promedio de la demanda pasada dando el mismo peso de las últimas N demandas (a mayor cantidad, menor el coeficiente de variación y el peso de los datos)<sup>3</sup>

$$M_t = \frac{x_t + x_{t-1} + x_{t-2} + \dots + x_{t-N+1}}{N} \quad (1)$$

### 3.1.2. SUAVIZADO EXPONENCIAL SIMPLE:

La suavización exponencial es un enfoque con un mecanismo de autocorrección que puede ajustar las proyecciones en respuesta a los errores previos. Implica calcular promedios ponderados de datos actuales y pasados, con ponderaciones que disminuyen exponencialmente. Por lo tanto, este método se puede emplear tanto para suavizar los datos como para generar múltiples tipos de pronósticos.<sup>4</sup>

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_{t-1} \quad (2)$$

Donde

$S_t$  = pronóstico al final del periodo  $t$

$S_{t-1}$  = pronóstico del periodo anterior  $t$

$X_t$  = demanda real

$\alpha$  = constante de suavización

### 3.1.3. MÉTODO DE HOLT WINTERS

Una empresa necesita determinar las cantidades de compra requeridas para cada uno de sus productos, con el objetivo de garantizar que siempre tenga suficiente inventario para satisfacer la demanda de los consumidores, minimizando al mismo tiempo los riesgos de tener productos obsoletos y los costos asociados con el mantenimiento del inventario. La empresa sigue políticas que establecen un nivel de servicio deseado, y cuenta con información sobre los tiempos de aprovisionamiento, los intervalos entre pedidos y los volúmenes de ventas de cada producto a lo largo de un período suficiente para analizar las tendencias y estacionalidades.

---

<sup>3</sup> (S/f). Unirioja.es. Recuperado el 19 de octubre de 2023, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117643>

<sup>4</sup> Pacheco, J. (2019, abril 12). *¿En qué consiste la Suavización Exponencial?* Web y Empresas. <https://www.webyempresas.com/la-suavizacion-exponencial/>

El resultado esperado es una lista de productos que se deben comprar junto con las cantidades necesarias. Este cálculo se realiza de manera regular para mantener el inventario actualizado de forma constante.<sup>5</sup>

$$A_t = \alpha \left( \frac{Ventas_t}{I_t} \right) + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1}) \quad (3)$$

$$T_t = \beta(A_t + A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (4)$$

$$I_t = \lambda \left( \frac{Ventas_t}{A_t} \right) + (1 - \lambda)I_t \quad (5)$$

$$Y_{t+1} = (A_t + i * T_t) * I_{t-l+i} \quad (6)$$

Donde

$A_t$ : Base del pronóstico (nivel de ventas cuando  $t = 0$ )

$\alpha$ : Factor entre 0 y 1 para ponderar la base del pronóstico

$\beta$ : Factor entre 0 y 1 para ponderar la tendencia del pronóstico

$\lambda$ : Factor entre 0 y 1 para ponderar la estacionalidad del pronóstico

$I_t$ : Factor de estacionalidad del periodo  $t$

$i$ : Índice del periodo para el que se está pronosticando a partir del periodo actual

$l$ : Número de periodos en el ciclo estacional

$T_t$ : Tendencia para las ventas en el periodo  $t$

$t$ : periodo de tiempo considerado

$Ventas_t$ : Ventas reales del periodo  $t$

$Y_t$ : Pronóstico para el periodo  $t$

<sup>5</sup> Arango Marin, J. A., Giraldo Garcia, J. A., & Castrillón Gómez, O. D. (2013). Gestión de compras e inventarios a partir de pronósticos Holt-Winters y diferenciación de nivel de servicio por clasificación ABC. *Scientia et technica*, 18(4), 743–747. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84929984023>

### 3.2. MODELOS DE PLANIFICACIÓN

#### 3.2.1. MODELO EOQ

Modelo básico de la cantidad económica a ordenar (EOQ)<sup>6</sup>

Es de las técnicas más antiguas y conocidas utilizadas en el control de inventarios.

Se usa bajo el supuesto que

1. La demanda es conocida, constante e independiente
2. El tiempo de entrega se conoce y es constante
3. La recepción del inventario es instantánea y completa
4. Los descuentos por cantidad no son posibles.
5. Los únicos costos variables son el de colocar una orden y el de almacenar inventarios.
6. Las inexistencias se evitan por completo si las órdenes se realizan en el momento correcto

##### Datos

Q= número de unidades por orden

Q\*=número óptimo de unidades a ordenar (EOQ)

D= demanda anual en unidades para el artículo en inventario

S= costo de ordenar o de preparación de cada orden

H= costo de mantener el inventario por unidad por año

La cantidad óptima de pedido es:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad (7)$$

Y se desprende el número de órdenes esperado como:

$$N = \frac{D}{Q^*} \quad (8)$$

Tiempo esperado entre órdenes:

$$T = \frac{n^{\circ} \text{ de días de trabajo por año}}{N} \quad (9)$$

---

<sup>6</sup> Principios de Administracion de Operaciones 7ma ed. - Jay Heizer, Barry Render.pdf. (s/f). Google Docs.  
Recuperado el 19 de octubre de 2023, de  
<https://drive.google.com/file/d/0B1lh3YUfXMSGs3lUdzloNDB5bHc/view?resourcekey=0--Irk3ZZdxB3Bh0KUHLsM7A>

Finalmente, se considera el costo total de adquisición de material como:

$$CT = \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H + PD \quad (10)$$

Este enfoque proporciona resultados satisfactorios incluso cuando se producen cambios significativos en sus parámetros. Como hemos observado, tiene a ser complicado precisar con exactitud los costos asociados a la gestión de pedidos y el mantenimiento del inventario. Por lo tanto, un modelo robusto resulta beneficioso en este contexto. El costo total de la Cantidad Económica de Pedido (EOQ) experimenta variaciones mínimas en las proximidades de su valor mínimo. La curva es poco pronunciada. Esto indica que las fluctuaciones en los costos de preparación, los costos de almacenamiento, la demanda o incluso en la EOQ generan diferencias relativamente modestas en el costo total.

### 3.2.2. MODELO WAGNER WHITIN

Una empresa ecuatoriana, aplicó el modelo de Wagner Whitin ya que presentaban un problema similar a Copec, el stock que simulaba la plataforma en almacén, no era el correcto, el cual consistía en el orden de múltiples productos bajo la siguiente construcción de código: <sup>7</sup>

#### Conjuntos:

$I$  = número de productos

$J$  = longitud del horizonte (meses)

#### Índices:

$i$  = índice de productos  $[0,1,2,3 \dots I]$

$t$  = índice de meses  $[0,1,2,3 \dots t]$

#### Parámetros:

$c_{(i,t)}$  = costo de compra del producto  $i$  en el mes  $t$

$d_{(i,t)}$  = demanda del producto  $i$  en el mes  $t$

$CO_i$  = costo de ordenar el producto

$h_{(i,t)}$  = costo de mantener inventario  $i$  en el mes  $t$

$I_0$  = costo de compra del producto  $i$  en el mes  $t$

$C_{api}$  = capacidad de la bodega para almacenar el producto  $i$

$M = BigM$

<sup>7</sup> (S/f). Edu.ec. Recuperado el 19 de octubre de 2023, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12938/2/04%20IND%20365%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>



#### Variables:

$Z$  = costo óptimo de adquisición del producto

$X_{(i,t)}$  = cantidad a ordenar del producto  $i$  en el mes  $t$

$S_{(i,t)}$  = inventario final del producto  $i$  en el mes  $t$

$Y_{(i,t)}$  = variable binaria ( $i$  se realiza el pedido o no?)

Este modelo enfatiza la minimización de costos de compra que impactan en el inventario, ya sea el costo de transporte, mantención y petición de producto.

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_t C_{(i,t)} * X_{(i,t)} + h_{(i,t)} * S_{(i,t)} + CT_i * Y_{(i,t)} \quad (11)$$

Basado en las siguientes restricciones;

a) Balance de inventario:

$$S_{(i,t)} = S_{(i,t-1)} + X_{(i,t)} - d_{(i,t)}; \forall i, t \quad (12)$$

b) Capacidad de pedido:

$$X_{(i,t)} = C_{api} \forall i, t \quad (13)$$

c) Balance binario:

$$X_{(i,t)} \leq M * Y_{(i,t)} \forall i, t \quad (14)$$

d) No negatividad

$$X_{(i,t)}, S_{(i,t)} \geq 0 \quad (15)$$

e) Valores binarios

$$Y_{(i,t)} \in [1,0] \quad (16)$$

### 3.2.3. MODELO NEWSVENDOR

El modelo Newsvendor originalmente se diseñó para productos perecederos. Sin embargo, en este estudio, se ha ampliado su aplicación para productos que poseen características logísticas especiales y no necesariamente son perecederos.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> (S/f). Edu.co. Recuperado el 19 de octubre de 2023, de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/1d551893-a5e4-4856-af17-001d6e4551bc/content#page=418>

La principal ventaja de esta propuesta radica en la reducción de costos en las adquisiciones y en la disminución de la incertidumbre en la toma de decisiones. Esto se logra al determinar los niveles óptimos de inventario que posibilitan ofrecer un nivel de servicio más elevado, gracias a la agilización de los tiempos de respuesta a los pedidos de los clientes.

El primer paso es calcular la probabilidad basado en los costos faltantes y excedentes:

$$p(Q^*) = \frac{C_u}{C_u + C_o} \quad (17)$$

Con el valor de la probabilidad “Z”, se debe ubicar en la tabla de distribución normal para poder calcular la cantidad a ordenar para maximizar las ganancias de la empresa.

$$Q^* = \bar{x} + z\sigma \quad (18)$$

Donde:

$C_u$ : Costo faltante

$C_o$ : Costo excedente

$Q^*$ : Cantidad óptima

## 4. METODOLOGÍA DE LA SOLUCIÓN ESCOGIDA

### 4.1. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para el óptimo desarrollo e implementación de la solución del proyecto, se analizan tres métodos para ser llevados a cabo:

#### 4.1.1. EOQ ECONOMIC ORDER QUANTITY:

El EOQ, o Cantidad Económica de Pedido, es una herramienta esencial para determinar la cantidad óptima de material que debe ser solicitada en un período determinado. Su cálculo se basa en ciertas suposiciones clave:

1. Demanda Constante y Uniforme: se supone que la demanda del material es constante y uniforme durante el período de tiempo analizado. Esto significa que no hay variaciones significativas en la cantidad requerida.
2. Costo de Mantenimiento Basado en Inventario Promedio: el costo de mantener el inventario se calcula en función del inventario promedio durante el período. Esto incluye costos como el almacenamiento, el deterioro y la obsolescencia.
3. Costo de Ordenar Constante: se asume que el costo de realizar un pedido es constante. Esto incluye gastos administrativos asociados con la colocación de un pedido, como el tiempo del personal y los costos de procesamiento.

4. Precio Unitario Constante: se supone que el precio unitario del material no cambia durante el período analizado.
5. No se Aceptan Quiebres de Stock: el modelo EOQ se diseñó para evitar quiebres de stock. Es decir, se busca determinar la cantidad óptima de pedido de manera que se minimicen las posibilidades de quedarse sin material en stock.

En resumen, el EOQ es una herramienta que ayuda a las empresas a gestionar su inventario de manera eficiente al calcular la cantidad óptima de material que deben pedir para satisfacer la demanda sin incurrir en costos excesivos de mantenimiento o pedidos. Este cálculo se basa en suposiciones específicas sobre la demanda, los costos y el proceso de pedido, y es una herramienta valiosa para optimizar la gestión de inventario.<sup>9</sup>

Aunque algunos materiales pueden tener una demanda constante debido al tipo de proyecto, esta situación no se aplica a todos los materiales, lo que en última instancia restringe la capacidad de la empresa para escalar, algo que no se ajusta a los objetivos de la organización.

#### 4.1.2. NEWSVENDOR:

El Problema del Vendedor de Periódicos, también denominado Newsvendor Problem, se presenta como una manera clara de ilustrar una categoría de desafíos caracterizados por tener una demanda incierta (estocástica) pero con una distribución de probabilidad conocida. En este contexto, el objetivo radica en determinar el tamaño óptimo de un pedido o lote que minimice una función de costos esperados.<sup>10</sup>

Este problema se limita a un solo período, lo que genera un costo monetario asociado a cualquier exceso de inventario (es decir, realizar un pedido de un tamaño superior a la demanda).

#### 4.1.3. INVENTARIO MULTIPRODUCTO (WAGNER WHITIN):

Este modelo puede ser evaluado desde la falta de espacio para almacenamiento de inventario o en base al presupuesto límite con el que cuenta el área. Para medir la efectividad del modelo se aplica el nivel de servicio, el cual representa el porcentaje variabilidad de la demanda que se busca satisfacer.<sup>11</sup>

---

<sup>9</sup> Sebatjane, M., & Adetunji, O. (2019). Economic order quantity model for growing items with imperfect quality. *Operations Research Perspectives*, 6(100088), 100088. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2018.11.004>

<sup>10</sup> Qin, Y., Wang, R., Vakharia, A. J., Chen, Y., & Seref, M. M. H. (2011). The newsvendor problem: Review and directions for future research. *European Journal of Operational Research*, 213(2), 361–374. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.11.024>

<sup>11</sup> ¿Qué es y cómo calcular el nivel de servicio? (2021, noviembre 4). *Slimstock*. <https://www.slimstock.com/es/blog/que-es-y-como-calcular-el-nivel-de-servicio/>

Implica un equilibrio entre los costos asociados al inventario y los costos derivados de la escasez de productos, que incluyen pérdida de ventas, oportunidades desaprovechadas y la insatisfacción del cliente, entre otros aspectos.

#### 4.2. SOLUCIÓN ESCOGIDA

En la *Tabla 8* se establece, por elaboración propia basada en el estado del arte, una escala de puntajes asignados a cada categoría dentro de los modelos calificados del 1 al 5, siendo el 5 el valor mejor evaluado para los casos de “Escalabilidad”, “Facilidad de uso”, “Rapidez de modificación” y el peor evaluado para “Datos requeridos” y “Tiempo de implementación”

	EOQ Básico	Newsvendor	Inventario multiproducto
<b>Escalabilidad</b>	2	3	5
<b>Facilidad de uso</b>	2	3	4
<b>Datos requeridos</b>	3	3	4
<b>Tiempo de implementación</b>	2	2	2
<b>Rapidez de modificación</b>	2	4	5

*Tabla 8: Ponderación de variables según modelo aplicado*

Se establece el siguiente método para encontrar el modelo óptimo:

- $E_i$ : escalabilidad del modelo “i”
- $F_i$ : facilidad de uso del modelo “i”
- $D_i$ : datos requeridos para el modelo “i”
- $T_i$ : tiempo requerido para implementar el modelo “i”
- $R_i$ : rapidez de modificación del modelo “i”
- $PT$ : puntaje total

$$PT = E_i + F_i + R_i - D_i - T_i \quad (19)$$

	EOQ Básico	Newsvendor	Inventario multiproducto
<b>Total</b>	1	5	7

*Tabla 9: Valor ponderado final de variables para elección de modelo de optimización*

Por ende, entre las soluciones consideradas para mejorar la planificación de compras, se opta por la implementación del inventario multiproducto (*Tabla 9*). Este enfoque se utiliza para estimar la cantidad futura demandada de cada material, basándose en pronósticos de la demanda, y teniendo en cuenta las limitaciones del espacio de almacenamiento. El propósito fundamental de este método es facilitar la agrupación de diversas categorías de un mismo material, permitiendo así un seguimiento y control más efectivo de su rotación.

## 5. DESARROLLO DE SOLUCIÓN

### 5.1. METODOLOGÍA

La metodología a utilizar es el método Waterfall o cascada. Éste consta de seis tareas donde cada una recae sobre el paso siguiente:



Figura 8: Diagrama Metodología Waterfall. Fuente: Elaboración propia

**Etapas 1: Levantamiento de información:** esta etapa es clave para el desarrollo del proyecto y abarca toda la información recopilada que puede ser de utilidad para entender el contexto de la empresa y del problema. Es necesaria para identificar la oportunidad de mejora.

**Etapa 2: Análisis de datos:** una vez levantados los datos, es necesario hacer un estudio detallado para comprender su naturaleza y definir métricas clave que permitan filtrar la información relevante para el proyecto. Esto implica un proceso de exploración exhaustiva de los datos, identificando patrones, tendencias y posibles correlaciones. Además, se deben establecer criterios claros para determinar qué datos son pertinentes y cómo contribuyen al objetivo del proyecto. Estas métricas pueden incluir medidas de rendimiento, indicadores clave de desempeño (KPIs), estadísticas relevantes o cualquier otro parámetro que ayude a tomar decisiones informadas y a obtener información significativa para el desarrollo del proyecto.

**Etapa 3: Desarrollo de modelo:** involucra la ejecución del modelo de optimización considerando las variables identificadas en la fase de análisis. Esta etapa implica la construcción de un marco o algoritmo que integre las métricas definidas previamente y permita procesar los datos de manera eficiente. Además, incluye la fase de testeo, donde se pondrá a prueba el modelo para evaluar su desempeño y su capacidad de generar resultados acordes a los objetivos del proyecto. Durante esta fase, es crucial revisar y ajustar el modelo según los hallazgos obtenidos en las pruebas, lo que puede implicar modificaciones en las variables, el enfoque metodológico o incluso el replanteamiento de la propuesta inicial. Este proceso iterativo busca mejorar continuamente el modelo para asegurar su eficacia y precisión en la toma de decisiones.

**Etapa 4: Implementación:** La etapa de implementación es crucial para enseñar a los usuarios de la empresa cómo aprovechar el modelo desarrollado para gestionar los pedidos de compra. Esto implica proporcionar capacitación detallada, documentación clara y soporte continuo para garantizar que los usuarios comprendan cómo acceder al modelo, interpretar sus resultados y utilizar sus funciones para realizar pedidos de manera eficiente. Además, se recopila retroalimentación para mejorar continuamente el sistema y asegurar una experiencia efectiva y satisfactoria en el proceso de pedidos.

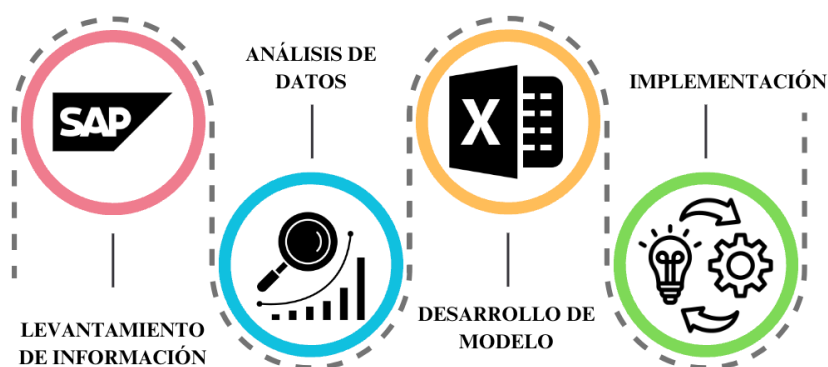


Figura 9: etapas simplificadas a seguir. Fuente: Elaboración propia

**Etapas 1 y 2:**

Se inició con la búsqueda histórica de adquisición de Tótems de precios con el objetivo de separar por trimestres la cantidad adquirida versus la demandada real vía SAP, éstos fueron multiplicados por un factor  $\alpha$  con el objetivo de proteger datos sensibles de la empresa.

De las cantidades recopiladas vía SAP, se realizó un análisis del stock a inicio de cada periodo considerando un stock de seguridad.

Además, se recopiló la información asociada a los costos de almacenamiento tanto en almacén externo como interno en conjunto de las dimensiones disponibles, costos de orden de pedido, de inventario inmovilizado y de oportunidad.

**Etapas 3:**

Para el desarrollo del modelo, fue necesario contar con el pronóstico de demanda del material a estudiar.

Se evaluaron los tres métodos anteriormente mencionados y éstos fueron los errores medios absolutos (MAE) encontrados para el caso de los tótems:

TÓTEM	MAE		
	Alisado Exponencial Simple	Holt Winters (Alisado Exponencial Triple)	Medias móviles
H=4M	1,23	1,18	1,56
H=5M	1,75	1,64	2,22
H=7M	0,67	0,64	0,78

*Tabla 10: Errores medios absolutos para cada material según modelos de pronósticos de demanda*

La aleatoriedad de los pedidos según cómo se van desarrollando los proyectos durante el año, hace más complejo el ajuste entre la demanda real y su proyección. A pesar de ello y basado en los estudios de los tres modelos por medio del uso de Solver en Excel, se aprecia que, en todos los casos, el Alisado Exponencial Triple es el que presenta un menor error medio absoluto, por lo que es el método seleccionado para realizar el pronóstico de demanda.

Para medir el impacto del modelo a implementar, se realiza la comparación entre la cantidad demandada y la cantidad pronosticada de demanda para el año 2023:

	Periodo T	Demanda H=4M	AT	Tt	St	Yt'	Error
	-2				1		
	-1				1		
AÑO	0				1		
2020	1	3	3	0	1		
	2	4	3,900	0,09	1,003	3,000	1,000
	3	3	3,099	0,0009	0,997	4,000	1,000
	4	1	1,210	-0,188091	0,983	4,000	3,000
2021	5	2	1,902	-0,10006191	1,005	2,000	0,000
	6	3	2,873	0,007056034	1,007	2,000	1,000
	7	4	3,900	0,108977056	1,000	3,000	1,000
	8	3	3,149	0,022976012	0,980	4,000	1,000
2022	9	1	1,213	-0,172920866	0,987	4,000	3,000
	10	2	1,892	-0,087688256	1,012	2,000	0,000
	11	1	1,081	-0,160045071	0,992	2,000	1,000
	12	2	1,929	-0,05916704	0,985	1,000	1,000
2023	13		0,187	-0,22749085	0,888	2,000	
	14		-0,004	-0,223849055	0,911	2,000	
	15		-0,023	-0,20333846	0,893	2,000	
	16		-0,023	-0,182986939	0,887	2,000	

Tabla 11: Pronóstico de demanda de Tótems H=4M

Alfa	0,9
Beta	0,1
Gamma	0,100
MAE	1,182

Tabla 12: Valores optimizados del pronóstico de demanda de Tótems H=4M

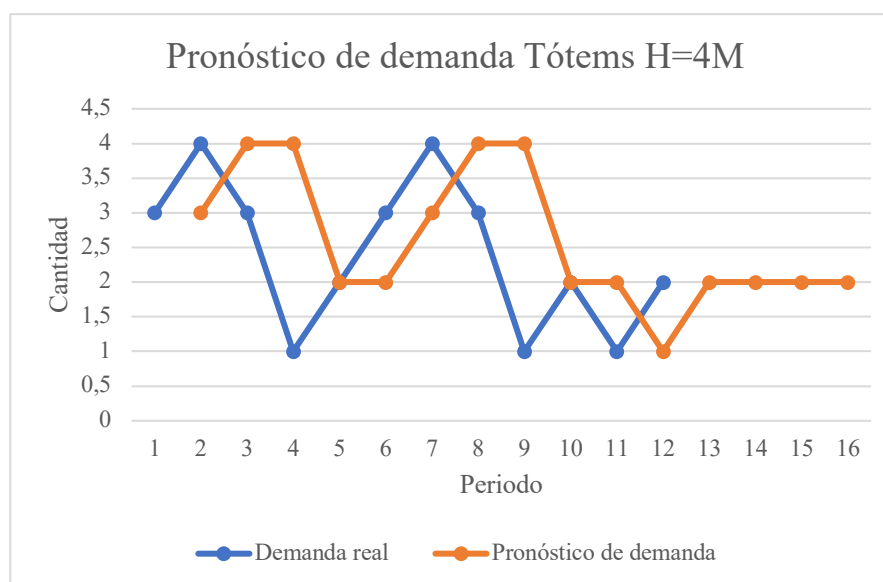


Figura 10: Comparación de demanda real y pronosticada Tótems H=4M



	Periodo T	Demanda H=5M	AT	Tt	St	Yt'	Error
	-2				1		
	-1				1		
AÑO	0				1		
2020	1	1	1	0	1		
	2	2	1,900	0,09	1,016	1,000	1,000
	3	2	1,999	0,0909	1,000	2,000	0,000
	4	1	1,109	-0,007191	0,971	3,000	2,000
2021	5	4	3,710	0,25364709	1,023	2,000	2,000
	6	7	6,598	0,517109915	1,029	5,000	2,000
	7	6	6,111	0,416628023	0,995	8,000	2,000
	8	5	5,289	0,292835013	0,963	7,000	2,000
2022	9	3	3,196	0,054247467	0,998	6,000	3,000
	10	1	1,199	-0,150873834	0,971	4,000	3,000
	11	2	1,915	-0,064279736	1,010	2,000	0,000
	12	1	1,120	-0,137336772	0,942	2,000	1,000
2023	13		0,098	-0,225745432	0,699	1,000	1,000
	14		-0,013	-0,214269209	0,679	1,000	1,000
	15		-0,023	-0,193837358	0,707	1,000	1,000
	16		-0,022	-0,174348811	0,659	1,000	1,000

Tabla 13: Pronóstico de demanda de Tótems H=5M.

Alfa	0,9
Beta	0,1
Gamma	0,300
MAE	1,889

Tabla 14: Valores optimizados del pronóstico de demanda de Tótems H=5M

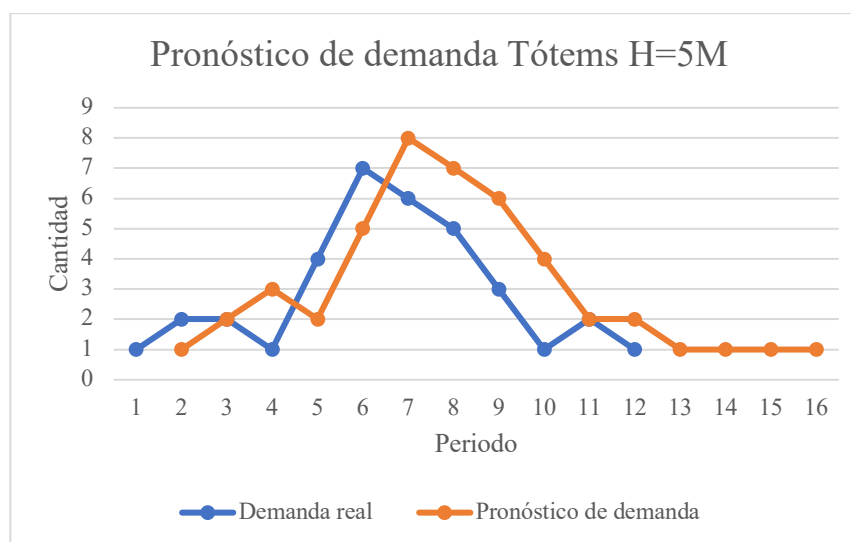


Figura 11: Comparación de demanda real y pronosticada Tótems H=5M

	Periodo T	Demanda H=7M	AT	Tt	St	Yt'	Error
	-2				1		
	-1				1		
AÑO	0				1		
2020	1	0	0	0	1		
	2	1	0,446	0,04285874	1,776	0,000	1,000
	3	1	0,717	0,06474789	1,247	1,000	0,000
	4	1	0,879	0,07409041	1,086	1,000	0,000
2021	5	1	0,974	0,07608688	1,017	1,000	0,000
	6	2	1,084	0,07932528	1,819	2,000	0,000
	7	1	1,002	0,06384036	1,091	2,000	1,000
	8	1	1,001	0,05762453	1,031	2,000	1,000
2022	9	3	1,904	0,13872631	1,367	2,000	1,000
	10	3	1,867	0,12186944	1,686	4,000	1,000
	11	2	1,919	0,11521143	1,060	3,000	1,000
	12	2	1,992	0,11112694	1,014	3,000	1,000
2023	13		1,164	0,02099507	0,511	3,000	3,000
	14		0,656	-0,02980053	0,631	4,000	4,000
	15		0,347	-0,05664307	0,396	3,000	3,000
	16		0,161	-0,06907509	0,379	3,000	3,000

Tabla 15: Pronóstico de demanda de Tótems H=7M

Alfa	0,4
Beta	0,1
Gamma	0,600
MAE	0,636

Tabla 16: Valores optimizados del pronóstico de demanda de Tótems H=7M

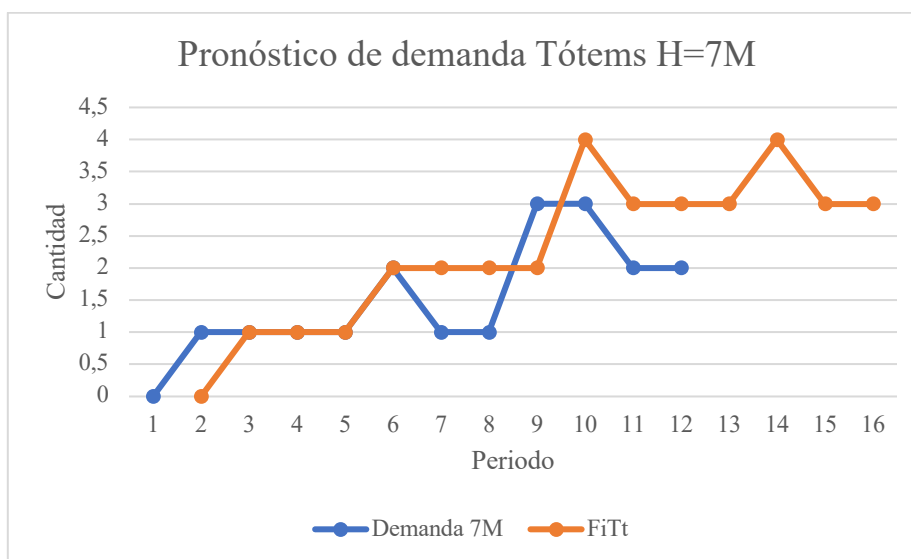


Figura 12: Comparación de demanda real y pronosticada Tótems H=7M

Una vez pronosticadas las demandas, se puede comenzar a realizar el modelo vía Excel, siendo necesario:

1. Identificar las variables de decisión implicadas en el modelo, es decir, los valores involucrados que serán clave para la resolución del problema.
2. Determinar la función objetivo, la cual tiene como objetivo maximizar o minimizar las variables de decisión bajo una formulación matemática.
3. Determinar las restricciones, ya que es necesario acotar el problema para llegar a un valor lo más preciso posible.
4. Realizar el modelo en base a la solución escogida vía Excel.
5. Iterar el modelo elegido con el fin de pulir la planilla tipo y lograr que sea escalable, preciso y cumpla las restricciones propuestas.
6. Interpretar resultados con el objetivo de medir la efectividad del modelo aplicado y su impacto en la empresa.

Este pronóstico entrega la escalabilidad del modelo ya que puede ser utilizado bajo cualquier requerimiento de material. Para efectos de medición de impacto, se utilizará la demanda real y pronosticada del año 2023.

Una vez realizado el pronóstico de demanda bajo el modelo de Holt Winters, es necesario realizar un ajuste debido al posible sobre stock y stock de seguridad del periodo anterior (año 2022), el stock de seguridad debiese ser siempre 2.

Se hará distinción de dos tipos de pedido, el primero “ $\lambda^*$ ” dice la demanda pronosticada a comprar considerando que hubo un sobre stock a final del periodo anterior (en este caso, 2022) y se basa en utilizar dichas unidades y ordenar la diferencia restante.

El segundo, “ $Q^{ss}$ ” hace alusión a un *pedido único* a inicio de periodo para contar con stock de seguridad necesario en caso de que el periodo anterior se haya utilizado, quiere decir que, si a inicios de periodo se cuenta con stock de seguridad, no se ordene, de lo contrario, que se ordene la diferencia para completar el mínimo solicitado.

$$S_b = S_{st} - S_{se} \quad (20)$$

$$\lambda^* = \lambda - S_b \quad (21)$$

$$Q^{ss} = SI(S_{se} < 2; +ABS(S_{se} - 2)) \quad (22)$$

$\lambda^*$ : demanda pronosticada usando stock anterior

$Q^{ss}$ : cantidad a ordenar de stock de seguridad

$S_{se}$ : stock de seguridad

$S_b$ : stock base

$S_{st}$ : sobre stock

El primer paso es completar los stocks de cada periodo, los costos, la superficie que utiliza cada Tótem y la total disponible en la planilla Excel, estos valores se muestran en las *Tablas 17, 18, 19 y 20*:

TÓTEM/AÑO	TOTEEMS COMPRADOS Q				DEMANDA $\lambda$			
	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
H=4M	11	16	11	17	8	12	6	12
H=5M	6	25	10	18	3	22	7	15
H=7M	3	5	10	10	3	5	10	10

Tabla 17: Condición de stock general a comienzo del periodo

TÓTEM	ADQUIRIR	ORDENAR	ALMACENAJE EXTERNO	ALMACENAJE INTERNO	TASA DE POSESIÓN
H= 4M	\$ 4.500.000	\$ 600.000	\$768.000	\$720.000	17,07%
H= 5M	\$ 7.560.000	\$ 600.000	\$960.000	\$840.000	12,70%
H= 7M	\$11.160.000	\$ 600.000	\$1.344.000	\$1.200.000	12,04%

Tabla 18: Costos asociados a los Tótems

SUPERFICIE POR UNIDAD [m <sup>2</sup> ]	
H= 4M	8
H= 5M	10
H= 7M	14

Tabla 19: Superficie utilizada por Tótems

Espacio disponible (m <sup>2</sup> )	120
--------------------------------------	-----

Tabla 20: Superficie utilizada por Tótems

El modelo arroja automáticamente el siguiente modelo de EOQ que consta de la cantidad a pedir, cuántas veces y cada cuánto tiempo. Aquí no está considerando la restricción del espacio disponible en bodega por lo que es el punto de inicio para comenzar el modelo de Wagner Whitin:

TÓTEM	Sobre stock	Stock de seguridad	Stock base para pedido
H=4M	5	2	3
H=5M	3	2	1
H=7M	0	0	0

Tabla 21: Datos de stock desglosado a principios del periodo

TÓTEM	DEMANDA BASADA EN STOCK PREVIO	DEMANDA CONSIDERANDO REPOSICIÓN DE STOCK DE SEGURIDAD	PRONÓSTICO DEMANDA CONSIDERANDO SOBRE STOCK LIBRE DE USO	EOQ	NÚMERO DE PEDIDOS	LEAD TIME
H= 4M	5	0	5	3	3	84
H= 5M	3	0	3	2	2	125
H= 7M	13	2	15	4	5	50

Tabla 22: Primera visión de pedidos

Espacio disponible (m <sup>2</sup> )	120
Espacio utilizado por stock base para pedido (m <sup>2</sup> )	34
Espacio disponible final (m <sup>2</sup> )	86

Tabla 23: Restricciones de espacio

Como eventualmente la cantidad utilizada podría superar el límite de espacio, se integra el Lagrangiano para la correcta planificación, teniendo como función objetivo:

$$\text{Min } Z = W - \sum Q_j * w_j \quad (23)$$

sujeto a:

Función Lagrangiana:

$$Q_j = \sqrt{\frac{2K_j\lambda_j}{h_j + 2\mu w_j}} \quad (24)$$

Restricción de espacio disponible:

$$Q_j * w_j \leq W - Q_{sb} * w_j \quad (25)$$

Número de pedidos:

$$N = \frac{\text{Pronóstico de demanda}}{EOQ} \quad (26)$$

Restricción de stock de seguridad:

$$S_{se} = 2 \quad (27)$$

Restricciones de no negatividad:

$$\mu \geq 0 \quad (28)$$

$$Q_j \geq 0 \quad (29)$$

$$w_j \geq 0 \quad (30)$$

$$W \geq 0 \quad (31)$$

Siendo

$Q_j$ : cantidad de material j

$Q_{sb}$ : cantidad de material j disponible a ser utilizado

$w_j$ : espacio ocupado por material  $j$

$W$ : espacio total disponible

$\mu$ : multiplicador de Lagrange

$K$ : costo de ordenar

$h$ : costo inventario anual

$\lambda_j$ : pronóstico de demanda material  $j$

Una vez aplicado el Solver en base a las restricciones mencionadas anteriormente, calcula los valores óptimos de las cantidades a pedir respetando el espacio disponible, el cual previamente se acotó en base al stock a inicio de periodo.

TÓTEM	Q*
Q* (4M)	2
Q* (5M)	2
Q* (5M)	3
MU	65000000
RESTRICCIÓN	8
Espacio total utilizado*	78

Tabla 24: Valores optimizados en función de espacio disponible

El valor de MU se calcula utilizando la función Solver en Excel, donde se ingresan las variables, la función y las restricciones previamente establecidas. Es importante señalar que, además de la cantidad óptima ( $Q^*$ ), si el nivel de inventario de seguridad es inferior al valor predefinido, se agrega la cantidad necesaria para alcanzar un nivel mínimo de 2.

Es relevante destacar que este ajuste no se considera dentro del espacio disponible, ya que se ha diferenciado el espacio destinado para solicitar inventario del espacio reservado para el inventario de seguridad en la planilla.

## 5.2. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

Este proceso clave implica guiar a los usuarios de la empresa en el uso efectivo del modelo desarrollado para la gestión de pedidos de compra. Para ello, se lleva a cabo una serie de pasos, representados en la *Figura 13*:



*Figura 13: Pasos a seguir para plan de implementación. Fuente: Elaboración propia*

1. **Capacitación del personal:** Se realizan sesiones de capacitación para los usuarios relevantes dentro de la empresa. Estas sesiones les brindan el conocimiento necesario sobre cómo acceder al modelo, cómo interpretar los resultados y cómo utilizar las funcionalidades disponibles para realizar pedidos de compra de manera eficiente y precisa.
  - 1.1. **Sesiones de capacitación:** se organizan sesiones exclusivas destinadas a instruir a los usuarios en el manejo del modelo específico. Estas sesiones pueden adoptar la forma de presentaciones, talleres prácticos o clases interactivas, o incluso una combinación de estas modalidades. El objetivo es asegurar que todos los participantes adquieran un conocimiento integral sobre cómo emplear eficazmente la herramienta en cuestión.
  - 1.2. **Conocimiento sobre cómo acceder al modelo:** esto comprende todos los datos esenciales para acceder al sistema o plataforma que aloja el modelo. Puede abarcar aspectos técnicos, como el procedimiento de inicio de sesión, la accesibilidad desde distintos dispositivos o cualquier medida de seguridad requerida para el acceso.



- 1.3. **Interpretación de resultados:** los usuarios necesitan tener la capacidad de interpretar y asimilar los resultados generados por el modelo. Esto implica no sólo comprender el significado de estos resultados, sino también saber cómo aplicarlos dentro del entorno operativo de la empresa.
- 1.4. **Uso de funcionalidades disponibles:** se trata de instruir a los empleados en el aprovechamiento de las múltiples herramientas y funcionalidades disponibles en el modelo. Esto implica no sólo enseñar cómo usar las diversas funciones, sino también cómo ajustar parámetros y sacar el máximo provecho de la herramienta para mejorar la eficiencia en tareas específicas, como el proceso de pedidos de compra.
2. **Integración con tecnología de la empresa:** la integración del modelo creado implica la incorporación de la hoja de cálculo dentro del entorno tecnológico de Copec. Si bien Excel es una herramienta muy utilizada para crear modelos, a menudo se necesita integrar los modelos con otros sistemas o plataformas empresariales para maximizar su utilidad y eficiencia. Esta integración incluye los siguientes aspectos:
  - 2.1. **Compatibilidad y accesibilidad:** garantizar la compatibilidad del modelo en Excel con los sistemas y software utilizados dentro de Copec. Esta tarea podría requerir ajustes en el modelo para asegurar su correcto funcionamiento con otros programas o plataformas internas.
  - 2.2. **Interfaz con otros sistemas:** en caso de que la compañía emplee distintos sistemas o almacenes de datos, resulta fundamental que el modelo en Excel pueda conectarse o importar información de forma eficiente desde estas fuentes externas. Esto asegura la actualización y precisión de los datos utilizados en el modelo.
  - 2.3. **Seguridad de datos:** al fusionar un modelo de Excel con otros sistemas, es esencial garantizar la seguridad de los datos. Esto implica la implementación de protocolos de seguridad para resguardar la información confidencial y controlar el acceso y la modificación del modelo, regulando quiénes tienen autorización para ello.
  - 2.4. **Escalabilidad:** Si el modelo de Excel se emplea en procesos estratégicos o críticos, es crucial valorar su capacidad de expansión. Esto implica analizar si el modelo puede crecer y ajustarse conforme la empresa y sus requisitos cambien, sin poner en riesgo su eficacia.

En resumen, la integración de un modelo realizado en Excel con la tecnología de la empresa implica hacer que este modelo sea compatible, interactúe fluidamente con otros sistemas, garantice la seguridad de los datos y pueda adaptarse al crecimiento y los cambios dentro de la organización. Esto permite aprovechar al máximo el modelo en el contexto empresarial más amplio.

3. **Soporte continuo:** se implementa un sistema de apoyo para resolver preguntas o inquietudes que puedan surgir al utilizar el modelo. Esto puede realizarse mediante un equipo técnico de soporte que ofrezcan ayuda y solucionen problemas de manera inmediata.
4. **Etapa de pruebas:** es necesario someter el modelo a pruebas antes de su implementación con el fin de llevar a cabo un control de calidad, corregir posibles errores y lograr que la solución sea lo más amigable posible para el usuario.
5. **Documentación detallada:** se prepara documentación clara y detallada que sirva como guía para los usuarios. Esto incluye un procedimiento que explica cómo utilizar el modelo propuesto.

### 5.3. ANÁLISIS DE RIESGOS

A continuación, se presenta una matriz de riesgo asociada a la implementación del modelo de inventario multiproducto (*Tabla 25*):

- (1) Insignificante: el riesgo tendrá consecuencias mínimas.
- (2) Menor: las consecuencias son de fácil gestión.
- (3) Moderada: las consecuencias tardarán en ser mitigadas.
- (4) Importante: las consecuencias pueden causar daño a largo plazo.
- (5) Catastrófico: consecuencias de difícil recuperación.

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Nivel	Descripción	Mitigación
Falla Operacional	5	3	Extremo	Error humano al utilizar la planilla de datos, eventual error al completar datos o eliminar información relevante.	Capacitación a usuarios involucrados en el proceso de planificación y compra de materiales. Bloquear casillas que están bajo automatización para evitar cambios no correspondientes.

Caída de sistema	2	5	Alto	Existe la probabilidad de que la planilla no responda si es que la exigencia es muy alta en un tiempo acotado, obligando al usuario a cerrar el archivo sin poder guardar previamente.	Realizar un plan que considere copias de seguridad regulares bajo un autoguardado programado.
Cambio en costos	5	2	Alto	Bajo el contexto de una empresa que está sometida al impacto económico del país, puede cambiar el costo asociado a los Tótems y deben ser actualizados oportunamente.	Asignar ingeniero que se encargue de realizar seguimiento a la actualización de planilla.
Resistencia Organizacional	2	4	Alto	Debido a costumbres en la manera de trabajar, se puede presentar una oposición a la solución propuesta.	Comunicación efectiva de las ventajas de la planificación que entrega el modelo, de la mano con brindar facilidades para el uso.
Limitación de capacidad o complejidad del requisito	5	3	Extremo	Las hojas de cálculo tienen limitaciones en términos de escalabilidad, lo que puede dificultar la gestión eficiente de datos extensos o la adaptación a cambios en los procesos de adquisición a medida que la empresa crece o se enfrenta a mayor complejidad en sus operaciones	Realizar una integración con herramientas de la empresa para agilizar el flujo de información y neta dependencia de la planilla.

Tabla 25: Matriz de riesgos y mitigaciones

#### 5.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

La medición del impacto económico implica el análisis de diversos costos, entre los cuales se incluye el costo asociado al inventario inmovilizado. Este costo surge cuando se recurre a un almacén externo donde no se tiene control sobre el proceso de cuidado o gestión del material, lo que podría resultar en daños y, como consecuencia, en la necesidad de incurrir en costos adicionales, tanto en términos de horas hombre como de material.

Adicionalmente, es fundamental contar con un modelo que establezca la obligatoriedad de mantener un nivel de stock de seguridad. Esto se vuelve crucial para prevenir la pérdida por costo de oportunidad que podría surgir al no contar con suficiente inventario en el momento necesario. La implementación de un stock de seguridad adecuado contribuye a optimizar la gestión de inventarios y a mitigar posibles impactos económicos negativos derivados de situaciones imprevistas.

El modelo arroja la siguiente comparación considerando un costo de almacenamiento mensual, donde se compara la situación real comprada (Tabla 26), la situación real de demanda (Tabla 27) y la situación si se hubiese utilizado el modelo (Tabla 28):

SITUACIÓN REAL COMPRADA						
TÓTEM/AÑO	ADQUISICIÓN	ORDENAR	ALMACENAJE ANUAL EXTERNO	COSTO POR INVENTARIO INMOVILIZADO (DAÑOS)	COSTO OPORTUNIDAD	TOTAL
H=4M	\$ 76.500.000	\$10.200.000	\$ 13.056.000	\$4.800.000	\$ 1.000.000	\$105.556.000
H=5M	\$ 136.080.000	\$10.800.000	\$ 17.280.000	\$4.800.000	\$ 1.000.000	\$169.960.000
H=7M	\$ 111.600.000	\$6.000.000	\$ 13.440.000	\$4.800.000	\$ 1.000.000	\$136.840.000
SUMA TOTAL GASTO						\$412.356.000

Tabla 26: Costos asociados a la cantidad comprada sin pronósticos

SITUACIÓN REAL COMPRADA						
TÓTEM/AÑO	ADQUISICIÓN	ORDENAR	ALMACENAJE ANUAL EXTERNO	COSTO POR INVENTARIO INMOVILIZADO (DAÑOS)	COSTO OPORTUNIDAD	TOTAL
H=4M	\$ 54.000.000	\$ 7.200.000	\$9.216.000	\$4.800.000	\$ 1.000.000	\$76.216.000
H=5M	\$ 113.400.000	\$ 9.000.000	\$14.400.000	\$4.800.000	\$ 1.000.000	\$142.600.000
H=7M	\$ 111.600.000	\$ 6.000.000	\$13.440.000	\$4.800.000	\$ 1.000.000	\$136.840.000
SUMA TOTAL GASTO						\$355.656.000

Tabla 27: Costos asociados a la cantidad pronosticada a comprar previa al modelo

SITUACIÓN BAJO MODELO					
TÓTEM/AÑO	ADQUISICIÓN	ORDENAR	ALMACENAR INTERNO ANUAL	COSTO POR INVENTARIO INMOVILIZADO (DAÑOS)	TOTAL
H=4M	\$ 27.000.000	\$ 3.600.000	\$ 4.320.000	\$4.800.000	\$39.720.000
H=5M	\$ 30.240.000	\$ 2.400.000	\$ 3.360.000	\$4.800.000	\$40.800.000
H=7M	\$ 189.720.000	\$ 10.200.000	\$ 18.000.000	\$4.800.000	\$222.720.000
SUMA TOTAL GASTO					\$303.240.000

Tabla 28: Costos asociados a la cantidad óptima de pedido post implementación de modelo

## 6. RESULTADOS

### 6.1. RESULTADOS DEL DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Se anticipa que la implementación del modelo de optimización de pedidos de materiales se consolide como un sistema robusto a largo plazo para la gestión eficiente del aprovisionamiento de inventarios, especialmente en el caso de materiales críticos. Este enfoque tiene el propósito de lograr la toma estratégica de decisiones oportunas para la asignación de presupuestos anuales destinados a proyectos, si bien se manifiesta como optimización de costos, el enfoque central es mejorar la eficiencia operativa fortaleciendo la gestión de inventarios.

Cabe destacar que, el utilizar exclusivamente el almacén interno de Copec orienta a minimizar el llamado "stock fantasma" que ha sido una constante histórica al depender de terceros para notificar la disponibilidad de inventario, lo cual, en ocasiones, genera desfases al ingresar la información en SAP.

Considerando que el modelo está realizado con una base de datos de un corto plazo (año 2020, 2021, 2022 y actual), periodos de inestabilidad tanto nacional como internacional, se espera que al pasar los años el pronóstico se vaya estabilizando y reduciendo el error que genera a causa de la aleatoriedad de los pedidos.

TÓTEM	PRONÓSTICO DE DEMANDA [UNIDADES]	PRONÓSTICO DEMANDA EN BASE A STOCK PREVIO [UNIDADES]	PRONÓSTICO DEMANDA DE STOCK DE SEGURIDAD [UNIDADES]	DEMANDA TOTAL [UNIDADES]	CANTIDAD A PEDIR	NÚMERO DE PEDIDOS	LEAD TIME [DÍAS]
H= 4M	8	5	0	5	2	3	84
H= 5M	4	3	0	3	2	2	125
H= 7M	13	13	2	15	3	5	50

Tabla 29: Resumen de stock a solicitar

## 6.2. EVALUACIÓN DE MÉTRICAS DE DESEMPEÑO

Las métricas propuestas al inicio del desarrollo del proyecto son las siguientes:

	Costo [CLP]
Costo demanda real pre modelo	\$355.656.000
Costo demanda post modelo	\$303.240.000
Ahorro	15%

Tabla 30: Porcentaje de ahorro implementando el modelo

	Costo [CLP]
Costo cantidad solicitada pre modelo	\$412.356.000
Costo demanda post modelo	\$303.240.000
Ahorro	26%

Tabla 31: Porcentaje de ahorro del modelo en comparación con demanda real

TÓTEM	Sobre stock año 2023 caso real [unidades]	Sobre stock previsto año 2023 bajo pronóstico de demanda [unidades]
H=4M	5	2
H=5M	3	0
H=7M	0	2
TOTAL	8	4
% Reducción	50%	

Tabla 32: Porcentaje de reducción de sobre stock bajo el modelo realizado

Por ende, los KPI propuestos en un principio del proyecto se han cumplido y se han superado, dando un impacto positivo para la empresa y la implementación del modelo.

## 7. CONCLUSIONES

La implementación del modelo de optimización para la planificación de compras en Copec generó resultados significativos. Se consiguió una notable reducción del 50% en el exceso de stock de Tótems de precios en las estaciones de servicio, lo que se traduce en un ahorro real del 26%. Además, el proyecto superó su objetivo original en un 20%.

Ahora, se cuenta con la posibilidad de utilizar exclusivamente bodegas internas, lo que ha mejorado considerablemente la eficiencia operativa de la empresa.

Es fundamental mencionar que al solicitar el material, se requiere hacerlo al inicio del período, solicitando el lote completo pero con entregas parciales planificadas según el tiempo de espera proporcionado por el modelo. Esta metodología permite tener suficiente tiempo para fabricar e importar los materiales necesarios y, al mismo tiempo, establecer penalizaciones en caso de demoras por parte del proveedor. Esta estrategia anticipada en los pedidos garantiza que haya material disponible en el momento preciso para la apertura de una estación de servicio.

Finalmente, la incorporación de esta herramienta en el plan de adquisición anual de tótems posibilitará mantener un ciclo de mejora continua y establecer una base estratégica crucial para definir los presupuestos anuales.

## 8. REFERENCIAS

1. Historia - Copec S.A. (s/f). Copec S.A. | Primera en servicio. Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de <https://ww2.copec.cl/nuestra-empresa/historia>
2. Nuestra Empresa - Copec S.A. (s/f). Copec S.A. | Primera en servicio. Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de <https://ww2.copec.cl/nuestra-empresa>
3. (S/f). Unirioja.es. Recuperado el 19 de octubre de 2023, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117643>
4. Pacheco, J. (2019, abril 12). *¿En qué consiste la Suavización Exponencial?* Web y Empresas. <https://www.webyempresas.com/la-suavizacion-exponencial/>
5. Arango Marin, J. A., Giraldo Garcia, J. A., & Castrillón Gómez, O. D. (2013). Gestión de compras e inventarios a partir de pronósticos Holt-Winters y diferenciación de nivel de servicio por clasificación ABC. *Scientia et technica*, 18(4), 743–747. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84929984023>
6. *Principios de Administracion de Operaciones 7ma ed. - Jay Heizer, Barry Render.pdf*. (s/f). Google Docs. Recuperado el 19 de octubre de 2023, de <https://drive.google.com/file/d/0B1Ih3YUfXMSGs3IUdzloNDB5bHc/view?resourcekey=0--Irk3ZZdxB3Bh0KUHLsM7A>
7. (S/f). Edu.ec. Recuperado el 19 de octubre de 2023, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12938/2/04%20IND%20365%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

8. (S/f). Edu.co. Recuperado el 19 de octubre de 2023, de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/1d551893-a5e4-4856-af17-001d6e4551bc/content#page=418>
9. Sebatjane, M., & Adetunji, O. (2019). Economic order quantity model for growing items with imperfect quality. *Operations Research Perspectives*, 6(100088), 100088. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2018.11.004>
10. Qin, Y., Wang, R., Vakharia, A. J., Chen, Y., & Seref, M. M. H. (2011). The newsvendor problem: Review and directions for future research. *European Journal of Operational Research*, 213(2), 361–374. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.11.024>
11. ¿Qué es y cómo calcular el nivel de servicio? (2021, noviembre 4). *Slimstock*. <https://www.slimstock.com/es/blog/que-es-y-como-calcular-el-nivel-de-servicio/>