



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Diseño e implementación de un modelo de inventario para
optimizar el almacenamiento y transporte en un centro de
distribución de bebidas carbonatadas”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Presentado por:

Mauricio Jamil Pazmiño Carló

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2024

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

PhD Jenny Pilar Gutierrez López

Profesor de Materia

**Dr. Carlos Manuel Martín
Barreiro**

Tutor de proyecto

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo Mauricio Jamil Pazmiño Carló acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 14 de marzo del 2025.

Autor

RESUMEN

El presente proyecto propone el diseño e implementación de un modelo matemático de optimización de inventario para un centro de distribución de bebidas carbonatadas en Guayaquil, Ecuador. El problema a resolver incluye roturas de stock, sobrecapacidad de almacén, incumplimiento de normas FIFO y altos costos por caducidad de producto terminado.

El objetivo principal del proyecto es desarrollar un modelo matemático de inventario que permita determinar la cantidad óptima de abastecimiento para los SKUs de estudio, permitiendo minimizar costos de almacenamiento, reduciendo costos de caducidad y asegurando la satisfacción de la demanda. La metodología utilizada consta del análisis de la situación actual por medio de estudios de campo y datos operativos, diseño del modelo matemático definiendo sus variables de decisión, restricciones y costos asociados. Luego de ello la implementación del modelo matemático en un lenguaje de programación y finalmente la comparación financiera entre el escenario actual y el propuesto.

Los resultados obtenidos demuestran que la implementación del modelo reduce el inventario físico en más de 1 millón de unidades, generando un ahorro del 60,55% en costos de almacenamiento y 46,52% en costos por caducidad. La aplicación del modelo redujo un total de 53,03% en costos totales en un periodo de 12 meses, permitiendo una planificación más eficiente del inventario.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	IV
CAPÍTULO 1	1
1. ANTECEDENTES Y PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Problema a resolver.....	3
1.3 Objetivo general y objetivos específicos	3
CAPÍTULO 2.....	4
2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA A UTILIZAR.....	4
2.1 Primera fase: Análisis de la situación actual	4
2.2 Segunda fase: Diseño del nuevo modelo de inventario.....	4
2.3 Tercera fase: Elaboración del modelo matemático.....	4
2.4 Cuarta fase: Resolución del modelo matemático (Implementación de heurísticas y metaheurísticas)	5
2.5 Quinta fase: Implementación del nuevo sistema de gestión de inventarios	5
2.6 Sexta fase: Análisis de beneficios y conclusiones.....	5
2.7 Gantt de desarrollo de la metodología	5
CAPÍTULO 3.....	7
3. Resultados de la aplicación y desarrollo de la metodología.....	7
3.1 Categorización de los ítems del inventario	7
3.2 Determinación de la demanda	9
3.3 Determinación de la capacidad	10
3.4 PFN actual y PFN esperado	11
3.5 Investigación de modelos de inventario	12
3.6 Modelo de inventario propuesto	13
3.7 Determinación de los costos asociados y la desviación estándar	14
CAPÍTULO 4.....	18
4. Análisis de resultados y conclusiones	18
4.1 Análisis de los lotes de abastecimiento óptimos obtenidos	18
4.2 Análisis de sensibilidad	18
4.3 Análisis financiero para el escenario actual.....	19
4.4 Análisis financiero para el escenario propuesto	20
4.5 Comparación financiera entre el escenario actual y el escenario propuesto ..	21
CAPÍTULO 5.....	24
5. Conclusiones y recomendaciones	24
BIBLIOGRAFÍA.....	25

ANEXOS.....	26
-------------	----

TABLA DE FIGURAS

Figura 1.1 Capacidad de almacenamiento noviembre del 2024.....	2
Figura 1.2 Valorizado producto fuera de norma periodo 2023 - 2024.....	2
Figura 2.1 Paso a paso del desarrollo de las actividades para la ejecución del proyecto	6
Figura 3.1 Resumen de inventario en unidades y valorizado por tipo de categoría de material.....	9
Figura 3.2 Comparación de ingresos y egresos de los SKUs elegidos	10
Figura 3.3 Cálculo en dólares del PFN esperado para el 2025	12
Figura 3.5 Gráfico de histograma y prueba Kolmogorov-Smirnov	16
Figura 4.1 Análisis comparativo de costos e inventario para el SKU-809598.....	22
Figura 4.2 Comparación de costos e inventario entre el escenario actual y propuesto.....	22
Figura 4.3 Resumen de ahorros de costos e inventario obtenidos del escenario propuesto.....	23
Figura 3.4 Codificación de prueba de normalidad para los datos de demanda	26
Figura 3.6 Codificación de variables de decisión y función objetivo	26
Figura 3.7 Codificación de restricciones y resultado de la implementación	27

TABLA DE TABLAS

Tabla 3.1	Ejercicio de categorización de consumos por SKU	7
Tabla 3.2	SKUs por categoría y su consumo total en unidades	8
Tabla 3.3	Inventario en libre utilización y no conformidad por categoría	8
Tabla 3.4	Inventario valorizado en libre utilización y no conforme por categoría	8
Tabla 3.5	Ingresos, egresos y consumo mensual promedio 2024	9
Tabla 3.6	Capacidad real y capacidad esperada de los SKUs de estudio	10
Tabla 3.7	PFN 2024 y PFN esperado 2025	11
Tabla 3.8	Cálculo del costo mensual de almacenamiento	14
Tabla 3.9	Costo unitario de almacenaje por SKU	15
Tabla 3.10	Costo unitario de caducidad por SKU	15
Tabla 3.11	Desviación estándar por SKU	16
Tabla 3.12	Cantidad óptima de pedido	17
Tabla 4.1	Variación de Q_i óptimo de acuerdo a cambios en la demanda	18
Tabla 4.2	Variación de Q_i óptimo de acuerdo con cambios en el factor de seguridad	19
Tabla 4.3	Consumo mensual promedio y abastecimiento mensual promedio	20
Tabla 4.4	Inventario inicial y final por periodo para el SKU-809598	20
Tabla 4.5	Resumen de costos para el escenario actual	20
Tabla 4.6	Abastecimiento óptimo y consumo promedio por SKU	21
Tabla 4.7	Inventario inicial y final por periodo para el SKU-809598	21
Tabla 4.8	Resumen de costos para el escenario propuesto	21
Tabla 4.9	Cuadro comparativo entre escenarios	23

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES Y PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

El presente trabajo de titulación consiste en resolver un problema real en una empresa de consumo masivo de bebidas carbonatadas en Ecuador, en particular en su centro de distribución ubicado en la ciudad de Guayaquil. Esta compañía cuenta con un amplio portafolio de más de 130 SKUs (“stock keeping units”, según sus siglas en inglés) y, debido a la falta de una gestión adecuada de inventarios y distribución, los beneficios se ven afectados consecuencia de los altos costos operativos.

La ausencia de una política de inventario en este centro de distribución genera problemas en el desarrollo de las actividades operativas como también en actividades de gestión.

Como ejemplo de ello tenemos los siguientes puntos:

- **Rotura de stock:** El departamento de operaciones tiene como meta alcanzar un nivel máximo de quiebre de stock del 5% mensual de acuerdo con la política establecida por la gerencia. Es muy probable que este KPI (Key Performance Indicator, según sus siglas en inglés) no alcance la cota deseada debido a la ausencia de una planificación mensual considerando los factores que alteran la demanda de los clientes.
- **Almacén sobre capacitado:** El aumento en la producción, proveniente de la planta, genera dificultades en el almacenaje del centro de distribución. Si la demanda de uno o varios SKUs no se comportó de acuerdo con lo pronosticado, el producto permanecerá almacenado sin presentar rotación. Al llegar nuevos lotes de producción surge el problema de no contar con espacio físico para poder dar flujo a los lotes anteriores.
- **Dar de baja producto fuera de norma:** El PFN (producto fuera de norma, según sus siglas en español) se define como la unidad de bebida carbonatada que no se encuentra apta para la venta al público debido a temas de calidad, empaque, caducidad, entre otros. El centro de distribución cuenta con un presupuesto mensual limitado para dar de baja todo producto que no cumpla con las normas regulatorias para su venta. Teniendo como máximo tres mil dólares mensuales de presupuesto, el centro de distribución frecuentemente incurre en mayores gastos debido a problemas de rotación de inventario.
- **Incumplimiento de la política FIFO:** Dentro de los programas de excelencia que sigue fielmente la compañía se encuentra el WCM (World Class Manufacturing, según sus siglas en inglés) en el que uno de los objetivos es garantizar que el primer producto/lote en llegar sea el primero en salir. La no aplicación de una adecuada gestión de inventario no permite al centro de distribución ser evaluado de manera exitosa dentro de este programa corporativo.

Con el objetivo de comprender mejor la situación actual relacionada al manejo de inventario dentro del centro de distribución se realizó un estudio en sitio, con el soporte del personal involucrado, y donde se resaltan los siguientes puntos:

- El plan de producción de la planta no tiene un porcentaje aceptable de cumplimiento, por lo tanto, no se conocen las cantidades exactas que se recibirán.
- Es muy común no contar con espacio físico dentro del CD (Centro de distribución, según sus siglas en español) debido a su capacidad. Como consecuencia se almacenan distintos SKUs dentro de un mismo cuerpo de rack.
- El no tener una política de inventario definida dificulta garantizar la rotación del producto terminado.
- Los picos de distribución, debido a la volatilidad de la demanda, elevan la carga del personal operativo y esto genera un aumento de costos principalmente en el pago excesivo de horas extras.

La figura 1.1 y 1.2 reflejan cuantitativamente el efecto que tiene la falta de una política de inventario sobre los indicadores de la compañía.

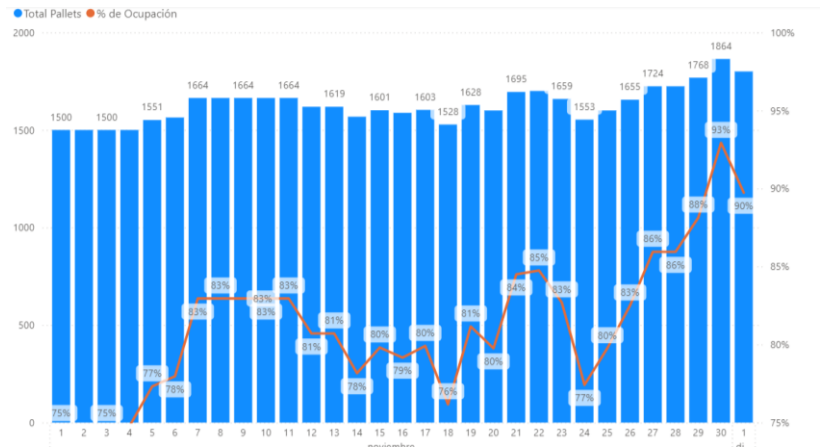


Figura 1.1 Capacidad de almacenamiento noviembre del 2024

Fuente. Elaborado por el autor

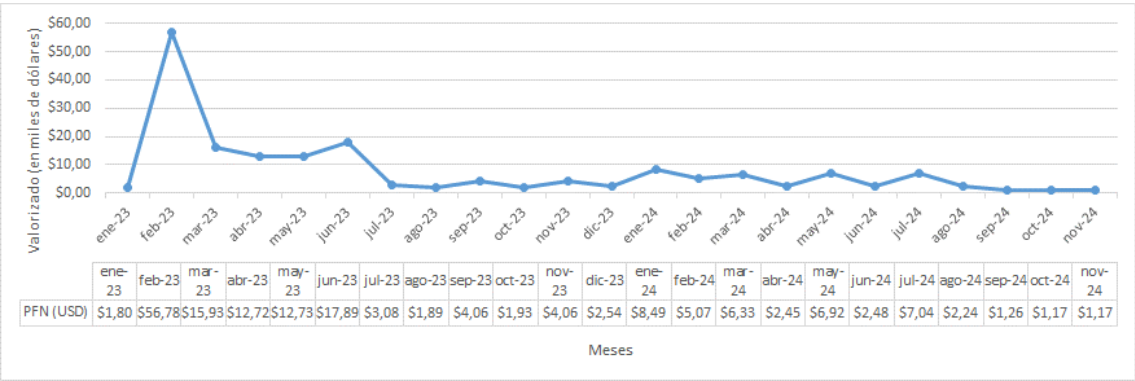


Figura 1.2 Valorizado producto fuera de norma periodo 2023 - 2024

Fuente. Elaborado por el autor

A continuación, se citan dos estudios que resaltan la importancia de una buena gestión del inventario para el éxito empresarial:

(i) De acuerdo con un estudio realizado en Lagos State, Nigeria a una compañía dedicada a la producción y comercialización de alimentos y bebidas, la aplicación de una política para la gestión del inventario desarrolla un efecto significativo en la rentabilidad del negocio. Además, asegura la ejecución de las medidas necesarias para el control del inventario, evitando casos de “sobre stock” o rotura de stock. (Sonko, 2020)

(ii) Otro estudio llevado a cabo en la ciudad de Mwanza, Tanzania validó los efectos positivos que conlleva la aplicación de políticas de inventario dentro de una compañía dedicada a la producción de bebidas. En esta investigación se fijó como objetivo determinar cómo la tecnología adaptada a la organización, en conjunto con el establecimiento de la gestión del inventario, afecta el desempeño de una compañía. Como resultado positivo se encontró que un sistema de control de inventario computarizado contribuye al desempeño de la compañía en temas relacionados a la productividad del personal, reducción de costos, eficiencia productiva y satisfacción del cliente final. (Irene Omari Mbugi, 2022)

1.2 Problema a resolver

La gestión actual de inventario de bebidas carbonatadas en el CD de una compañía de consumo masivo en Guayaquil ha causado roturas de stock, sobrecapacidad del almacén, incumplimiento de norma FIFO y un aumento en el PFN, problemas que han identificados mediante un estudio “en sitio” a través de un análisis de datos operativos.

1.3 Objetivo general y objetivos específicos

Objetivo general

Diseñar e implementar un modelo matemático en un CD de bebidas carbonatadas en la ciudad de Guayaquil para optimizar el almacenamiento, la rotación y distribución de productos, para alcanzar la eficiencia operativa y un servicio al cliente con calidad, generando con esto ahorros significativos.

Objetivos específicos

1. Realizar un análisis de la demanda y la capacidad de almacenaje del CD.
2. Desarrollar un modelo de matemático que se ajuste a la demanda y capacidad del CD.
3. Construir un sistema (software) de gestión de inventarios y distribución de productos.
4. Cuantificar el beneficio (ahorro) de la aplicación del nuevo modelo matemático mediante los KPIs del CD.

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA A UTILIZAR

El desarrollo del proyecto de titulación se realizará en varias fases con la intención de abordar cada aspecto de la problemática e ir cumpliendo con los objetivos específicos. Las fases se detallan a continuación:

2.1 Primera fase: Análisis de la situación actual

En esta etapa se explicará detalladamente el problema general del CD al no contar con un modelo de inventario y distribución que se ajusta a su operación y cómo esto impacta dentro del desempeño de la compañía. Una vez identificados los efectos que genera la problemática se procederá a presentar el estado actual de los KPIs con los que se evalúa la gestión del CD con el objetivo de reconocer el impacto de no contar con una política de inventario adecuada.

Como ejemplo de la importancia de esta fase tenemos la definición de una política de inventario R-S en una cadena de artículos ferreteros. Previo a la implementación del modelo, los autores se encargan de describir la situación actual de la compañía dejando en claro puntos importantes, entre ellos, que la red de distribución que van a analizar carece de un sistema de control de inventario lo cual dificulta tener presente los actores que están relacionados con el inventario y su participación. Además de detallar cómo esto genera que los procesos se lleven por intuición y generen desequilibrios dentro de la gestión. (Rodríguez & Gómez, 2022)

2.2 Segunda fase: Diseño del nuevo modelo de inventario

Una vez descrita la situación actual, la siguiente etapa radica en proponer un modelo matemático que se ajuste a las necesidades del CD con la finalidad de cubrir cada arista de la problemática general. Para ello, se deben evaluar modelos ya definidos y medir su adaptación con respecto a la demanda y capacidad del CD.

Esta propuesta se llevó a cabo en una compañía encargada de la manufactura de alimentos y bebidas en Mwanza, Tanzania. Luego de definir la problemática de la compañía, los autores se encargaron de evaluar técnicas de manejo de inventario como lo son VMI (Vendor Managed Inventory, por sus siglas en inglés), inventario JIT (Just-in-Time, por sus siglas en inglés), EOQ (Economic Order Quantity, por sus siglas en inglés), entre otros. (Irene Omari Mbugi, 2022). De este modo reconocieron al EOQ como la política que mejor se adapta a la necesidad de la compañía debido a que permitía conocer con exactitud el periodo específico en que los clientes debían recibir sus órdenes para cubrir la demanda.

2.3 Tercera fase: Elaboración del modelo matemático

Se procederá a plantear un modelo matemático de optimización con su correspondiente función objetivo, variables de decisión y restricciones. Se deberá tomar en cuenta los parámetros involucrados dentro del modelo como son los costos asociados a la operación y capacidades del CD. Debido a que no es posible abarcar la totalidad del problema, es importante definir las hipótesis a emplear para así delimitar el modelo matemático y reducir su complejidad.

Como ejemplo de ello está el artículo de Diseño de una Política de Inventario Multinivel para un Centro de Distribución de Productos Congelados. Los autores en principio se encargan de definir los costos involucrados dentro del modelo, analizar el comportamiento de la demanda, definir las variables y demás parámetros dentro de la problemática. Una vez hecho esto proceden a establecer un modelo matemático

planteando las restricciones y la correspondiente función objetivo. Un punto para destacar es la descripción detallada de supuestos dentro de su modelo. Por ejemplo, un supuesto es que la bodega no realiza pedidos hasta que aquellos ya planificados hayan arribado. Otro supuesto es que la demanda es estocástica y sigue una distribución Poisson. (Muñoz & Pin, 2017)

2.4 Cuarta fase: Resolución del modelo matemático (Implementación de heurísticas y metaheurísticas)

De acuerdo con la complejidad del problema definido surge la necesidad de implementar heurísticas y/o metaheurísticas. Esto debido a que no necesariamente será sencillo alcanzar una solución exacta sobre todo si se trata de un problema de tipo no lineal. Las heurísticas por ejemplo no nos garantizan que pueden encontrar una solución óptima para el problema, pero nos brindan la oportunidad de encontrar soluciones cercanas al óptimo en un menor tiempo de ejecución. Variables como el número de SKUs, la incertidumbre en el comportamiento de la demanda o el espacio físico del CD pueden resultar complejos de analizar si no se aplican heurísticas y/o metaheurísticas.

Un enfoque práctico de lo antes mencionado está en el trabajo de “Determinación de Políticas de inventario centralizadas en un sistema Bodega/Minoristas a través de optimización”. En dicho artículo se destaca la implementación de un procedimiento heurístico general donde se establecen valores fijos para ciertos parámetros de decisión debido a la fluctuación de clientes minoristas. (Delgado, Toro, & Bravo, 2018)

2.5 Quinta fase: Implementación del nuevo sistema de gestión de inventarios

Con el modelo de inventario definido, planteado y resuelto, el siguiente paso es generar valor agregado dentro de la investigación. Esto se logrará a través del desarrollo de un software de gestión de inventarios y distribución de productos. El software buscará minimizar la imprecisión con respecto al manejo de los inventarios mientras otorga claridad sobre la operación dentro del CD.

Un sistema de manejo de inventario permite al usuario realizar seguimiento continuo acerca del stock que está ingresando o saliendo de su bodega. De esta manera se tiene la posibilidad de prevenir un quiebre de stock o un “sobrestock”. El objetivo de contar con un sistema digital es reducir la manipulación manual de datos, permitir la toma de decisiones basada en información de salida o entrada de mercancías y mejorar el nivel de servicio con el cliente final. (Wei, Razali, & Ramiah, 2023)

2.6 Sexta fase: Análisis de beneficios y conclusiones

Como última fase del trabajo se encuentra definir y analizar los beneficios del modelo matemático que proponemos. Esto permitirá listar las conclusiones del proyecto de titulación. El análisis de beneficios tiene como objetivo comparar la situación actual con la situación en la que se emplea el modelo propuesto. Este punto será desarrollado analizando los KPIs ya que son los que permiten medir la gestión del CD considerando además los costos asociados con la operación.

2.7 Gantt de desarrollo de la metodología

Con la finalidad de definir el tiempo que se utiliza en la implementación de cada fase, se desarrolla un Gantt de actividades que permite llevar registro de cada fase correspondiente al proyecto.

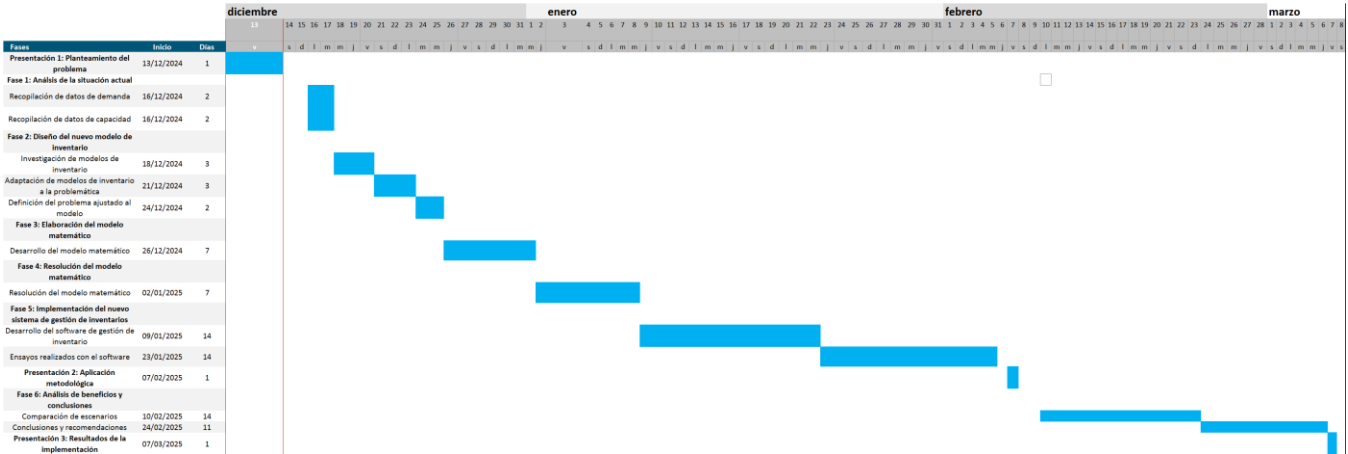


Figura 2.1 Paso a paso del desarrollo de las actividades para la ejecución del proyecto

Fuente. Elaborado por el autor

CAPÍTULO 3

3. Resultados de la aplicación y desarrollo de la metodología

El presente capítulo tiene como objetivo demostrar cómo se ejecutó cada una de las fases del proyecto. Se evidencia la investigación de diferentes modelos de inventario y el desarrollo del modelo elegido. Además, se establecen los resultados de la implementación del modelo matemático utilizando un software de programación en Python.

3.1 Categorización de los ítems del inventario

Debido a que la compañía de bebidas carbonatadas cuenta con un amplio portafolio de SKUs, lo primero que se realizó fue una categorización ABC para diferenciar los ítems de alta rotación de los ítems de baja rotación. El objetivo de haber utilizado esta categorización fue enfocarse en los SKUs que representan la mayor importancia relativa dentro del inventario para enfocar de mejor modo los recursos asignados y realizar una toma de decisiones más acertada.

Para la categorización ABC se generaron 4 tipos de clasificaciones de material:

- Categoría AA: SKUs con a lo mucho el 75% del consumo acumulado anual.
- Categoría A: SKUs con un consumo anual mayor al 75% pero menor al 90% del total.
- Categoría B: SKUs con un consumo anual mayor al 90% pero menor al 98% del total.
- Categoría C: SKUs con un consumo anual mayor al 98% hasta el 100% del total.

La categorización se hizo en base a los consumos anuales registrados en datos históricos del año 2024.

Tabla 3.1 Ejercicio de categorización de consumos por SKU

Código	SKU	Consumo anual (UN)	Frecuencia	Frec. Acum.	Categoría
832653	SKU-832653	5.251.486	0,104632187	0,104632187	AA
809252	SKU-809252	3.173.364	0,06322706	0,167859248	AA
832607	SKU-832607	2.707.550	0,053946048	0,221805296	AA
810662	SKU-810662	2.197.622	0,043786085	0,265591381	AA
843941	SKU-843941	1.699.756	0,033866455	0,299457835	AA
831965	SKU-831965	1.648.437	0,032843957	0,332301793	AA
809302	SKU-809302	1.594.420	0,031767708	0,364069501	AA
807814	SKU-807814	1.544.747	0,030778005	0,394847506	AA
807929	SKU-807929	1.537.783	0,030639254	0,42548676	AA

Fuente. Elaborado por el autor

Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 3.2 SKUs por categoría y su consumo total en unidades

Categoría	SKUs	Consumo total anual (UN)
AA	26	37.169.473
A	33	7.936.073
B	84	4.072.981
C	122	1.011.439
	265	50.189.966

Fuente. Elaborado por el autor

De acuerdo con la tabla se evidencia que, en el centro de distribución de bebidas carbonatadas, con un total de 265 ítems activos, 26 de ellos son de tipo AA (muy alta rotación), 33 son A (alta rotación), 84 son tipo B (mediana rotación) y 122 son del tipo C (baja rotación). Como es de esperarse, los consumos están concentrados en un mayor porcentaje en los SKUs tipo AA.

Se utilizó la categorización ABC con el inventario en libre utilización (cantidad física de SKUs que se encuentran aptos para el consumo) y el inventario de producto no conforme o producto fuera de norma. En las siguientes tablas se observa el resultado de dicha clasificación.

Tabla 3.3 Inventario en libre utilización y no conformidad por categoría

Categoría	SKUs	Inventario Libre Utilización (UN)	Inventario No conforme (UN)
AA	26	2.314.940	6.528
A	33	1.084.511	3.000
B	84	2.389.039	47.706
C	122	4.788.490	403.709
	265	10.576.979	460.943

Fuente. Elaborado por el autor

Tabla 3.4 Inventario valorizado en libre utilización y no conforme por categoría

Categoría	SKUs	Valorizado Libre Utilización (USD)	Valorizado No conforme (USD)
AA	26	\$53.098,87	\$207,62
A	33	\$56.922,88	\$69,10
B	84	\$252.591,90	\$1.564,03
C	122	\$554.852,36	\$16.093,31
	265	\$917.466,02	\$17.934,06

Fuente. Elaborado por el autor

A raíz de la información evidenciada en las tablas se observó que los ítems en categoría C representan el mayor volumen físico y monetario dentro de este centro de distribución. Además, la mayor pérdida de producto por no conformidad se encuentra en la categoría C, con más de \$16mil dólares en PFN.

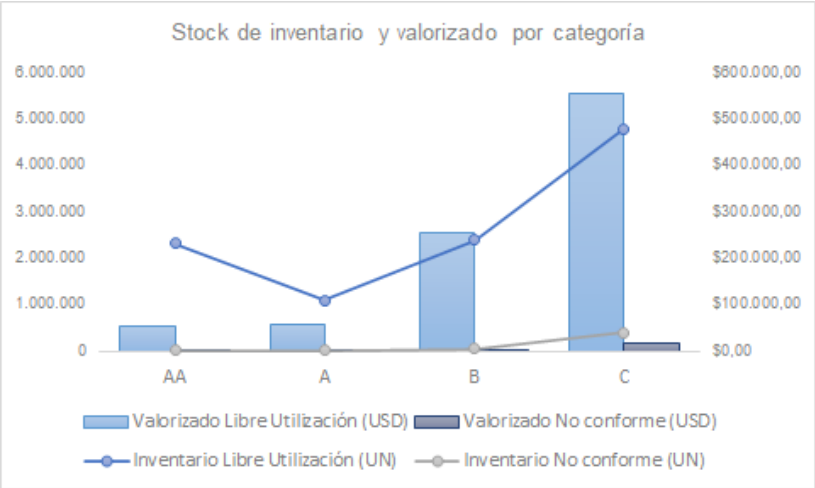


Figura 3.1 Resumen de inventario en unidades y valorizado por tipo de categoría de material

Fuente. Elaborado por el autor

3.2 Determinación de la demanda

A modo de delimitar el problema, se utilizó la categorización ABC para reducir el número de ítems sobre los que se realizó el estudio. Se tomó en cuenta dentro de la categoría C, los 10 ítems con menor rotación con respecto al consumo de los datos históricos del 2024. De cada uno de estos SKUs se obtuvo la demanda promedio mensual, así como el total de sus ingresos y egresos. La siguiente tabla resume la información:

Tabla 3.5 Ingresos, egresos y consumo mensual promedio 2024

Código	SKU	Ingresos (UN)	Egresos (UN)	Consumo mensual promedio (UN)
809598	SKU-809598	53.300	89.704	8.155
810830	SKU-810830	246.215	176.272	14.690
810833	SKU-810833	366.777	172.714	15.702
827510	SKU-827510	238.668	328.679	27.390
827511	SKU-827511	307.228	245.920	20.494
828409	SKU-828409	24.293	4.334	362
828599	SKU-828599	11.875	12.787	1.163
830775	SKU-830775	113.650	78.106	6.509
833455	SKU-833455	0	252.823	21.069
837583	SKU-837583	159.475	112.508	9.376

Fuente. Elaborado por el autor.

A partir de la tabla 3.5 se generó la siguiente gráfica que permitió analizar diversos puntos.

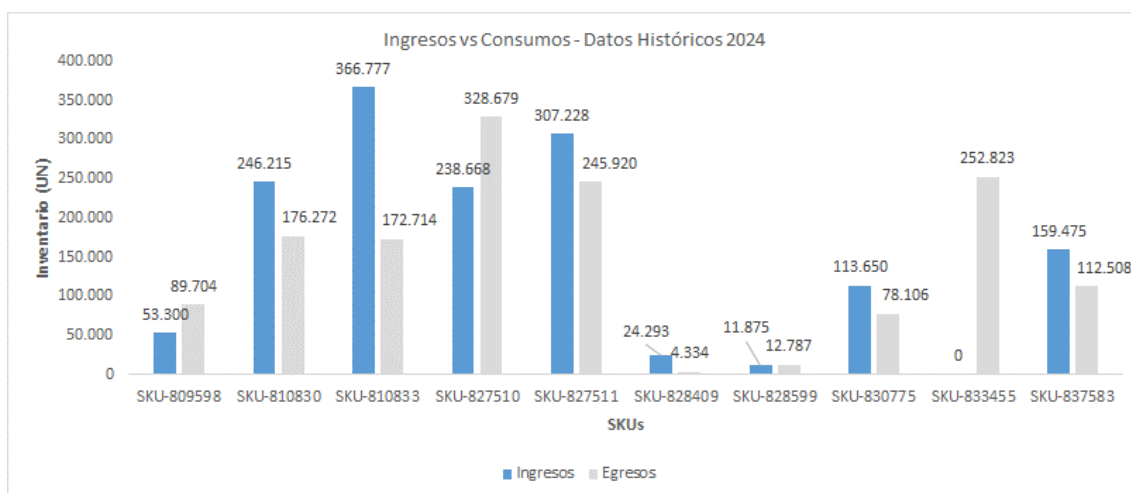


Figura 3.2 Comparación de ingresos y egresos de los SKUs elegidos

Fuente. Elaborado por el autor

Como se aprecia en la figura 3.2, 7 de 10 de los materiales elegidos para la investigación cuentan con un mayor número de ingresos que egresos en el año 2024. Por ejemplo, el SKU-838409 de acuerdo con los datos históricos del 2024 prácticamente no tuvo consumos, pero sí un ingreso considerable por 2.840 unidades. También se aprecia que el SKU-810833 cuenta con una brecha de más de 200.000 unidades entre ingresos y egresos.

3.3 Determinación de la capacidad

Una vez se determinó la demanda de los SKUs de estudio, se procedió a calcular la capacidad real de cada uno de estos SKUs y la capacidad esperada de acuerdo con los datos históricos.

Tabla 3.6 Capacidad real y capacidad esperada de los SKUs de estudio

Código	SKU	Capacidad esperada (UN)	Capacidad real (UN)	Status
809598	SKU-809598	19.384	20.800	Disminuir
810830	SKU-810830	82.072	41.600	Aumentar
810833	SKU-810833	133.376	83.200	Aumentar
827510	SKU-827510	79.556	85.400	Disminuir
827511	SKU-827511	102.412	85.400	Aumentar
828409	SKU-828409	8.100	20.800	Disminuir
828599	SKU-828599	4.320	20.800	Disminuir
830775	SKU-830775	37.884	20.800	Aumentar
833455	SKU-833455	85.400	85.400	OK
837583	SKU-837583	53.160	31.100	Aumentar

Fuente. Elaborado por el autor

Para calcular la capacidad esperada de los SKUS, se tomó en cuenta el promedio de ingresos o abastecimientos mensuales de los SKUs. En base a eso, se lo fijó como una cota máxima esperada de cantidad de unidades por SKU que debe haber en el centro de distribución. Al compararlo con la cantidad real, que es aquella que toma en cuenta el inventario mensual promedio por cada ítem, se calculó la capacidad física de estos SKUs. Como se puede notar, los SKUs que están categorizados por la columna "Status"

como “OK” son aquellos que cuya capacidad esperada se encuentra acorde a la capacidad real del centro de distribución. Por otro lado, aquel que está categorizado como “Disminuir” sugiere el reducir la cantidad de espacio físico que designado para ese ítem de acuerdo con los ingresos mensuales promedio. Finalmente, los ítems con status “Aumentar” se refieren a incrementar la cantidad de espacio físico designado teniendo en cuenta el número de unidades que ingresan al centro de distribución.

3.4 PFN actual y PFN esperado

En las secciones 3.2 y 3.3 se explicó cómo se calcularon las demandas y capacidades promedio de los ítems de estudio. Como se estableció dentro de la problemática del presente proyecto, una de las oportunidades del centro de distribución es su ahorro en el PFN que genera mensualmente. La compañía tiene como prepuesto mensual \$3.500 para dar de baja producto en estado no conforme. Producto que se encuentra caducado, con el empaque en mal estado, con problemas de calidad, entre otros. La mayor incidencia de PFN para el centro de distribución es por caducidad, en especial con los productos categoría C. Algunos de los productos de esta categoría tienen una vida útil que oscila entre los 9 a 12 meses.

La siguiente tabla resume, en cantidades, el PFN de las referencias de estudio en el año 2024 y el PFN que se espera se genere tomando en cuenta el consumo mensual promedio.

Tabla 3.7 PFN 2024 y PFN esperado 2025

Código	SKU	PFN 2024 (UN)	Inventario actual (UN)	Inventario en riesgo (UN)	Tiempo de vida útil (meses)	PFN esperado (UN)
809598	SKU-809598	9.876	180.420	0	4	0
810830	SKU-810830	0	526.830	37.400	2	8.020
810833	SKU-810833	66.800	490.630	0	7	0
827510	SKU-827510	24.400	191.077	0	8	0
827511	SKU-827511	0	221.576	0	8	0
828409	SKU-828409	9.876	15.335	3.210	7	676
828599	SKU-828599	0	25.816	25.816	4	21.164
830775	SKU-830775	0	51.965	51.965	5	19.420
833455	SKU-833455	50.400	902.700	280.800	8	112.248
837583	SKU-837583	0	327.886	39.396	7	0

Fuente. Elaborado por el autor

Tomando en cuenta el inventario actual de los SKUs y el tiempo de vida útil que le resta a ese inventario, se observó que 5 de 10 de las referencias tienden a caducar incluso si estas cumplieran con su consumo mensual promedio. El escenario actual demostró que este centro de distribución cuenta con varios lotes de producción para una misma referencia que, por cumplimiento de la política, FIFO deberá distribuir el inventario próximo a caducar. Por resultado observados en 2024 para las referencias en análisis, se observó que las pérdidas por caducidad ocurrían debido al alto abastecimiento de los SKUs y los periodos extensos sin consumo del SKU. En la siguiente figura se estima el inventario valorizado de lo que representaría el impacto financiero por motivo de caducidad.



Figura 3.3 Cálculo en dólares del PFN esperado para el 2025

Fuente. Elaborado por el autor

3.5 Investigación de modelos de inventario

Con la información recopilada, se realizó la investigación de distintos modelos de inventario implementados en casos de aplicación. Como primer ejemplo se obtuvo la aplicación de un modelo matemático dentro de una empresa alimenticia. Dicho estudio destacó la importancia de analizar el comportamiento de la demanda o en su defecto estimarla, determinar los costos asociados a la administración del inventario y proponer un modelo matemático con sus respectivos supuestos.

Los costos involucrados a tomar en cuenta en los modelos de administración de inventario son los costos de ordenar, costos de compra, costo de almacenamiento y los costos por escasez. Esa información es útil para evaluar el impacto que tiene toda propuesta de modelo de inventario que busca minimizar costos de capital de trabajo. (Andrade, Tello, & Romero, 2015). El trabajo de Andrade, Tello & Romero, 2015 permitió tener como referencia los costos asociados dentro del modelo que se propuso debido a que se realizaron varios supuestos para así enfocarse en aquellas variables que tenían mayor impacto en la optimización del inventario del centro de distribución.

En el segundo trabajo de investigación que se utilizó como referencia para el planteamiento del modelo matemático, se discute de la implementación de un modelo de inventario para una cadena de suministro de 3 niveles con cooperación horizontal. Este estudio destaca el cómo es importante para una compañía mantener un inventario eficiente y fluido para que la operación no se estanque. El estudio se enfocó en minimizar costos de inventario para optimizar la producción y manufactura de la compañía.

De este trabajo, se tomó como referencia la implementación de los costos involucrados dentro del modelo matemático para calcular el impacto que tiene un escenario actual con la implementación de un modelo de inventario. De igual manera la necesidad de plantear supuestos para el modelo matemático que permiten simplificar su complejidad y resolverlos por métodos exactos. (Akpofure & Aolumide, 2022). El análisis comparativo ejecutado en el trabajo de Akpofure & Aolumide, 2022 permitió definir la estrategia para calcular los beneficios de implementar la aplicación de técnicas de optimización por medio de indicadores de ahorro.

3.6 Modelo de inventario propuesto

De acuerdo con la información que se recopiló y las variables que son determinantes en el escenario actual, se planteó el siguiente modelo matemático de inventario con el propósito de determinar la cantidad de pedido que permita satisfacer la demanda promedio de cada SKU sin que sobrepase su capacidad de almacenaje ni incurra en gastos por caducidad.

Variables de decisión

- Q_i : Cantidad óptima de material i para abastecer cada periodo.
- $I_{i,t}$: Inventario disponible del material i al final de cada periodo t .
- $X_{i,t}$: Cantidad de material i que caduca al final del periodo t .
- z : Factor de seguridad para garantizar un nivel de servicio determinado.

La variable Q_i es aquella que brindará el resultado óptimo de abastecimiento de acuerdo con parámetros de demanda y capacidad de acuerdo con el inventario que cada referencia tenga en un periodo t . La variable $I_{i,t}$ representa el inventario que se tiene al final de cada periodo t luego de que se haya realizado el consumo de cada material de acuerdo con su demanda. Por otro lado, la variable $X_{i,t}$ calculará la cantidad de cada SKU que caduca al final de cada periodo para así determinar el impacto que tiene esto en los costos de caducidad.

Parámetros

- D_i : Demanda promedio del material i .
- $C_{alm,i}$: Costo de almacenamiento por unidad del material i .
- $C_{cad,i}$: Costo por unidad caducada del material i .
- L_i : Tiempo de vida útil del material i .
- σ_i : Desviación estándar de la demanda del material i .
- Cap_i : Capacidad máxima para almacenar el material i .

La demanda promedio definida por D_i y la desviación estándar σ_i se utilizaron para representar el consumo de cada material y cómo este varía. Estos parámetros son útiles para determinar la cantidad óptima de abastecimiento para cada material por cada periodo. Los costos asociados son representados por los parámetros $C_{cad,i}$ y $C_{alm,i}$ permitieron calcular los beneficios de la implementación del modelo. Finalmente, los parámetros L_i y Cap_i definen el máximo tiempo de uso que se le puede dar al SKU i así como su límite de capacidad respectivamente.

Función objetivo: Minimiza los costos de inventario y el desperdicio por SKU caducados.

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (C_{alm,i} * I_{i,t} + C_{cad,i} * X_{i,t}) \quad (1)$$

Restricciones

- Balance de inventario: Garantiza que el inventario al final de cada periodo incluya al inventario del periodo anterior y el inventario que caduca. Esta restricción considera que por cada periodo se consuma la demanda promedio del material y no se considere para el siguiente periodo el inventario caducado. Además, añade la cantidad de abastecimiento óptimo.

$$I_{i,t} = I_{i,t-1} + Q_i - D_{i,t} - X_{i,t}, \quad \forall_{i,t} \quad (2)$$

- Caducidad: Garantiza que el inventario que haya caducado no se tome en consideración.

$$X_{i,t} \geq \max(0, I_{i,t-L_i}), \forall_{i,t} \quad (3)$$

- Capacidad de almacenamiento: Garantiza que el inventario no supere la ocupación definida. De esta manera el almacén no incurriría en sobre ocupación de acuerdo con la capacidad instalada por cada material.

$$I_{i,t} \leq Cap_i, \forall_{i,t} \quad (4)$$

- Satisfacción de la demanda: Garantiza que la cantidad de abastecimiento cubra la demanda con un inventario de seguridad adicional. De este modo la capacidad de abastecimiento óptima siempre satisfacer el consumo promedio evitando quiebres de stock.

$$Q_i \geq D_i + z * \sigma_i, \forall_{i,t} \quad (5)$$

- No negatividad: Garantiza la no inclusión de valores negativos.

$$I_{i,t}, Q_i, X_{i,t}, \geq 0, \forall_{i,t} \quad (6)$$

3.7 Determinación de los costos asociados y la desviación estándar

El modelo que se desarrolló consideró costos de almacenamiento y caducidad para su resolución. Además, se incluyeron las desviaciones estándar que es otro parámetro de que se definió para el modelo.

Para el costo de almacenamiento se incluyó el salario de los colaboradores que forman parte del centro de distribución, en conjunto con un bono monetario y el promedio de horas extra que generan los colaboradores. Gastos en equipos como montacargas, racks, entre otros y sus mantenimientos no fueron considerados dentro del análisis ya que no forman parte de valores que cubre el presupuesto asignado al área de almacenes primarios. De igual manera los gastos en servicios básicos tampoco se consideran ya que se trata de valores que no asume el área en cuestión.

Tabla 3.8 Cálculo del costo mensual de almacenamiento

Salario fijo (USD)	\$454,55
Bono (USD)	\$100,00
Horas extra (USD)	\$189,40
Headcount (número de colab)	11
Costo de almacenaje por mes (USD)	\$8.183,40

Fuente. Elaborado por el autor

Como muestra la tabla 3.8 el costo mensual de almacenaje tomó en consideración la remuneración salarial promedio de los colaboradores, su bono por reconocimiento al trabajo y las horas extras promedio (en dólares). Al tratarse de un total de 11 colaboradores los que comprenden el centro de distribución, el costo total de almacenamiento por mes dio un resultado de \$8.183,40. De acuerdo con el modelo matemático que se planteó, dicho costo es unitario para los SKUs del estudio. Teniendo

en cuenta el inventario actual, el costo de almacenamiento unitario es el presentado en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Costo unitario de almacenaje por SKU

Código	SKU	Inventario (UN)	Costo de almacenaje unitario (USD/UN)
809598	SKU-809598	180.420	\$0,05
810830	SKU-810830	526.830	\$0,02
810833	SKU-810833	490.630	\$0,02
827510	SKU-827510	191.077	\$0,04
827511	SKU-827511	221.576	\$0,04
828409	SKU-828409	15.335	\$0,53
828599	SKU-828599	25.816	\$0,32
830775	SKU-830775	51.965	\$0,16
833455	SKU-833455	902.700	\$0,01
837583	SKU-837583	327.886	\$0,02

Fuente. Elaborado por el autor

Luego de ello, se calculó el costo de caducidad unitario. Este costo se obtuvo con la división entre el inventario valorizado por SKU y el inventario en la unidad de medida base. La tabla 3.10 resume la información.

Tabla 3.10 Costo unitario de caducidad por SKU

Código	SKU	Inventario (UN)	Inventario valorizado (USD)	Costo de caducidad unitario (USD/UN)
809598	SKU-809598	180.420	\$20.761,75	\$0,12
810830	SKU-810830	526.830	\$54.249,65	\$0,10
810833	SKU-810833	490.630	\$50.509,53	\$0,10
827510	SKU-827510	191.077	\$7.737,49	\$0,04
827511	SKU-827511	221.576	\$8.959,28	\$0,04
828409	SKU-828409	15.335	\$2.049,96	\$0,13
828599	SKU-828599	25.816	\$3.028,32	\$0,12
830775	SKU-830775	51.965	\$5.769,26	\$0,11
833455	SKU-833455	902.700	\$36.703,55	\$0,04
837583	SKU-837583	327.886	\$34.752,97	\$0,11

Fuente. Elaborado por el autor

De acuerdo con las tablas 3.9 y 3.10 se pudo notar que los ítems de mayor costo de almacenaje y caducidad son los SKU de menor inventario en el centro de distribución. Por lo tanto, garantizar que la rotación de estos ítems suceda, es esencial para minimizar los gastos por PFN y reducir el espacio ocupado por cada uno de ellos.

Con la información que se utilizó para determinar el consumo mensual promedio que muestra la tabla 3.5, también se calculó la variación estándar por cada SKU. La tabla 3.11 muestra la información mencionada.

Tabla 3.11 Desviación estándar por SKU

Código	SKU	Desviación estándar (UN)
809598	SKU-809598	4.173
810830	SKU-810830	9.559
810833	SKU-810833	4.735
827510	SKU-827510	9.947
827511	SKU-827511	5.000
828409	SKU-828409	224
828599	SKU-828599	607
830775	SKU-830775	2.727
833455	SKU-833455	11.337
837583	SKU-837583	18.761

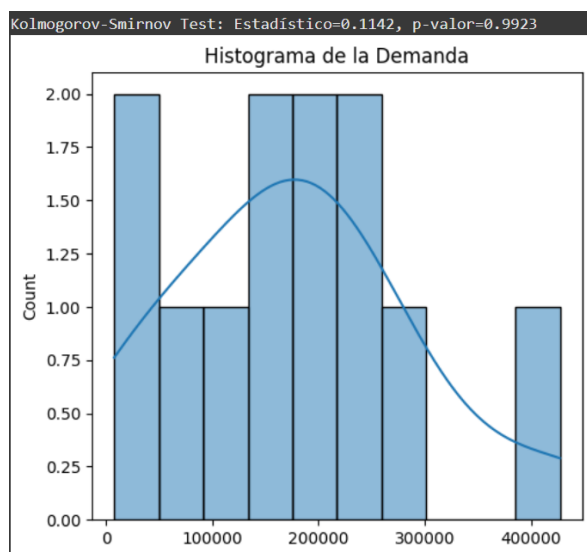
Fuente. Elaborado por el autor

Como dato final, la vida útil de los SKU está definida por 12 meses previo a su caducidad.

3.8 Desarrollo e implementación del modelo matemático en Python

Para obtener los resultados luego de haber planteado el modelo matemático, se utilizó el lenguaje de programación Python. Con el uso de librerías internas de resolución de problemas de optimización matemática se ejecutó el modelo planteado, dando los siguientes resultados de cantidades óptimas de abastecimiento. La codificación del programa se muestra a continuación.

Previo al desarrollo del modelo, se desarrolló un código que permita evaluar la normalidad de los datos de demanda para la muestra tomada de los SKUs de estudio como se observa en la figura 3.4 (ver Anexos). Como pruebas de normalidad se realizó un histograma de datos y se evaluó la información por medio de Kolmogorov Smirnov. La figura 3.5 muestra los resultados de la codificación donde se aprecia que el gráfico del histograma se asemeja a una campana de Gauss y el valor de p es mayor a 0.05 significando esto que no existe evidencia estadística que demuestre que los datos no siguen una distribución normal.

**Figura 3.4** Gráfico de histograma y prueba Kolmogorov-Smirnov

Fuente. Elaborado por el autor.

Como se aprecia en las figuras 3.6 y figura 3.7 (ver Anexos) la implementación del código desarrollado en el lenguaje de programación Python utiliza la misma lógica del modelo matemático planteado anteriormente. El objetivo de las cantidades óptimas de pedido es conocer cuánto producto terminado deberá abastecerse al centro de distribución de bebidas carbonatadas para que en consecuencia pueda suplir su demanda mensual, no sobrepasar sus límites de capacidad y minimizar el PFN generado por caducidad.

Para la ejecución del modelo se utilizó una confianza del 95%. Dentro de la codificación, los datos recopilados fueron escritos de manera manual y no solicitados por comando para simplicidad de la ejecución del programa.

Los resultados de cantidad óptima de pedida para cada uno de los SKUs correspondientes al estudio fue la siguiente:

Tabla 3.12 Cantidad óptima de pedido

Código	SKU	Cantidad óptima de abastecimiento (UN)
809598	SKU-809598	15.040
810830	SKU-810830	30.462
810833	SKU-810833	23.514
827510	SKU-827510	43.802
827511	SKU-827511	28.744
828409	SKU-828409	731
828599	SKU-828599	2.164
830775	SKU-830775	11.008
833455	SKU-833455	39.775
837583	SKU-837583	18.761

Fuente. Elaborado por el autor

CAPÍTULO 4

4. Análisis de resultados y conclusiones

El presente capítulo analiza el impacto que tiene el modelo de inventario en la gestión del centro de distribución de bebidas carbonatadas. Para esto se comparó el escenario actual con el escenario propuesto. Además, se realizaron sugerencias que pueden mejorar la gestión actual del inventario.

4.1 Análisis de los lotes de abastecimiento óptimos obtenidos

La tabla 3.12 del capítulo anterior muestra la cantidad de abastecimiento óptimo en unidades que el centro de distribución recibir mensualmente para poder cumplir con la demanda y no caer en sobrecapacidad o rotura de stock. Por ejemplo, el SKU-810830 tiene un valor óptimo sugerido de 30.462 unidades. Al tomar como referencia la ecuación 4 se evidencia que se cumple la restricción ya que la capacidad de este SKU es de 41.600 unidades.

Otro ejemplo del cumplimiento de las ecuaciones planteadas para el modelo de gestión de inventario está en el SKU-827510. El valor de abastecimiento óptimo para este SKU es de 43.8032 unidades. De acuerdo con la ecuación 5, que establece que el lote óptimo de abastecimiento debe ser mayor o igual a la demanda para satisfacerla, la restricción de cumple teniendo en cuenta que la demanda mensual promedio es de 27.390. Para ambos ejemplos se cumple la ecuación 6 debido a que los valores obtenidos son mayores a cero respetando así la no negatividad de los resultados.

4.2 Análisis de sensibilidad

A modo de comprender la robustez o volatilidad del modelo matemático que se planteó, se realizó un análisis de sensibilidad sobre los parámetros de entrada. Al medir la sensibilidad del modelo se evaluó si variaciones en dichos parámetros generan cambios drásticos en los resultados obtenidos en el valor del lote óptimo de abastecimiento. Para ello se realizaron cambios en la demanda y en el valor del factor de seguridad z . Como premisa se tiene que si el valor del lote óptimo de abastecimiento denotado por la variable Q_i varía aumenta o disminuye en más del 15% cuando la demanda y/o el factor de seguridad son alterados, entonces el modelo no robusto y necesita cambios

En el caso de la demanda se generaron dos escenarios. El primer escenario refleja una disminución del 10% de demanda. El segundo escenario refleja un aumento del 10% en la demanda. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 4.1 Variación de Q_i óptimo de acuerdo a cambios en la demanda

Código	SKU	Cantidad óptima Q^*	Cantidad óptima Q^* (+10% demanda)	Cantidad óptima Q^* (-10% demanda)
809598	SKU-809598	15.040	15.807	14.138
810830	SKU-810830	30.462	32.016	28.634
810833	SKU-810833	23.514	24.713	22.103
827510	SKU-827510	43.802	46.036	41.174
827511	SKU-827511	28.744	30.210	27.019
828409	SKU-828409	731	768	687
828599	SKU-828599	2.164	2.280	2.041
830775	SKU-830775	11.008	11.660	10.358
833455	SKU-833455	39.775	41.882	37.668
837583	SKU-837583	18.761	19.699	17.823

Fuente. Elaborado por el autor

En la tabla 4.1 se observó que el aumentar la demanda en un 10%, el valor de Q_i varía y aumenta en un 4.67% aproximadamente. Mientras que en el escenario donde la demanda disminuye en un 10%, la cantidad del Q_i varía y disminuye en un 6.4%. En ambos casos, se validó que a pesar de que existe un cambio en la variable Q_i cuando se modifica la demanda en cada una de las referencias, esta variabilidad no es significativa para concluir que el modelo es sensible a los cambios de demanda ya que no supera un cambio mayor al 15%.

Tabla 4.2 Variación de Q_i óptimo de acuerdo con cambios en el factor de seguridad

Código	SKU	Cantidad óptima Q^*	Cantidad óptima Q^* (Nivel de confianza 85%)	Cantidad óptima Q^* (Nivel de confianza 95%)
809598	SKU-809598	15.040	14.062	16.243
810830	SKU-810830	30.462	28.482	32.899
810833	SKU-810833	23.514	21.986	25.395
827510	SKU-827510	43.802	40.955	47.306
827511	SKU-827511	28.744	26.876	31.044
828409	SKU-828409	731	683	789
828599	SKU-828599	2.164	2.038	2.353
830775	SKU-830775	11.008	10.436	11.854
833455	SKU-833455	39.775	37.394	43.289
837583	SKU-837583	18.761	17.568	20.524

Fuente. Elaborado por el autor

Como segundo factor de para el análisis de sensibilidad, se evaluó el comportamiento del modelo cuando existe una variación en el factor de seguridad z . Para el análisis, se varió el nivel de confianza a un 85% y a un 95%. Un menor nivel de confianza reduce el inventario de seguridad al finalizar cada periodo y a su vez los costos relacionados al almacenamiento. El riesgo de un nivel de confianza bajo es no contar con la capacidad para cubrir la demanda. Por otro lado, un alto nivel de confianza reduce los riesgos de quiebre de stock, pero aumenta costos de almacenamiento al igual que el inventario de seguridad. La tabla 4.2 muestra cómo variaron los valores del lote óptimo.

Cuando se disminuyó el factor de seguridad, los valores Q_i disminuyeron en un 6.7% mientras que el aumentar el factor de seguridad, aumentó en un 7.41%. Esta variabilidad no es significativa para concluir que el modelo es sensible a los cambios de demanda ya que no supera un cambio mayor al 15%. Por lo tanto se considera al modelo planteado como robusto o no variable ante cambios en la demanda y el factor de seguridad z .

4.3 Análisis financiero para el escenario actual

Para conocer el impacto financiero que genera el modelo de inventario en la gestión del centro de distribución, se realizó una simulación del escenario actual para los SKUs del estudio en un periodo de 12 meses. La tabla 4.3 muestra el consumo o demanda promedio de cada uno de los SKUs mientras detalla el abastecimiento mensual. Con esta información se generó la tabla 4.4 que toma como ejemplo el SKU-809598 con los valores de abastecimiento promedio actuales y consumo mensual. Con estos valores se determinó el inventario inicial y final esperados para cada periodo.

Tabla 4.3 Consumo mensual promedio y abastecimiento mensual promedio

Código	SKU	Consumo promedio (UN)	Abastecimiento actual (UN)
809598	SKU-809598	8.155	22.208
810830	SKU-810830	14.690	41.035
810833	SKU-810833	15.702	30.565
827510	SKU-827510	27.390	53.037
827511	SKU-827511	20.494	59.738
828409	SKU-828409	362	2.024
828599	SKU-828599	1.163	3.958
830775	SKU-830775	6.509	18.941
833455	SKU-833455	21.069	63.205
837583	SKU-837583	9.376	26.579

Fuente. Elaborado por el autor

Tabla 4.4 Inventario inicial y final por periodo para el SKU-809598

Periodo (Mes)	Código	SKU	Inventario inicial (UN)	Inventario final (UN)
1	809598	SKU-809598	22.208	14.053
2	809598	SKU-809598	36.261	28.106
3	809598	SKU-809598	50.314	42.159
4	809598	SKU-809598	64.367	56.212
5	809598	SKU-809598	78.420	70.265
6	809598	SKU-809598	92.473	84.318
7	809598	SKU-809598	106.526	98.371
8	809598	SKU-809598	120.579	112.424
9	809598	SKU-809598	134.632	126.477
10	809598	SKU-809598	148.685	140.530
11	809598	SKU-809598	162.738	154.583
12	809598	SKU-809598	176.791	168.636

Fuente. Elaborado por el autor

De igual manera se desarrolló el mismo análisis para los demás SKUs. Posterior a ello, se calcularon los costos asociados por riesgo de caducidad y los costos de almacenamiento para el último periodo. Los resultados se resumen en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Resumen de costos para el escenario actual

Periodo (Mes)	Código	SKU	Inventario final (UN)	Inventario prob. caducar (UN)	Costo almacenaje (USD)	Costo caducidad (USD)	Costo Total
12	809598	SKU-809598	168636	146428	\$8.431,80	\$17.571,36	\$26.003,16
12	810830	SKU-810830	316140	222415	\$6.322,80	\$22.241,50	\$28.564,30
12	810833	SKU-810833	178356	118065	\$3.567,12	\$11.806,50	\$15.373,62
12	827510	SKU-827510	307764	203433	\$12.310,56	\$8.137,32	\$20.447,88
12	827511	SKU-827511	470928	332702	\$18.837,12	\$13.308,08	\$32.145,20
12	828409	SKU-828409	19944	14596	\$10.570,32	\$1.897,48	\$12.467,80
12	828599	SKU-828599	33540	23992	\$10.732,80	\$2.879,04	\$13.611,84
12	830775	SKU-830775	149184	105379	\$23.869,44	\$11.591,69	\$35.461,13
12	833455	SKU-833455	505632	358155	\$5.056,32	\$14.326,20	\$19.382,52
12	837583	SKU-837583	206436	145451	\$4.128,72	\$15.999,61	\$20.128,33
					\$103.827,00	\$119.758,78	\$223.585,78

Fuente. Elaborado por el autor

4.4 Análisis financiero para el escenario propuesto

Luego de estimar los costos asociados para la simulación del escenario actual dentro de un periodo de 12 meses, a continuación, se realizó el mismo cálculo de valores, pero con el escenario propuesto. En este escenario se toma en cuenta el lote óptimo de abastecimiento que se determinó por medio del modelo matemático de inventario y a partir de ello se realizaron los cálculos de costos asociados para cada SKU.

Tabla 4.6 Abastecimiento óptimo y consumo promedio por SKU

Código	SKU	Abastecimiento óptimo (UN)	Consumo promedio (UN)
809598	SKU-809598	15.040	8.155
810830	SKU-810830	30.462	14.690
810833	SKU-810833	23.514	15.702
827510	SKU-827510	43.802	27.390
827511	SKU-827511	28.744	20.494
828409	SKU-828409	731	362
828599	SKU-828599	2.164	1.163
830775	SKU-830775	11.008	6.509
833455	SKU-833455	39.775	21.069
837583	SKU-837583	18.761	9.376

Fuente. Elaborado por el autor

La tabla 4.6 resume el lote óptimo de abastecimiento para cada uno de los SKUs del estudio realizado en conjunto con la demanda o consumo mensual promedio de cada una de las referencias. Esa información se utilizó para desarrollar la tabla 4.7 donde se estima el inventario final para cada periodo para el SKU-809598.

Tabla 4.7 Inventario inicial y final por periodo para el SKU-809598

Periodo (Mes)	Código	SKU	Inventario inicial (UN)	Inventario final (UN)
1	809598	SKU-809598	15.040	6.885
2	809598	SKU-809598	21.925	13.770
3	809598	SKU-809598	28.810	20.655
4	809598	SKU-809598	35.695	27.540
5	809598	SKU-809598	42.580	34.425
6	809598	SKU-809598	49.465	41.310
7	809598	SKU-809598	56.350	48.195
8	809598	SKU-809598	63.235	55.080
9	809598	SKU-809598	70.120	61.965
10	809598	SKU-809598	77.005	68.850
11	809598	SKU-809598	83.890	75.735
12	809598	SKU-809598	90.775	82.620

Fuente. Elaborado por el autor

Posterior a ello, se llevó a cabo la misma dinámica para estimar el inventario por periodo para los demás SKUs del estudio para determinar los costos relacionados de almacenaje y caducidad en conjunto con el costo total. Esta información se resumió en la tabla 4.8.

Tabla 4.8 Resumen de costos para el escenario propuesto

Periodo (Mes)	Código	SKU	Inventario final (UN)	Inventario prob. caducar (UN)	Costo almacenaje (USD)	Costo caducidad (USD)	Costo Total
12	809598	SKU-809598	82620	67580	\$4.131,00	\$8.109,60	\$12.240,60
12	810830	SKU-810830	189264	158802	\$3.785,28	\$15.880,20	\$19.665,48
12	810833	SKU-810833	93744	70230	\$1.874,88	\$7.023,00	\$8.897,88
12	827510	SKU-827510	196944	153142	\$7.877,76	\$6.125,68	\$14.003,44
12	827511	SKU-827511	99000	70256	\$3.960,00	\$2.810,24	\$6.770,24
12	828409	SKU-828409	4428	3697	\$2.346,84	\$480,61	\$2.827,45
12	828599	SKU-828599	12012	9848	\$3.843,84	\$1.181,76	\$5.025,60
12	830775	SKU-830775	53988	42980	\$8.638,08	\$4.727,80	\$13.365,88
12	833455	SKU-833455	224472	184697	\$2.244,72	\$7.387,88	\$9.632,60
12	837583	SKU-837583	112620	93859	\$2.252,40	\$10.324,49	\$12.576,89
					\$40.954,80	\$64.051,26	\$105.006,06

Fuente. Elaborado por el autor

4.5 Comparación financiera entre el escenario actual y el escenario propuesto

Luego de obtener los costos asociados tanto para el escenario actual como el escenario propuesto donde se aplicó el modelo matemático de inventario, se realizó un análisis

comparativo de ambas situaciones para medir el impacto económico que representa la aplicación del modelo.

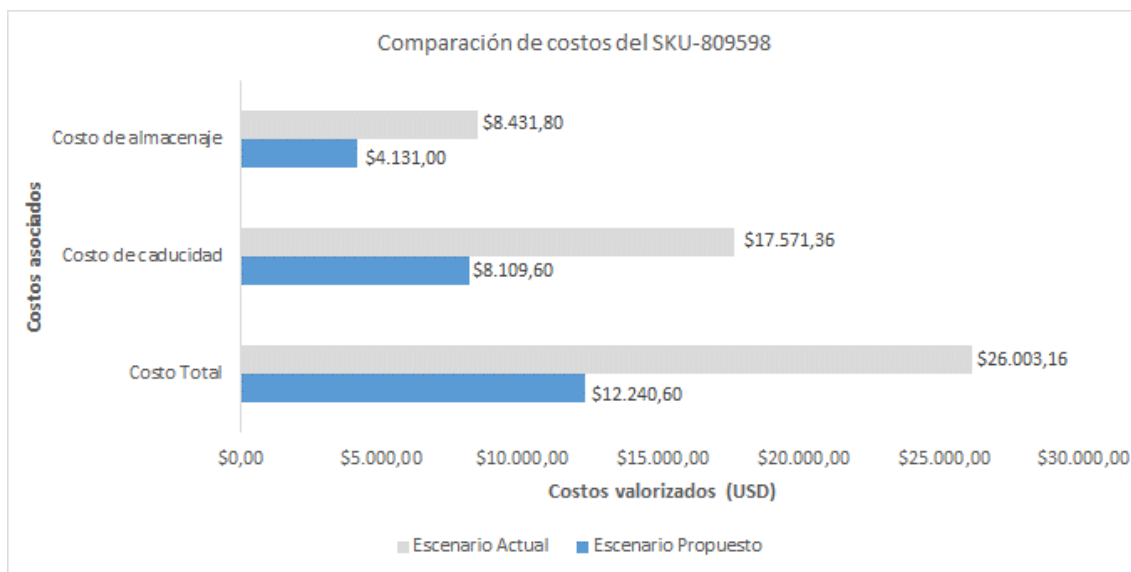


Figura 4.1 Análisis comparativo de costos e inventario para el SKU-809598

Fuente. Elaborado por el autor

La figura 4.1 evidencia que existe un ahorro significativo entre el escenario actual y el escenario propuesto para el SKU-809598. El inventario al final de periodo se reduce en un total de 85.776 unidades lo que representa un ahorro de costos de almacenaje valorado en \$4.300,8. El riesgo de inventario probable de caducar disminuye en 78.848 unidades que significa un ahorro económico de \$9.407,76. Finalmente el ahorro total valorizado para el SKU-809598 es de \$13.708,26.

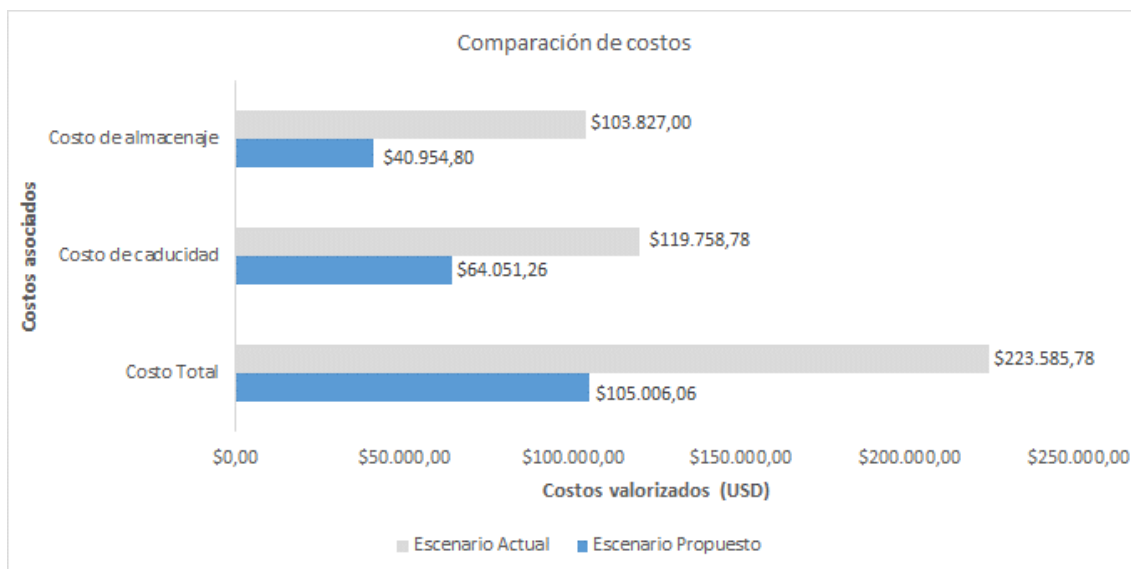


Figura 4.2 Comparación de costos e inventario entre el escenario actual y propuesto

Fuente. Elaborado por el autor

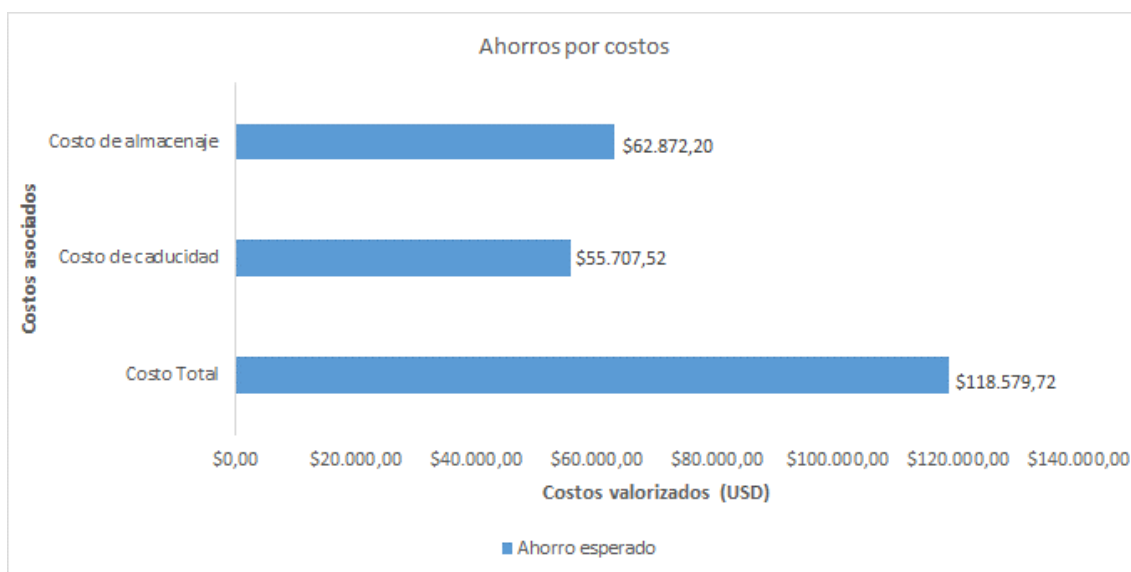


Figura 4.3 Resumen de ahorros de costos e inventario obtenidos del escenario propuesto

Fuente. Elaborado por el autor

La figura 4.2 tomó en consideración la tabla 4.5 y 4.8 para comparar la información entre los escenarios de estudio. Finalmente, la figura 4.3 resume el ahorro que representa la aplicación del modelo matemático para la gestión de inventario sobre el escenario actual.

Tabla 4.9 Cuadro comparativo entre escenarios

Indicador	Situación Actual ☒	Situación Propuesta ☐	Ahorro	Mejora
Costo de Almacenamiento USD	\$103.827,00	\$40.954,80	\$62.872,20	-60,55%
Costo por Caducidad USD	\$119.758,78	\$64.051,26	\$55.707,52	-46,52%
Cantidad de Inventario (UN)	2.356.560	1.069.092	1.287.468	-54,63%
Cantidad de Inventario por caducar(UN)	1.675.116	855.091	820.025	-48,95%
Ahorro Total (\$)	\$223.585,78	\$105.006,06	\$118.579,72	-53,04%

Fuente. Elaborado por el autor

El cuadro comparativo que se muestra en la tabla 4.9 resume cómo varía la situación actual del centro de distribución previo a la ejecución de la política de inventario y con la política ya implementada. A nivel de costos logísticos, se evidencia un ahorro del 53% que a la compañía le representan más de \$100 mil dólares. De igual manera el ahorro en costo de almacenamiento se traduce en tener más espacio o ubicaciones para referencias de alta rotación pudiendo así disminuir la sobre ocupación. Esto se refleja tanto en la disminución de cantidad de inventario en un 54% y el costo de almacenamiento en un 60%. Este ahorro financiero podría destinar los recursos en implementar proyectos de mejora continua el centro distribución.

CAPÍTULO 5

5. Conclusiones y recomendaciones

El estudio actual examinó el efecto que tiene el manejo del control de inventario en un centro de distribución de bebidas carbonatadas cuando se aplica un modelo matemático. El modelo de gestión propuesto permitió determinar la cantidad óptima de abastecimiento mensual para que el centro de distribución no tenga quiebres de stock mientras cumple con el consumo mensual promedio por cada SKU. Además, tuvo como objetivo minimizar los costos vinculados con el almacenaje de las referencias y los riesgos por caducidad.

Al plantear el modelo matemático de gestión de inventario tomó en consideración las variables relacionadas con la operación del área y todos los costos relacionados al inventario. Para medir la robustez del modelo se llevó a cabo un análisis de sensibilidad donde se demostró que el modelo no se ve afectado por variabilidad en la demanda o el factor de seguridad.

De acuerdo con los resultados, el inventario físico se redujo en un total de 1.287.468 unidades. Esto representa un ahorro del 60,55% en costos de almacenaje y 46,52% en costos relacionados a caducidad. Con respecto a los costos totales, se evidenció un ahorro del 53,03% valorado en \$118.579,72 en un periodo de 12 meses.

Como recomendaciones se sugieren los siguientes puntos:

- Tomar en cuenta factores de estacionalidad y/o promociones que afectan la demanda o consumo de los SKUs.
- Tomar en cuenta factores de estacionalidad y/o promociones que afectan el abastecimiento de los SKUs.
- Establecer un modelo de pronóstico de demanda para determinarla con exactitud de acuerdo al periodo en revisión.
- Utilizar otras técnicas de optimización como programación lineal o no lineal para encontrar el nivel óptimo del inventario.

BIBLIOGRAFÍA

Delgado, L., Toro, H. H., & Bravo, J. J. (2018). ENFOQUE PRÁCTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE POLÍTICAS DE INVENTARIO CENTRALIZADAS EN UN SISTEMA 1-BODEGA/N-MINORISTAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN/OPTIMIZACIÓN. *Revista EIA*, 1-12.

Irene Omari Mbugi, S. D. (2022). Effects of Inventory Control Management Systems on Organization Performance in Tanzania Manufacturing Industry- A Case Study of Food and Beverage Manufacturing Company in Mwanza City . *International Journal of Engineering, Business and Management*, 14.

Muñoz, H. M., & Pin, O. R. (2017). *Diseño de una Política de Inventario Multinivel para un Centro de Distribución de Productos Congelados*. Guayaquil.

Rodríguez, A. M., & Gómez, J. C. (2022). Simulación dinámica de una política de inventario R, S en una cadena de suministro de artículos ferreteros. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 1-10.

Akpofure, A., & Aolumide, F. (6 de July de 2022). *Science Direct*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227622000734>

Andrade, R., Tello, D., & Romero, Ó. (2015). *Modelo matemático para la administración de inventario en una microempresa del rubro alimenticio, caso de aplicación*. Chile: Universidad Austral de Chile.

Sonko, M. L. (2020). Inventory Management and Profitability of Food and Beverage. *IOSR Journal of Business and Management*, 9.

Wei, C. C., Razali, N. F., & Ramiah, S. A. (2023). Inventory Management Systems (IMS). *Journal of Applied Technology and Innvation*.

ANEXOS

```
import numpy as np
import scipy.stats as stats
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

# Simulación de datos de demanda (reemplázalos con tus datos reales)
data = np.array([254100, 171390, 288996, 45800, 222492, 139180, 427100,
                 195066, 184634, 7663, 54737, 130596]) # Datos de ejemplo

# *A) Histograma
plt.figure(figsize=(12, 5))

# Histograma
plt.subplot(1, 2, 1)
sns.histplot(data, kde=True, bins=10)
plt.title("Histograma de la Demanda")

# *B) Prueba de Kolmogorov-Smirnov*
ks_test = stats.kstest(data, 'norm', args=(np.mean(data), np.std(data)))
print(f"Kolmogorov-Smirnov Test: Estadístico={ks_test.statistic:.4f}, p-valor={ks_test.pvalue:.4f}")
```

Figura 5.1 Codificación de prueba de normalidad para los datos de demanda

Fuente. Elaborado por el autor

```
!pip install pulp

import pulp as pl
import pandas as pd
import numpy as np

# Definición de los parámetros
materiales = ["SKU-828599", "SKU-830775", "SKU-833455", "SKU-837583"] # Lista de materiales
periodos = list(range(1, 13)) # 12 meses

D = {"SKU-828599": 1163, "SKU-830775": 6509, "SKU-833455": 21069, "SKU-837583": 9376} # Demanda promedio mensual
C_alm = {"SKU-828599": 0.32, "SKU-830775": 0.16, "SKU-833455": 0.01, "SKU-837583": 0.02} # Costo de almacenamiento por unidad
C_cad = {"SKU-828599": 0.12, "SKU-830775": 0.11, "SKU-833455": 0.04, "SKU-837583": 0.11} # Costo por unidad caducada
L = {"SKU-828599": 12, "SKU-830775": 12, "SKU-833455": 12, "SKU-837583": 12} # Vida útil en meses
Cap = {"SKU-828599": 20800, "SKU-830775": 20800, "SKU-833455": 85400, "SKU-837583": 31100} # Capacidad máxima de almacenamiento
sigma = {"SKU-828599": 607, "SKU-830775": 2727, "SKU-833455": 11337, "SKU-837583": 5688} # Desviación estándar de la demanda
z = 1.65 # Factor de seguridad

# Definir el modelo de optimización
modelo = pl.LpProblem("Optimización de Inventario", pl.LpMinimize)

# Variables de decisión
Q = {(i, t): pl.LpVariable(f"Q_{i}_{t}", lowBound=0, cat='Continuous')} for i in materiales
I = {(i, t): pl.LpVariable(f"I_{i}_{t}", lowBound=0, cat='Continuous')} for i in materiales for t in periodos
X = {(i, t): pl.LpVariable(f"X_{i}_{t}", lowBound=0, cat='Continuous')} for i in materiales for t in periodos

# Función objetivo: minimizar costos de almacenamiento y caducidad
modelo += pl.lpSum(C_alm[i] * I[i, t] + C_cad[i] * X[i, t] for i in materiales for t in periodos)
```

Figura 5.2 Codificación de variables de decisión y función objetivo

Fuente. Elaborado por el autor

```

# Restricciones de balance de inventario
for i in materiales:
    for t in periodos:
        if t == 1:
            modelo += I[i, t] == Q[i] - D[i] - x[i, t]
        else:
            modelo += I[i, t] == I[i, t-1] + Q[i] - D[i] - x[i, t]

# Restricciones de caducidad
for i in materiales:
    for t in periodos:
        if t > L[i]:
            modelo += x[i, t] >= I[i, t - L[i]]

# Restricciones de capacidad
for i in materiales:
    for t in periodos:
        modelo += I[i, t] <= Cap[i]

# Restricción de satisfacción de la demanda
for i in materiales:
    modelo += Q[i] >= D[i] + z * sigma[i]

# Resolver el modelo
modelo.solve()

# Resultados
for i in materiales:
    print(f"Cantidad óptima de abastecimiento para {i}: {Q[i].varValue}")

```

Figura 5.3 Codificación de restricciones y resultado de la implementación

Fuente. Elaborado por el autor