

Escuela Superior Politécnica del Litoral

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

Diseño de un modelo de reabastecimiento de inventarios en área de
picking en una empresa comercializadora

INGE-2811

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Industrial

Presentado por:

Diego Fabricio Satian Alcoser

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

A mi familia.

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a las personas que siempre me apoyaron y estuvieron de una u otra manera dándome ese impulso necesario para completar la carrera. A los profesores por impartir el conocimiento académico necesario y demás profesionales que gracias a ellos he aprendido a desarrollarme poco a poco y profesionalmente.

Declaración Expresa

Yo Diego Fabricio Satian Alcoser 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.

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

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor 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, 30 de mayo del 2025.



Diego Fabricio Satian Alcoser

Evaluadores

María Fernanda López Sarzosa, M.Sc.

Profesor de Materia

Jenny Pilar Gutiérrez López, PhD.

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto aborda temas de análisis, optimización y reabastecimientos de inventarios, con énfasis en optimización de costos y lotes económicos. Se emplea estudio y la categorización de la demanda en base a las variables de variación e intervalos de la demanda. Se empleó la metodología DMADV con el objetivo de diseñar y validar un modelo que permita mejorar los procesos relacionados con el control y gestión de inventarios en el área de *picking*. En la parte de análisis se investigó sobre las mejores alternativas de diseño. Las soluciones implementadas están estructuradas en base a la propia información y datos relevantes del proceso por lo que permite una adaptación eficaz a las actuales necesidades específicas del cliente como lo fueron mencionadas en la parte de definición. El prototipo desarrollado permite una amplia capacidad de respuesta debido a su componente automatizado lo que hace robusto frente a variaciones de la demanda y cambios en el entorno operativo, logrando abastecer el total de inventarios y reducir niveles al 57% por lo que permiten consolidar y realizar cambios oportunos con un margen de riesgo mínimo. Desde el punto de vista integral se tiene las bases para implementar estudios de reabastecimientos en base a minimización de costos relevantes por lo que facilitan la gestión y promueven el ejercicio de la mejora continua.

Palabras Clave: Silver-Meal, pronósticos demanda, Python, DMADV.

Abstract

This project addresses inventory analysis, optimization, and replenishment, with an emphasis on cost optimization and economic batches. Demand analysis and categorization are used based on variation variables and demand intervals. The DMADV methodology was used to design and validate a model that allows for improved processes related to inventory control and management in the picking area. The analysis phase included research into the best design alternatives. The implemented solutions are structured based on the company's own information and relevant process data, allowing for effective adaptation to the client's specific needs, as mentioned in the definition phase. The developed prototype allows for a broad response capacity due to its automated component, making it robust against variations in demand and changes in the operating environment. It is able to supply total inventory and reduce inventory levels by 57%, allowing for consolidation and timely changes with minimal risk. From a comprehensive perspective, the foundations are in place for implementing replenishment studies based on minimizing relevant costs, facilitating management and promoting continuous improvement.

Keywords: Silver-Meal, demand forecasting, Python, DMADV.

Contenido

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Contenido	III
Abreviaturas	VII
Simbología	VIII
Índice de figuras	IX
Índice de tablas	XI
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	2
1.3 Justificación del Problema	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
1.5 Marco teórico	4
1.5.1 Demanda de inventarios.....	4
1.5.2 Modelación de inventarios	4
1.5.3 Políticas de inventarios	5
1.5.4 Centro de distribución.....	6
1.5.5 Metodología DMADV	7

1.5.6	Voz del cliente (VOC)	8
1.5.7	Casa de la Calidad (QFD)	9
1.5.8	Diagrama SIPOC	9
1.5.9	Costos de Inventarios	10
1.5.10	Modelos determinísticos	11
Capítulo 2		13
2.	Metodología	14
2.1	Definir	14
2.1.1	Identificación de clientes claves	14
2.1.2	Voz del cliente	15
2.1.3	Casa de la calidad (QFD)	16
2.1.4	Diagrama SIPOC	20
2.1.5	Restricciones del centro de distribución	21
2.1.6	Declaración oportunidad	22
2.2	Medición	23
2.2.1	Plan de recolección de datos	23
2.2.2	Confiabilidad de datos	25
2.2.3	Demanda semanal	25
2.2.4	Costos mantener de inventarios en centro de distribución.....	29
2.2.5	Costos unitarios inventarios	30
2.2.6	Tiempo de inventarios pendientes	34

2.2.7	Cantidad de reabastecimiento inventarios	36
2.2.8	Nivel de exactitud de inventario	40
2.2.9	Kilogramos de material reciclado	43
2.2.10	Índice de satisfacción laboral	45
2.3	Análisis	48
2.3.1	Modelo actual de reabastecimiento de inventario.....	48
2.3.2	Opciones de diseño	52
2.3.3	Matriz de priorización.....	56
2.3.4	Análisis financiero	58
2.3.5	Matriz Impacto-Esfuerzo	59
2.4	Diseño	61
2.4.1	Proyección de la demanda	61
2.4.2	Validación del método Silver.....	67
Capítulo 3		69
3.	Resultados y análisis	70
3.1	Sistema automatizado del plan de reabastecimiento.....	71
3.2	Indicadores logísticos.....	72
3.2.1	Inventario promedio semanal.....	72
3.2.2	Consolidación de pedidos y número periodos cubiertos.....	73
3.3	Resultados del Triple Bottom Line	74
3.3.1	Impacto económico	74

3.3.2	Impacto social	75
3.3.3	Impacto ambiental.....	77
Capítulo 4		79
4.	Conclusiones y recomendaciones	80
4.1	Conclusiones	80
4.2	Recomendaciones	81
Referencias		82

Abreviaturas

CTRUT	Cost Total Relevant Unit Time
CTQ	Critical to Quality
DMADV	Define, Measure, Analyze, Design, Verify
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
EOQ	Economic Order Quantity
HSM	Heuristic Silver Meal
QFD	Quality Function Deployment
SIPOC	Supplier Inputs Process Output Customer
SKU	Stock Keeping Unit
USD	United States Dollar
VOC	Voice of Customer

Simbología

m	Metro
min	Minutos
seg	segundos
unidad	unidades de inventario

Índice de figuras

Figura 1	<i>Modelo de inventario revisión periódica.....</i>	11
Figura 2	<i>Entrevistas a personas claves del proceso</i>	16
Figura 3	<i>Despliegue de la casa de calidad</i>	19
Figura 4	<i>Requerimientos técnicos del modelo</i>	20
Figura 5	<i>Diagrama SIPOC proceso actual reabastecimiento</i>	21
Figura 6	<i>Restricciones del centro de distribución.....</i>	21
Figura 7	<i>Fuentes de datos verificación de variable demanda semanal</i>	27
Figura 8	<i>Análisis estadístico de comparación de varianza.....</i>	33
Figura 9	<i>Fuente de datos variable tiempo permanencia.....</i>	34
Figura 10	<i>Distribución de probabilidad de Inventario WMS y físico</i>	41
Figura 11	<i>Carta de control Xbarra-S variable conteo físico</i>	43
Figura 12	<i>Kilogramos de cartón reciclado meses 2025.....</i>	44
Figura 13	<i>Efectividad metodología de trabajo picking.....</i>	46
Figura 14	<i>Oportunidad desarrollo profesional y capacitación</i>	46
Figura 15	<i>Eficiencia en el estilo de liderazgo</i>	47
Figura 16	<i>Resultados de la encuesta satisfacción laboral</i>	47
Figura 17	<i>Proceso actual de reabastecimiento de inventario.....</i>	49
Figura 18	<i>Proceso actual de reabastecimiento a picking</i>	49
Figura 19	<i>Diagrama de Pareto perchas con inconsistencias</i>	50
Figura 20	<i>Dispersión de tiempo de permanencia de inventarios por perchas ..</i>	51
Figura 21	<i>Matriz Impacto-Esfuerzo</i>	60
Figura 22	<i>Requerimientos técnicos QFD.....</i>	61
Figura 23	<i>Demanda pronosticada para planificación semanal</i>	65

Figura 24 <i>Pronostico vs. Demanda errática.</i>	67
Figura 25 <i>Planificación automatizada de reabastecimiento.</i>	72
Figura 26 <i>Inventario promedio semanal</i>	73
Figura 27 <i>Cantidad de pedidos y periodos de cobertura</i>	74
Figura 28 <i>Costo total de inventarios semanal</i>	75
Figura 29 <i>Resultado encuesta satisfacción laboral</i>	76
Figura 30 <i>Resultados de la percepción de desarrollo del puesto de trabajo</i>	77
Figura 31 <i>Impacto de la huella de carbono de cartón reciclado</i>	78
Figura 32 <i>Encuesta realizada al personal picking.</i>	85
Figura 33 <i>Ubicaciones de producto en perchas</i>	86
Figura 34 <i>Registro del conteo físico del inventario</i>	87
Figura 35 <i>guías de remisión usado para la salida de mercancías</i>	88
Figura 36 <i>Código fuente para calcular Heurística Silver Meal</i>	91

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Matriz de roles y competencias en proceso picking</i>	15
Tabla 2	<i>Requerimientos del cliente clave</i>	17
Tabla 3	<i>Requerimientos técnicos del modelo de reabastecimiento</i>	18
Tabla 4	<i>Herramienta 5W 2H</i>	22
Tabla 5	Plan de recolección de datos	24
Tabla 6	<i>Órdenes despachadas durante 2025</i>	26
Tabla 7	<i>Comparación estadística mediante Bonett y Levene</i>	27
Tabla 8	<i>Estadística descriptiva variable demanda sistema vs. muestra</i>	28
Tabla 9	<i>Prueba estadística de varianza</i>	28
Tabla 10	<i>Resultado prueba de varianzas</i>	28
Tabla 11	<i>Muestra de artículos para verificar costos unitarios</i>	31
Tabla 12	<i>Método de la prueba estadística para Costo wms vs. Costo Pro</i>	32
Tabla 13	<i>Datos descriptivos de la variable Costo wms y Costo Pro</i>	32
Tabla 14	<i>Resultado prueba estadística variable costo unitario</i>	32
Tabla 15	<i>Método de la prueba estadística para tiempo de permanencia de inventarios</i>	35
Tabla 16	<i>Estadística descriptiva de la comparación de tiempos de permanencia</i>	35
Tabla 17	<i>Resultados de la prueba de Bonett y Levene</i>	36
Tabla 18	<i>Verificación de la cantidad en proceso de reabastecimiento</i>	37
Tabla 19	<i>Método de la prueba estadística No paramétrica</i>	38
Tabla 20	<i>Estadística descriptiva variable Cantidad de reabastecimiento</i>	38
Tabla 21	<i>Estimación de la diferencia de medianas</i>	38
Tabla 22	<i>Prueba realizada para comparación</i>	39
Tabla 23	<i>Resultados de la prueba no paramétrica</i>	39
Tabla 24	<i>Formato para el registro de inventario físico</i>	41

Tabla 25 <i>Pruebas No paramétricas</i>	42
Tabla 26 <i>Prueba de hipótesis</i>	42
Tabla 27 <i>Resultados de la prueba no paramétrica</i>	42
Tabla 28 <i>Cálculo de la huella de carbono cartón reciclado</i>	44
Tabla 29 <i>Escala Likert para encuesta satisfacción laboral</i>	46
Tabla 30 <i>ANOVA de tiempo permanencia vs. nivel de perchas</i>	52
Tabla 31 <i>Beneficios de implementar EOQ</i>	54
Tabla 32 <i>Beneficios esperados del modelo (T, S)</i>	55
Tabla 33 <i>Matriz de priorización de opciones de diseño</i>	57
Tabla 34 <i>Análisis Beneficio-Costo de alternativas de diseño</i>	58
Tabla 35 <i>Clasificación del modelo acuerdo al nivel de Impacto-Esfuerzo</i>	60
Tabla 36 <i>Categorización de la demanda</i>	62
Tabla 37 <i>Categorización de la demanda en picking</i>	62
Tabla 38 <i>Resultados del pronóstico demanda intermitente</i>	64
Tabla 39 <i>Valores pronosticados para demanda errática</i>	66
Tabla 40 <i>Análisis de costos relevantes aplicando heurística Silver-Meal</i>	68
Tabla 41 <i>Plan de implementación del prototipo</i>	70
Tabla 42 <i>Resultados de la implementación modelo Silver-Meal</i>	71

Capítulo 1

1.1 Introducción

Actualmente el sector eléctrico del país se encuentra en constantes cambios. Estos cambios se reflejan en la demanda de los consumidores los cuales requieren tiempos de respuestas cada vez más cortos. En el presente estudio se tiene el análisis de una parte de la cadena de suministro en esta gran categoría de industria. Debido a que la industria requiere de instalaciones tangibles para una amplia categoría de proyectos. Debido a esta importancia se adquieren una gran cantidad de insumos. En esta parte del proyecto se enfoca en la administración, almacenamiento y despacho de estos componentes.

Para una correcta gestión de cadena de suministros se debe contar con centros de distribuciones altamente competitivos con capacidad de respuesta cada vez más eficientes.

La gestión eficiente de inventarios conlleva a tener una ventaja competitiva clara frente a competidores directos del mercado. En este ámbito se tiene el estudio de generar un modelo estructurado de inventarios que permite reabastecimientos oportunos.

Los modelos de inventario son de gran relevancia para la administración de inventarios debido a su gran capacidad de respuesta frente a mercados exigentes pueden adaptarse exitosamente a comportamientos volátiles acerca de la demanda. Una función especial también es establecer políticas de reabastecimientos reales y de gran impacto en la eficiencia operativa de cualquier centro de distribución. Además, facilita la integración de tecnologías y automatización puesto que existe una validación y soporte basada en datos claros y certeros.

1.2 Descripción del Problema

El presente estudio se realiza en una empresa dedicada a la comercialización de materiales eléctricos para el sector industrial y residencial ubicada en la ciudad de Guayaquil. La empresa ocupa un puesto importante en el abastecimiento del sector eléctrico en el Ecuador por lo que además cuenta con una gran participación en el mercado de proyectos

eléctricos en el país. Al contar con más de 50 años de experiencia y además de ser una de las pioneras empresas del país les permite anticiparse a brindar soluciones integrales e innovadoras. Para lograr posicionarse en este sector del mercado es preciso optimizar operaciones de la cadena de suministro. Al mantener en línea y trabajar con enorme cantidad de proyectos se necesita de igual manera una gran cantidad de inventarios y mercancías que permitan cubrir y satisfacer las necesidades del mercado. Para ello se cuenta con un centro de distribución ubicado en la ciudad de Guayaquil que se encarga de recibir, almacenar y distribuir materiales y equipos que se despachan y mantienen operaciones diarias. El enfoque está dirigido hacia una de las operaciones internas del área el cual es procesos de *picking*. Para brindar un servicio al cliente más eficiente es necesario contar con un sistema que permita controlar el proceso de *picking*. Las bases están dirigidas al control de inventarios. Este control se lo realizará desde establecer políticas de reabastecimiento. Este es el punto de inicio del control de inventarios.

1.3 Justificación del Problema

Actualmente la empresa presenta dificultades en mantener un inventario en niveles óptimos ya que no cuenta con un sistema de gestión de inventarios enfocado a determinar cantidad requeridas para el proceso de reabastecimiento en la zona de *picking*. La ventaja de un modelo de gestión de inventarios permite tomar decisiones estratégicas y eficientes basado en datos. La confiabilidad de los datos permite la generación de métricas confiables y facilita una respuesta anticipada frente a las variaciones dinámicas en el mercado actual del sector eléctrico.

El modelo de inventarios tiene como objetivo crear un ambiente eficiente de operaciones debido a que se generan políticas de inventarios basados en datos. Las políticas tienen como propiedades contar con niveles óptimos de inventarios, evitar roturas de stock o sobrecostos en inventarios.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un modelo del proceso de reabastecimiento para el área de picking, basado en el análisis crítico de la demanda e implementación de un algoritmo de optimización para generar cantidades óptimas de inventario en cada reabastecimiento, optimizando costos totales y frecuencia de reposición.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Análisis del comportamiento de la demanda y niveles de variabilidad.
2. Equilibrar los costos de almacenamiento, traslado y reposición asociados a inventarios.
3. Analizar y seleccionar una metodología adecuada de reabastecimiento.
4. Implementar la disciplina FIFO debido a la característica del producto.
5. Definir puntos de reorden y stocks de seguridad en niveles de stocks.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Demanda de inventarios

Según Mankiw (2012), la demanda es la cantidad de un bien que los compradores pueden y quieren pagar. En este contexto económico es clave mencionar que por parte del consumidor expresa una intención de adquirir un bien. La demanda del sector eléctrico depende de factores como los son sistemas energéticos, líneas de distribución, fuente de generación de suministro eléctrico. El crecimiento del consumo eléctrico requiere estudiar nuevas metodologías y analizar constantemente la demanda para anticipar las variabilidades del mercado.

1.5.2 Modelación de inventarios

Los modelos tienen como objetivo la representación matemática de un fenómeno complejo. Los modelos de inventarios regulan la cantidad óptima y el momento oportuno

para cumplir con los pedidos de los clientes. Los modelos más avanzados integran restricciones relacionadas con la capacidad de almacenamiento, tiempo y presupuesto (Nacht, 2001). En la actualidad debido a exigentes estudios de inventarios se han creado una diversidad de modelos que representan de mejor manera el comportamiento de centro de distribución. Entre los modelos más conocidos está el EOQ (Cantidad Económica de Pedido), que utiliza el enfoque de optimización al tener objetivo de minimizar los costos totales de inventarios. Este modelo repone cantidades óptimas y trata de modelos de revisión continua con estudio de la demanda determinística. Según Chopra & Meindl (2016), el modelo EOQ es ampliamente utilizado para determinar el tamaño de pedido más eficiente correspondiente en la gestión de inventarios.

1.5.3 Políticas de inventarios

Las políticas se definen como conjunto de acciones para lograr un objetivo. Los objetivos siempre a conseguir en la gestión de inventarios son las de minimizar costos operativos, almacenamiento y siempre asegurar la disponibilidad de mercancías que permita obtener el mayor nivel de servicio (Izar et al., 2016). Las políticas de inventarios buscan mantener un equilibrio entre la minimización de costos y un óptimo servicio al cliente.

Para asegurar un nivel de servicio óptimo, según Barbo, Florea, Da bija, & Barbo (2021), la satisfacción suele estar impulsada por experiencias intangibles, como la confianza, la capacidad de respuesta y la facilidad de uso, más que por las características propias del producto. Especialmente en servicios, donde el riesgo financiero y los datos personales están involucrados, los clientes se basan en gran medida en experiencias previas del cliente con el producto. Entonces para asegurar un nivel de servicio adecuado es importante contar con políticas de inventarios deben ser precisas, esto con la finalidad de generar procesos exitosos y además de brindar fluidez a las operaciones diarias del centro de distribución. Las políticas deben cubrir todos los aspectos del proceso, mejorando así el desempeño.

Estas herramientas que se pueden implementar deben ser capaces de analizar grandes volúmenes de datos. Además, es de vital importancia con métricas claras que permitan medir, evaluar y mejorar constantemente procesos.

Por último, para garantizar su eficacia, las políticas de inventarios deben incluir mecanismos de evaluación periódica, que consideren factores internos, como el rendimiento del centro de distribución, y externos, como el comportamiento de los mercados y las tendencias en el suministro (González, 2020).

1.5.4 Centro de distribución

Los centros de distribución son establecimientos logísticos que tienen como actividades principales el almacenamiento, distribución de mercancías entre el fabricante y el proveedor final. La función principal de un centro de distribución es la agilización de entrega de pedidos, así como optimizar costos y mejorar los niveles de satisfacción del cliente (Alma, 2018). Son establecimientos por lo general de grandes capacidades físicas y adecuadas para albergar grandes volúmenes de productos y que se manejan bajo sectorización para su correcta identificación y agilizar las respuestas a las exigencias del mercado.

Un centro de distribución es una instalación logística diseñada estratégicamente para recibir, almacenar y despachar mercancías de manera eficiente, actuando como un nodo clave entre proveedores y clientes finales dentro de la cadena de suministro. Estas instalaciones permiten la consolidación y organización de productos, facilitando su movimiento ágil y asegurando la disponibilidad oportuna en los distintos puntos de venta o consumo.

Una función principal de un centro de distribución consiste en actuar como nodos intermedios entre los puntos de producción y el cliente final. Además, que permite consolidar cargas, optimizar flujo de mercancías, mejorar los niveles de servicio al cliente y minimizar los costos asociados al almacenamiento y transporte (Ballou, 2004). Entre sus actividades típicas se encuentran la recepción de productos, el almacenamiento temporal, la gestión de

inventarios y la preparación de pedidos.

Desde una perspectiva académica, autores como Ballou (2004) y Chopra & Meindl (2016) destacan que los centros de distribución no solo cumplen un papel operativo, sino que también son puntos estratégicos para la recopilación y análisis de datos, apoyo a la toma de decisiones y adaptación a nuevas tendencias del mercado, como servicios multicanal o la integración tecnológica en la logística.

Funciones principales

- El almacenamiento estratégico de mercancías para la recepción y despacho de manera eficiente.
- Capacidad para recepción de mercancías de proveedores tanto locales como internacionales.
- La preparación correcta de pedidos para su posterior despacho, así como el empaquetado y etiquetado del producto.
- Asegurar el correcto flujo de mercancías para evitar roturas de stock y además de permitir la disponibilidad de inventarios en las diferentes zonas.
- Asegurar la eficiente sectorización de inventarios para asegurar una gestión de inventarios.
- Diseñado para la atención al cliente enfocado en despacho en el menor tiempo posible.

1.5.5 Metodología DMADV

Acrónimo de una metodología que pertenece a la filosofía *six sigma* que es utilizada para el diseño de procesos o productos, consta de 5 pasos enfocando en cada etapa tener información clave que permita cumplir con las especificaciones requeridas por el cliente (George, 2005). Dentro de cada etapa se utiliza múltiples herramientas *six sigma* enfocadas al uso técnico de los datos. Las cinco etapas constan de lo siguiente.

- **Definir.** – En esta etapa se enfoca en la recopilación de información técnica necesaria para el diseño de proyecto y las necesidades de los clientes claves.
- **Medir.** – Se recopila toda la información y datos necesarios para el desarrollo del diseño.
- **Analizar.** – Se analizan las diferentes opciones de diseño y se selecciona la que mejor se ajuste.
- **Diseño.** – En esta etapa se centra en el diseño del producto seleccionado como mejor opción que cumpla con las necesidades y expectativas del cliente. El producto final debe tener en sus características las especificaciones técnicas que solucione las necesidades del cliente.
- **Verificar.** – Se pone a prueba el diseño del producto y se validan los resultados que cumpla con los requisitos estándar del cliente y de las necesidades.

1.5.6 *Voz del cliente (VOC)*

La voz del cliente es un término fundamental en el estudio *six sigma* en la cual se encarga de recopilar información crítica por medio de técnicas como entrevistas, encuestas, o sesiones de talleres acerca del problema y facilita determinar las expectativas y necesidades del cliente en cuanto a lo esperado de su producto o servicio. Las expectativas que surgen son transformadas como atributos medibles y alcanzables en el proyecto. La técnica utilizada son la entrevista directa y análisis recopilación de la información. La integración de VOC en los procesos de *Lean Six Sigma* asegura que los esfuerzos de mejora estén alineados con las expectativas del cliente, lo que resulta en una mayor satisfacción y se convierta en una ventaja competitiva sostenible.

Según Shen, Zhou y otros (2022), en las últimas décadas, el constante desarrollo de tecnologías de información ha permitido nuevos desafíos para la mejora de diseños o

productos, esto al permitir que los propios usuarios brinden sus opiniones y percepción en tiempo real. En este estudio se propone la combinación de métodos de recopilación de información.

1.5.7 Casa de la Calidad (QFD)

El despliegue de la casa de la calidad es una metodología six sigma que permite levantar las especificaciones críticas de diseño de un producto o servicio. Ampliamente reconocido en el proceso de diseño, desarrollo y su posterior implementación en producto o servicios nuevos. Las especificaciones del diseño son de acuerdo con las necesidades del cliente previamente levantadas en el VOC. Mediante la definición del problema y de las necesidades del cliente se relacionan conjunto con las especificaciones a través de una matriz de ponderaciones, el cual mide el grado de impacto por cada de las necesidades y análisis entre especificaciones. Los requerimientos del cliente previamente levantados en el VOC se traducen en requerimientos técnicos aceptados para cubrir las necesidades del cliente (Zhou et al., 2020). Esta herramienta permite y asegura que se cubra las expectativas y necesidades del cliente por medio de los requerimientos técnicos que son categorizados y ponderados dependiendo de la prioridad de la matriz.

Una vez cumplidas las exigencias, una recomendación del QFD es seguir revisando las especificaciones y cambiar por las más relevantes y acordes a la necesidad del área de estudio. Al ser un enfoque de mejora continua se pretende que los procesos se mantengan flexibilidad y fomentando resultados importantes y eficaces.

1.5.8 Diagrama SIPOC

La herramienta SIPOC sirve para mapear procesos y destaca elementos claves. Facilita una interpretación visual de alto nivel de las principales actividades, responsabilidades y entregables del proceso. Desde SIPOC se identifican procesos claves y además facilita la identificación de cuellos de botella, así como oportunidades de mejora

como el exceso de inventarios (Nandakumar et al., 2020).

Esta herramienta es parte de la metodología Lean Six Sigma y comprende como etapas iniciales, ya que permite delimitar el alcance del proceso.

Se presenta los componentes del SIPOC:

- **Suppliers.** – Son todas las entidades o responsables que suministran entradas al sistema o proceso de estudio.
- **Inputs.** – Es toda información, materiales o recursos necesarios para la ejecución de los procesos.
- **Process.** – Actividades que se generan y transforman entradas en salidas.
- **Outputs.** – Son resultados de las actividades que generan en los procesos.
- **Customers.** – Usuarios finales de los resultados del proceso.

1.5.9 Costos de Inventarios

Los gastos asociados con la gestión de inventarios se denominan costos de inventarios y tienen un gran impacto en la rentabilidad de la cadena de suministro. Los costos de inventarios incluyen varias categorías de análisis como espacio, almacenamiento, mano de obra y costos de oportunidad. Asimismo, contemplan costos de ciclos de vida, obsolescencia y otros factores atribuibles a la gestión de inventarios como los son costos de alquiler, servicios básicos. En relación directa a medida que los inventarios aumentan en un centro de distribución, estos costos asociados tienden a aumentar proporcionalmente por lo que es de vital importancia para una organización el cual su operación principal es almacenar y distribuir es primordial establecer un modelo de inventarios eficiente que optimice los resultados del modelo (Malicki & Minner, 2021). Además, los costos de inventarios tienen una gran influencia en la planificación y futuro de la gestión de inventarios debido que generan un efecto clave que indica que tan bien está funcionando las mejoras implementadas dentro de la cadena de suministro.

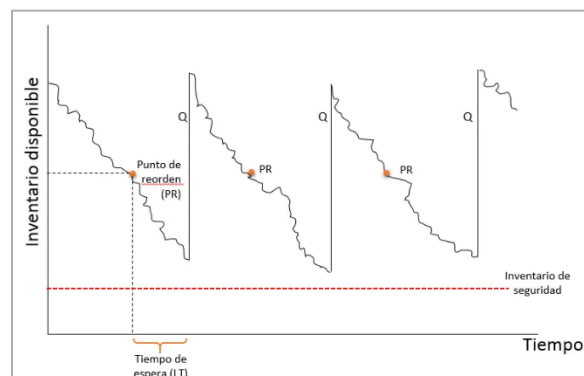
1.5.10 Modelos determinísticos

Para la representación matemática de la problemática del centro de distribución donde el estudio de la demanda está configurado componentes determinísticos. Los modelos determinísticos son una herramienta clave para el desarrollo de políticas de reabastecimientos. Los modelos determinísticos de inventarios trabajan con la premisa de que las entradas de parámetros y variables del modelo son datos conocidos por lo tanto la variabilidad de la salida es nula (Thanos E. Goltsos, 2022). Entre los modelos más conocidos por su componente determinístico se tiene lo siguiente:

- **Modelo de revisión periódica:** El modelo de revisión periódica en su nomenclatura clásica (T, S) en donde existe un periodo entre revisiones T y se repone una cantidad máxima S . El lead time es el transcurso desde una orden es creada hasta la llegada del proveedor con el respectivo material. El intervalo de tiempo Δt , existe un consumo de inventario el cual se denomina Dt y relaciona la demanda en ese intervalo de tiempo. En su base el modelo de revisión periódica constituye una demanda conocida con antelación y asume que LT es menor que T , que indica que una orden llegara antes de una revisión sea realizada (Vélez & Castro, 2002).

Figura 1

Modelo de inventario revisión periódica



Nota. Adaptado de Modelo revisión periódica por, Ingenio empresa, 2018.

- Heurística Silver Meal: Es un modelo de inventarios con demanda que cambia en la variable tiempo. Su algoritmo se sustenta en una heurística que minimiza los costos promedio de inventarios por unidad de tiempo. El objetivo es minimizar y decidir cuántos periodos agrupar para realizar un pedido en un periodo el cual minimiza el costo total de inventario (Hariga, 1996).

Capítulo 2

2. Metodología

Se escogió la metodología DMADV como parte esencial y potencial para el desarrollo de un sistema gestión de inventarios optimo. Esta metodología permite realizar un análisis cuantitativo y cualitativo del sistema.

2.1 Definir

En esta parte se reunió información precisa para permitir el desarrollo de la mejor propuesta para el diseño establecido, una vez haber recopilado las inquietudes del cliente por medio de entrevistas a los principales encargados del proceso de reabastecimiento de *picking*. En esta sección se establecen las bases del proyecto, y establecer objetivos de diseño delo modelo y se clarifica las exigencias del cliente, los cuales son traducidos por requerimientos del diseño. Utiliza el enfoque de mejora de procesos y toma de decisiones en base a datos.

2.1.1 Identificación de clientes claves

Dentro del proceso de picking se analizaron cuatro roles fundamentales dentro del proceso de reabastecimiento y competencias claves. En la Tabla 1, se enlistó las competencias principales en el proceso de *picking*, así como roles primordiales en los que interviene. En la matriz de puntuación se asigna valor de 1 si el rol cumple con la descripción de la competencia y valor de cero sino se cumple. Se identificó 5 niveles de competencias claves entre las cuales están si están directamente involucrados en el proceso de reabastecimiento, personal a cargo, si realiza capacitaciones sobre el proceso en mención, entre otras competencias importantes que permitió identificar a los encargados del proceso y posterior selección del cliente clave. Los resultados de la Tabla 1, permitió realiza la respectiva comparación entre valores para seleccionar entre los 4 roles determinar los que cumplen con la mayoría de las competencias. Al analizar los resultados de estableció que fueron el jefe de bodega y el coordinador de *picking* puesto que ambos cumplen con el total de competencias.

Tabla 1*Matriz de roles y competencias en proceso picking*

Descripción	Jefe	Coordinador	Coordinador	Coordinador
	Bodega	Inventarios	picking	recepción
Desempeño de roles y responsabilidades implícitas en el proceso picking.	1	0	1	0
Personal a cargo en el proceso de picking.	1	0	1	1
Importancia de la comunicación efectiva.	1	1	1	1
Capacitación continua del personal involucrado.	1	0	1	0
Evaluación del desempeño y retroalimentación.	1	0	1	0
	5	1	5	2

2.1.2 Voz del cliente

Esta herramienta se utilizó para entender las necesidades del cliente y requerimientos funcionales acerca del modelo. Para ello se realizó una serie de entrevistas con el personal clave de los procesos de reabastecimientos y *picking* correspondiente. Entre las que se mencionaron durante la entrevista fueron que se necesitaba contar con una modelo de inventarios que permita establecer niveles óptimos de inventarios, de igual manera encontrar una mejor forma de sectorización y ubicación de mercancías.

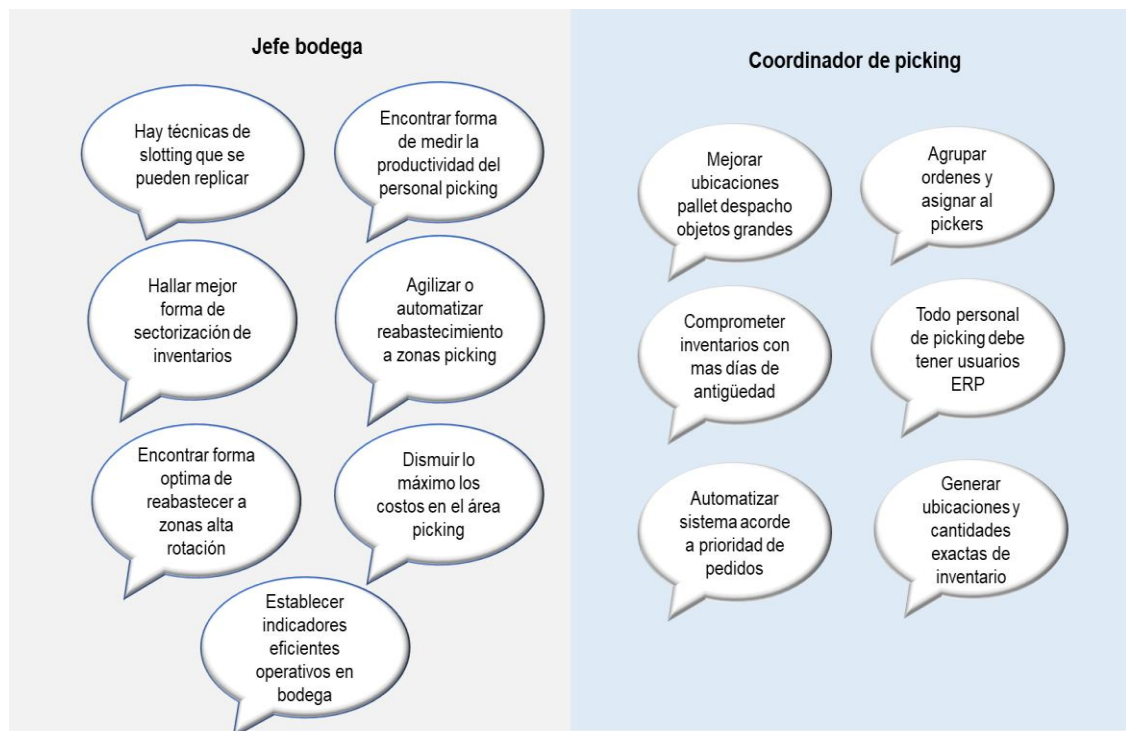
En este apartado se necesitaron levantar información acerca de la situación actual de la necesidad. A partir de ello se recopilaron las siguientes necesidades y/o requerimientos. En la Figura 2, se muestra aquellas necesidades que requerían los clientes. Por parte del jefe de bodega se requiere técnicas de slotting eficientes en el área, así como la adecuada forma de medir por medio de indicadores de productividad. Por otro lado, otro de los cargos resaltados

fue el coordinador de picking como parte esencial del proceso, el cual menciono que por su parte las necesidades para los procesos fueron levantadas y detalladas:

- Tratar de agrupar de mejor manera las ubicaciones en los pallets de despacho.
- Mejoras tecnológicas para el personal operativo como la utilización de *handhelds* para todos los pickers.
- Darles prioridad a inventarios con mayor antigüedad y que se pueda controlar.

Figura 2

Entrevistas a personas claves del proceso



Nota: Se realizaron las entrevistas a responsables del proceso de reabastecimiento.

2.1.3 Casa de la calidad (QFD)

Una vez establecidas y recopiladas las necesidades por parte del cliente se inició con establecer cuáles serían los requerimientos funcionales y técnicos del modelo de inventario. Para ello se basó en una herramienta *six sigma* que permite correlacionar las necesidades con mayor ponderación por parte del cliente, con requerimientos del modelo que cubran la mayor parte de las necesidades. Las ponderaciones por parte de las necesidades del cliente están

dadas de un rango del 1-10 en donde 1 significa de poca importancia mientras que 10 representa de muy alta importancia por parte del cliente.

De esta manera, se logró identificar aquellos requisitos técnicos críticos para el éxito del modelo, asegurando su alineación con las expectativas.

Tabla 2

Requerimientos del cliente clave

Ponderación	Necesidades del cliente
8	Generar ubicaciones que permitan una mejor clasificación de los inventarios y mantener el orden de almacenamiento.
2	Encontrar la forma de medir la productividad de las personas en el picking
6	Tener ubicaciones destinadas para la colocación de ordenes preparadas hacia empaque.
8	Automatizar la forma actual que se hace los reabastecimientos de inventarios en las perchas picking
4	Agilizar la preparación, cumplimiento de órdenes y el reabastecimiento de inventario
4	Mantener los inventarios lo más cerca posible para facilitar el envío de pedidos.

En la Tabla 2, se muestra las calificaciones por el cliente en la escala del 1 al 10. En donde vemos que existe una alta importancia y preocupación por lograr la automatización parcial del proceso de reabastecimientos de inventarios. Por otro lado, al modelo también se le exige que se cubran las necesidades de generar ubicaciones estratégicas y establecer niveles óptimos de inventarios. Una vez clarificadas las necesidades primordiales por parte del cliente se procedió a establecer requerimientos funcionales claves que cubran las necesidades existentes. Por lo cual se menciona un listado de los requerimientos funcionales del modelo.

Tabla 3*Requerimientos técnicos del modelo de reabastecimiento*

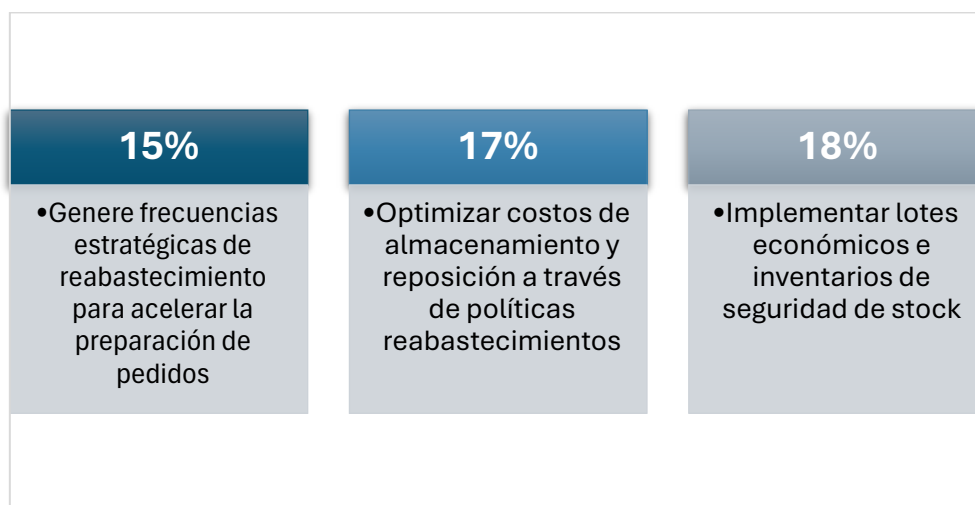
a)	• Generar alertas de tareas automáticas para pedidos de reabastecimiento.
b)	• Implementar lotes económicos e inventarios de stock de seguridad.
c)	• Realizar reposición de inventarios en tiempos cortos desde la generación del pedido hasta el reabastecimiento.
d)	• Optimizar costos de almacenamiento y reabastecimiento promedio por período.
e)	• Generar frecuencia de reabastecimiento estratégica para acelerar la preparación de pedidos.
f)	• Permitir el reabastecimiento eficiente alineado a la demanda y ajustado a las dimensiones de racks.

La Tabla 3, se muestra los requerimientos enlistados como potenciales especificaciones de diseño del modelo. Esta matriz de especificaciones se ubica en la parte superior de la casa de calidad, y se relaciona mediante el techo de la calidad. Se presenta 6 requerimientos potenciales, se selecciona los de mayor correlación con las necesidades del cliente. Estas especificaciones responden a las necesidades y requerimientos del cliente antes mencionadas. Existe una correlación que se mide por media de la matriz de ponderaciones en la cual se utilizó para la selección de las especificaciones que generan un mayor impacto en las necesidades del cliente. A continuación, se muestra la construcción de la casa de calidad Figura 3, en dónde se estructura la matriz de requerimientos y la matriz de especificaciones. Las relaciones se establecen por medio de ponderaciones según el nivel de relación directa o indirectamente y el porcentaje de prioridad de las necesidades del cliente. Estas especificaciones revelan y detallan aquellos objetivos que deben cumplirse para el diseño del proyecto.

Los requisitos técnicos se vinculan en una matriz de correlación con puntaje de 1,3 y 5 desde bajo hasta alta relación. La matriz de techo muestra la relación positiva y negativa entre requerimientos técnicos y cuales son más valorados por el cliente. De acuerdo con la casa de calidad se obtuvieron requerimientos funcionales de mayor importancia para el desarrollo del proyecto mostrados en la Figura 4.

Figura 4

Requerimientos técnicos del modelo



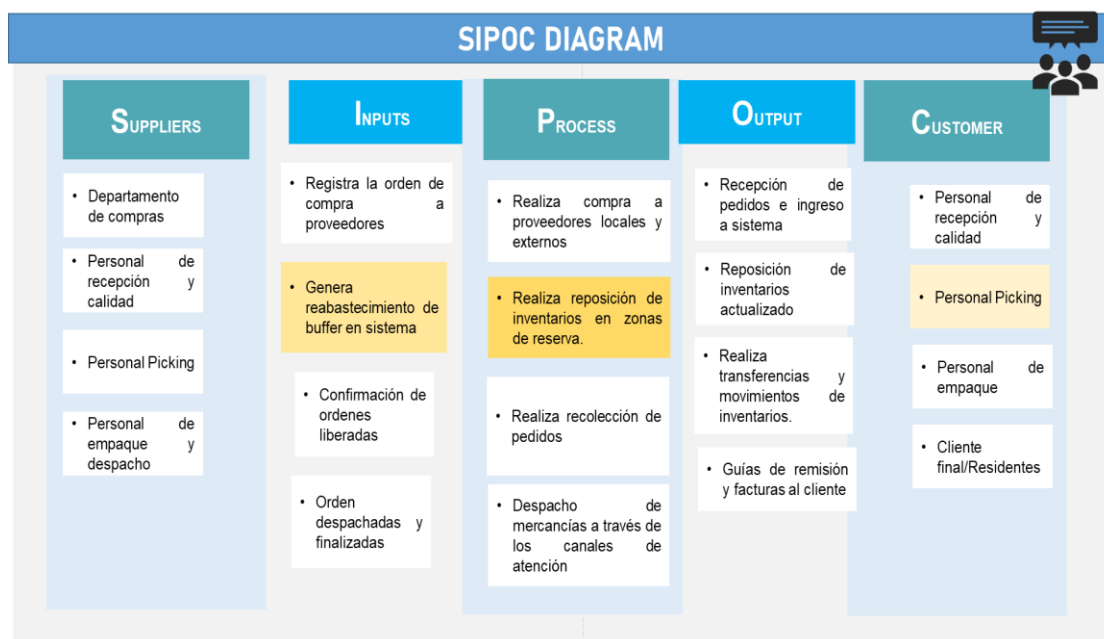
La Figura 4, muestra los requerimientos funcionales resultantes del modelo. Según la matriz de ponderación se permitió priorizar aquellos requerimientos que agrupaban el mayor porcentaje acumulado, con 50% lo que asegura la satisfacción del cliente.

2.1.4 Diagrama SIPOC

Para entender el contexto y encuadre del proyecto se usó la herramienta SIPOC con la finalidad de poner en conocimiento los procesos que se abarca, así como proveedores, entradas, salidas, así como sus clientes. En la Figura 5, se muestra el diagrama SIPOC donde se organiza de mejor manera la información del proceso con la finalidad de mostrar visualmente elementos relevantes y el flujo general del proceso. Los elementos resaltados son aquellos procedimientos y roles críticos del proceso analizado. El cliente son el personal de recepción y *picking*.

Figura 5

Diagrama SIPOC proceso actual reabastecimiento

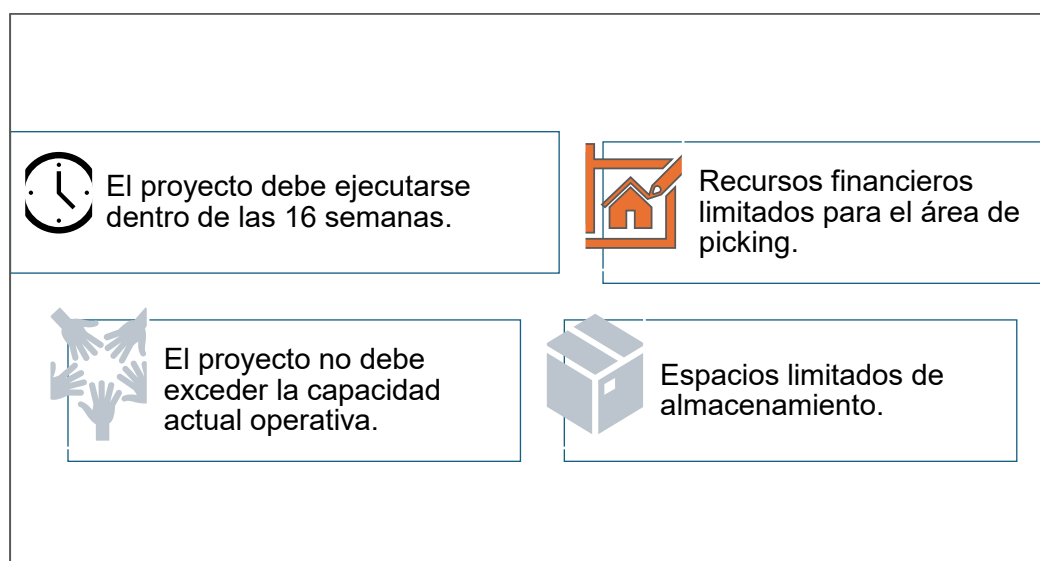


2.1.5 Restricciones del centro de distribución

Durante la ejecución del proyecto se presentaron las siguientes limitaciones que deben ser tomadas en cuenta para poder gestionarlas de manera efectiva.

Figura 6

Restricciones del centro de distribución



Nota: Existen más restricciones, pero a continuación se presentan las esenciales.

En la Figura 6, se realizó la cobertura propia del centro de distribución, así como a los encargados del proceso con la finalidad de identificar posibles restricciones en el desarrollo del modelo. Entre las cuales se mencionaron las siguientes que el proyecto debe ejecutarse dentro del periodo de 16 semanas, debido a procesos de expansión actualmente se tiene espacios limitados en la bodega. Se confía y se establece que únicamente se requiere la capacidad actual en el área, esto indica que no podremos aumentar operarios o adquirir algún tipo de software adicional solamente se permite trabajar con las herramientas al alcance de la empresa.

2.1.6 Declaración oportunidad

A partir de la información de las especificaciones del diseño. Se abrió una brecha de oportunidad para el desarrollo del presente estudio. Para la declaración de la oportunidad se hizo conveniente el uso de la herramienta 5W+2H, el cual permite una declaración clara, oportuna y lógica.

Tabla 4

Herramienta 5W 2H

¿Qué?	Falta de control en proceso de reabastecimientos de inventarios
¿Por qué?	Genera rotura de inventarios y variaciones de stocks en ubicaciones.
¿Cuándo?	Actual en los manejos y despachos de inventarios
¿Dónde?	En el área de picking del centro de distribución de Guayaquil.
¿Cómo?	Alta variabilidad de la demanda.
¿Cuánto?	Se generan sobrecostos de almacenamiento, demoras en la reposición de inventarios.

En la Tabla 4, se utilizó la herramienta 5W 2H para levantar información relevante para la declaración de oportunidad. A continuación, se redacta en el siguiente párrafo la declaración de oportunidad.

En el área de picking de un centro de distribución, la empresa se enfrenta a la constante necesidad de optimizar el proceso de reabastecimiento debido a la alta variabilidad de la demanda de productos y la compleja operación con grandes volúmenes de SKU. Esta situación genera efectos directos en la disponibilidad, los costos de almacenamiento y el exceso de inventario.

2.2 Medición

En esta sección se muestra la metodología y las técnicas para la recolección de datos principales para el diseño del modelo y se presenta las fuentes principales de la recolección de datos tanto del tipo cuantitativos como cualitativos. Además, el tiempo agenda establecido para la correcta recolección y validación de fuentes de variables. Estos datos muestran una guía y viabilidad del proyecto.

2.2.1 Plan de recolección de datos

Una vez que se definió y recolectó las principales necesidades del cliente las cuales fueron establecer y con objetivo es establecer un modelo de gestión de reabastecimiento óptimo para el área de *picking*. Se identificó fuentes de información relevantes, así como data histórica y la verificación de las fuentes de información. Así como las técnicas y métodos de recolección de información. La importancia es centrar esfuerzos en levantar y validar datos realmente importantes y que permiten cumplir con las especificaciones de diseño.

La Tabla 5, contiene el conjunto de variables a medir con nomenclatura que van desde x1 hasta la x8, estas describen y contienen principales aspectos específicos como lo son en costos de inventarios, nivel de inventarios y otros indicadores de gran relevancia para la implementación y permiten medir el alcance del modelo. El análisis es tan riguroso que muestra la relevancia de la variable, factores de medición, tipo de datos, define desde la primera etapa responsabilidades y duración estimada y validación de las diferentes variables a medir.

Tabla 5*Plan de recolección de datos*

	¿Qué es la medida?				¿Cómo obtenerlo?		¿Quién?	¿Cuándo?	¿Por qué?
	Descripción de la variable	Categoría	Unidad de medida	Tipo de datos	Método de recolección	Métodos técnicos	Responsable de	Duración estimada (en días)	¿Por qué es relevante?
X1	Demanda semanal	Inventarios	Unidades/semana	Discreto	Último semestre histórico	Identificar tendencias, estacionalidad, variaciones	Diego Satian/Coor. Recepción	2	Contribuye a determinar las políticas de inventario, la cantidad óptima de existencias
X2	Costos de mantenimiento de inventarios	Costos	Dólares (\$)	Continuo	Informar de los gastos de almacén	Análisis de costos de almacenamiento, inventarios de capital	Diego Satian/Gerente de la División de Centro	5	Ayuda a determinar las políticas de inventario.
X3	Costos unitarios de inventarios	Costos	Dólares (\$)	Continuo	Último semestre histórico	Precio medio de las existencias	Diego Satian	5	Variable para establecer políticas de reposición
X4	Días de permanencia de inventario	Tiempo	Días	Discreto	Informe de compra - ejemplo	Tiempo de reposición de lotes de productos	Diego Satian	5	Contribuir a determinar los días de tiempo de rotación
X5	Cantidad óptima de pedido	Cantidad	Unidades/artículos	Discreto	Recepción/Calidad	Cantidad para cada mes	Diego Satian	4	Determinar la cantidad óptima de pedido
X6	Exactitud en registro de inventario	Nivel	%	Continuo	Observación in situ/directa	Validación de cantidad WMS	Diego Satian	5	Establezca estándares y mejore la precisión de las métricas
X7	Kilogramos de material reciclado	Peso	Kg/mes	Continuo	Reciclaje de datos de peso	Muestra de 4 meses	Coordinador de inventarios	0	Establecer el peso reciclado promedio
X8	Índice de Satisfacción Laboral	Ordinal	(0-5)	Discreto	Observación in situ/directa	Encuestas de satisfacción de los empleados	Diego Satian	5	Analizar el nivel de satisfacción al final del estudio

2.2.2 *Confiabilidad de datos*

En el apartado de confiabilidad se establece las diferentes formas estadísticas pertinentes al alcance para la verificación y confiabilidad de los datos extraídos de las diferentes fuentes de información. Una fuente base de generación de información es el sistema ERP y demás reportes que se generan en el proceso diario de la empresa. La empresa cuenta con una amplia categoría de productos de comercialización por lo tanto la variabilidad de varias variables es influyente por los constantes movimientos de inventarios en el centro de distribución. A partir de la población objetivo, se trabajó con una muestra estadísticamente representativa. Se utiliza la expresión matemática (2.1) para la selección del tamaño de la muestra estadística.

$$n = \frac{Z^2 * p * (1 - p) * N}{e^2(N - 1) + Z^2(p * q)} \quad (2.1)$$

p: Proporción de población con características de estudio = 0,90

1-p: Proporción de población sin características de estudio = 0.10

e: Error permitido = 10%

N: tamaño de la población

Z: número de desviaciones estándar que una proporción dada está lejos de la media (Nivel de confianza del 90%)

Dada el objetivo de la proporción de estudio es 90%, con un nivel de confianza del 90%. Para todas las variables de estudio se procederá a utilizar esta ecuación. Las fuentes de información son aquellas que administren el sistema de bodega, registros de mercancías, reportes de métricas y otros documentos comerciales válidos para el análisis de la diferente información a recopilar.

2.2.3 *Demanda semanal*

Se inicio la recopilación de la data histórica de la demanda desde el inicio del 2025. Para ello se incurrió a la base de datos de las órdenes confirmadas y que se mantienen en el

registro de módulos de ventas. Con un tamaño de la muestra de 64 obtenida aplicando la ecuación (2.1), se inició la recopilación de las órdenes que se muestran a continuación. Estas muestras son órdenes despachadas durante los meses de enero, febrero, marzo y abril del 2025. A continuación, en la Tabla 6 se tiene la lista de las órdenes que se recopilara para la verificación de información. En la recolección de muestras se levanta información de las fuentes de documentación como lo son las guías de remisión, facturas y documentos que validen el SKU y la cantidad que egreso de la bodega.

Tabla 6

Órdenes despachadas durante 2025

Enero	Febrero	Marzo	Abril
004_SO_100243	004_SO_90895	004_SO_86995	004_SO_100769
004_SO_100246	004_SO_91058	004_SO_88076	004_SO_100922
004_SO_100274	004_SO_91101	004_SO_88835	004_SO_100965
004_SO_100307	004_SO_91361	004_SO_89289	004_SO_101021
004_SO_100323	004_SO_91604	004_SO_89893	004_SO_101098
004_SO_100330	004_SO_91784	004_SO_90303	004_SO_101105
004_SO_100341	004_SO_92140	004_SO_90488	004_SO_101158
004_SO_100372	004_SO_92153	004_SO_90774	004_SO_101165
004_SO_100387	004_SO_92255	004_SO_91156	004_SO_101169
004_SO_100401	004_SO_92282	004_SO_92218	004_SO_101380
004_SO_100410	004_SO_90284	004_SO_92648	004_SO_101392
004_SO_100427	004_SO_90309	004_SO_93558	004_SO_101702
004_SO_100446	004_SO_90419	004_SO_94150	004_SO_101783
004_SO_100128	SRO/20895	004_SO_97171	004_SO_101808
004_SO_100201	SRO/20897	004_SO_97222	004_SO_101836
004_SO_100213	SRO/20901	004_SO_97344	004_SO_101840

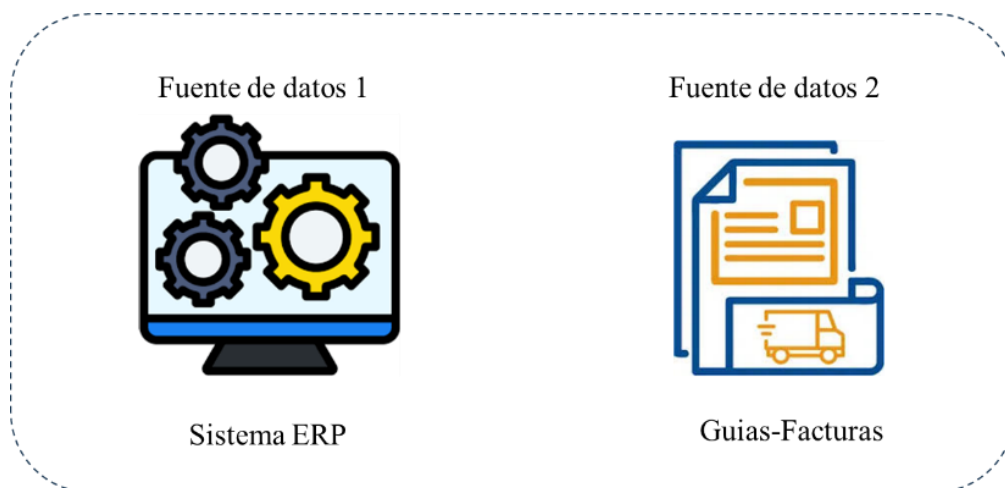
Las muestras fueron seleccionadas aleatoriamente y que fueron despachadas en los meses descritos en cada fila.

Para realizar la respectiva verificación de datos obtenidos del sistema, se inició la recolección de las fuentes de documentación de guías de remisión. Se realizó el registro respectivo de las muestras obtenidas de las guías de remisión para la comparación de varianzas de fuentes de datos diferentes obteniendo a continuación los siguientes resultados.

Dado que los datos mostraban una distribución no normal, se aplicó el método de Bonett y Levene para evaluar la homogeneidad de las varianzas debido a la robustez frente a desviaciones de normalidad.

Figura 7

Fuentes de datos verificación de variable demanda semanal



Una vez concluido el proceso de recolección de muestras de datos se procedió a realizar las respectivas pruebas estadísticas para la confiabilidad de datos de la variable de la demanda semanal. La Figura 7, muestra la fuente de datos donde se obtuvieron los valores descritos a continuación.

Tabla 7

Comparación estadística mediante Bonett y Levene

Método

σ_1 : desviación estándar de Demanda sistema

σ_2 : desviación estándar de Demanda muestra

Relación: σ_1/σ_2

Los métodos de Bonett y Levene son válidos para cualquier distribución continua.

Tabla 8

Estadística descriptiva variable demanda sistema vs. muestra

Estadísticas descriptivas				
Variable	N	Desv. Est.	Varianza	IC de 95% para σ
Demanda sistema	1143	454.758	206804.530	(367.279, 564.039)
Demanda muestra	64	248.831	61916.924	(155.215, 410.401)

Se presenta la descripción en la Tabla 8 de las muestras comparadas de las variables. Donde además se presentan intervalos de confianza para la estimación de la desviación estándar. A continuación, se tiene la prueba estadística en la Tabla 9, para la comparación de varianzas con un nivel de significancia de 5%.

Tabla 9

Prueba estadística de varianza

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$
Hipótesis alterna	$H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

En la Tabla 10, se tiene la recopilación de los resultados de la prueba estadística realizada, mediante el método de Bonett, Levene.

Tabla 10

Resultado prueba de varianzas

Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
Bonett	*			0.200
Levene	0.20	1	1211	0.653

El valor p obtenido en las pruebas de homogeneidad de varianzas por método Bonett 0.20 y Levene de 0.653 indican un umbral superior al nivel de significancia planteado para esta prueba, por lo que se acepta la hipótesis nula que asume igualdad de varianzas.

2.2.4 Costos mantener de inventarios en centro de distribución

Para determinar el costo de mantener inventario solo se utilizó el factor de costo capitalizable que es aquel recurso económico utilizado para adquirir inventarios o productos que servirán en algún momento para una potencial venta y cubrir un pedido.

De acuerdo con el costo capitalizable se hace referencia los efectos de operar estos mismos recursos en otras oportunidades de inversión en el país. Para obtener una tasa de rendimiento de estos recursos se tuvo que recurrir a información de las tasas de inversión vigentes de la banca en el Ecuador.

Según datos de Cuentas e inversión (2025), página web del Banco Guayaquil, la tasa de póliza e inversión es de 5.15% anual. Esta tasa se utilizará como referencia para determinar el costo de almacenamiento. Para ello se tendrá que convertir a una tasa efectiva semanal descrito a continuación.

$$Tasa\ semanal = (1 + tasa\ anual)^{\frac{1}{52}} - 1 \quad (2.2)$$

$$Tasa\ semanal = (1 + 0.0515)^{\frac{1}{52}} - 1 \quad (2.3)$$

$$Tasa\ semanal = 0.000956 \approx 0.01\% \quad (2.4)$$

A partir de esta tasa de inversión semanal de 0.01% usando la ecuación (2.4), se obtiene la rentabilidad de operar. En otras palabras, citando un ejemplo por cada unidad que tenga un costo de alrededor de \$100 tendría un costo de 0.01 centavo de dólar que la empresa tiene que costear. A continuación, se muestra el complemento de cálculo.

$$Costo\ mantener\ Inventario = H(I_{prom}) \quad (2.5)$$

La ecuación (2.5), muestra el cálculo para obtener el costo de mantener inventarios. Primero debemos tener el promedio de inventarios para ello se muestra el siguiente cálculo.

$$I_{prom} = \sum (inventario_1 + inventario_2)/2 \quad (2.6)$$

$$I_{prom} = \sum (10,170 + 14,051) /2 \quad (2.7)$$

$$I_{prom} = 12,110.51 \quad (2.8)$$

$$H = 368.18 \text{ USD/Unidad} * 0.001 \text{ USD/semana} \quad (2.9)$$

$$H = 0.0368 \frac{\text{USD}}{\text{unidad} * \text{semana}} \quad (2.10)$$

Una vez establecido el costo de mantener unitario, conforme a lo indicado en la ecuación (2.10), durante el periodo de análisis, se debe calcular el costo total para el inventario por SKU de la bodega. Para ello utilizamos el nivel promedio de inventario, según la ecuación (2.8), registrados y validados durante marzo y abril.

Ahora se calculó el costo de mantener inventario reemplazando datos en la ecuación (2.5). Por lo que se ha obtenido resultado para la variable costo de mantener inventarios, según la ecuación (2.12).

$$\text{Costo mantener Inventario} = 0.0368(12,110) \quad (2.11)$$

$$\text{Costo mantener Inventario} = 445.65 \text{ USD/semanal} \quad (2.12)$$

2.2.5 Costos unitarios inventarios

Dentro de las operaciones de la bodega se debe mantener niveles de inventario acorde a satisfacer la demanda de los diferentes periodos. En este apartado se analiza el costo asociado de inventarios. En la Tabla 11, se indica una muestra de artículos que fueron seleccionados a partir de un tamaño de muestra 10 con la ecuación (2.1). Se inicio la recolección de la información para la información en la Tabla 11, se encuentra la descripción

del producto, así como el nombre del proveedor y la ciudad de procedencia. De igual manera la respectiva codificación que es clave para la búsqueda de información en los sistemas wms y recopilación física de información.

Tabla 11

Muestra de artículos para verificar costos unitarios

Número factura	Fecha recepción	Ciudad - Prov.	Proveedor - AN8	Código	Artículo
00100100	4/30/2025	GUAYAQUIL	PROVEEDOR - 84488	F981899	FALDON ORNAMENTAL 0.55 MTS
001002000	4/30/2025	CUENCA	PROVEEDOR CIA.LTDA. - 50303	T694901	TUBO PRES 90mmx6M 0.63MPA
00100100004	4/29/2025	QUITO	PROVEEDOR S.A. - 58446	C260525	CABLE Cu XLPE TR 15KV 500 MCM
NE 25004689	4/29/2025	MEXICO DF	PROVEEDOR - 64846	E901099	ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA
NE 25004618	4/29/2025	SHANTOU	PROVEEDOR CO., LTD - 21000	G970805	GENERADOR 3F CABINADO TB70LS
NE 25004618	4/29/2025	SHANTOU	PROVEEDOR CO., LTD - 21000	G971001	GENERADOR 3F TB300LS ABIERTO
NE 25004618	4/29/2025	SHANTOU	PROVEEDOR CO., LTD - 21000	G971101	GENERADOR 3F TB300LS CABINADO
NE 25004618	4/29/2025	SHANTOU	PROVEEDOR CO., LTD - 21000	G971290	GENERADOR 3F TB220LS CABINADO
NE 25004618	4/29/2025	SHANTOU	PROVEEDOR CO., LTD - 21000	G971744	GENERADOR 3F TB500LS CABINADO
NE 25004618	4/29/2025	SHANTOU	PROVEEDOR CO., LTD - 21000	G971904	GENERADOR 3F TC70LS CABINADO
NE 25004618	4/29/2025	SHANTOU	PROVEEDOR CO., LTD - 21000	G971936	GENERADOR 1F CABINADO TB35LS

A partir de la muestra seleccionada mostrada en la Tabla 11, se inicia con las pruebas estadísticas para comparar las desviaciones estándar entre el grupo seleccionado de costos unitarios del sistema, y las muestras de documentos Proformas, que son documentos comerciales validos que certifican los costos unitarios.

Tabla 12

Método de la prueba estadística para Costo wms vs. Costo Pro

Método
σ_1 : Desviación estándar de la unidad Costo_WMS
σ_2 : Desviación estándar de la unidad Costo_PRO
Relación: σ_1/σ_2
Los métodos de Bonett y Levene son válidos para cualquier distribución continua.

En la Tabla 12, se muestra el método utilizado para comparar la desviación estándar entre los grupos de costos seleccionados del sistema wms y su respectiva verificación de documentos proformas. Se escogió el método Bonett y Levene debido que los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 13

Datos descriptivos de la variable Costo wms y Costo Pro

Estadística descriptiva				
Variable	N	Desv. Est.	Varianza	IC de 95% para σ
Unidad Costo_WMS	100	100.206	10041.155	(72.145, 141.962)
Unidad Costo_PRO	10	89.036	7927.494	(66.542, 121.542)

En la Tabla 13, se muestra los datos descriptivos de las variables analizadas. A partir de estos resultados se aplica la prueba estadística.

Tabla 14

Resultado prueba estadística variable costo unitario

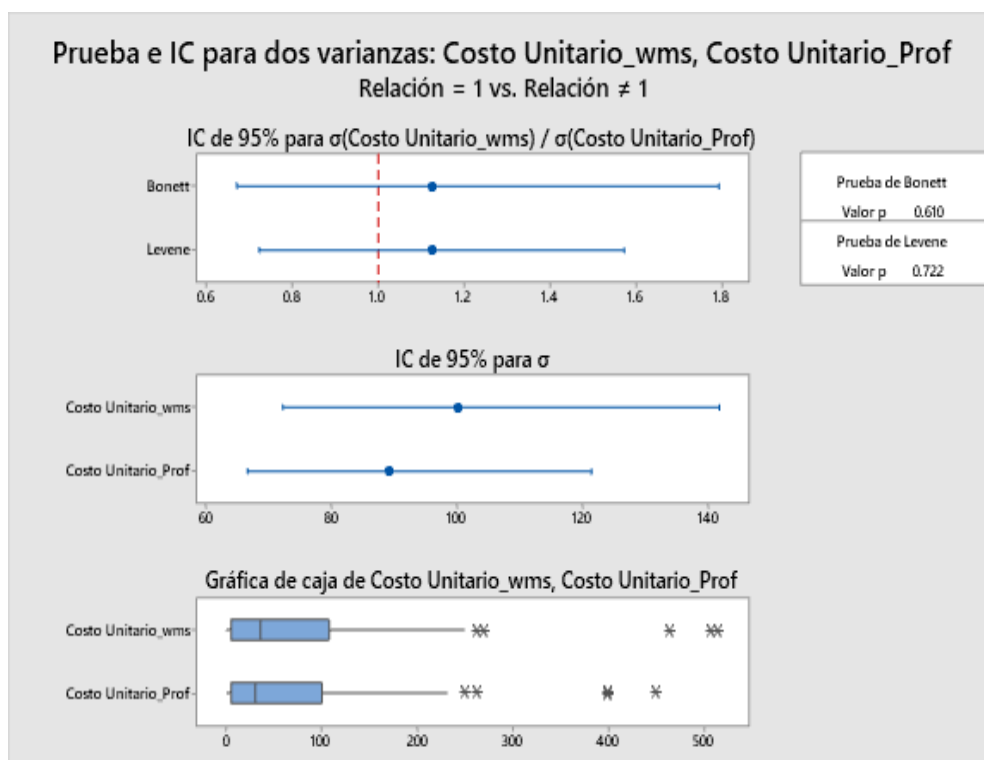
Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
Bonett	*			0.610
Levene	0.13	1	197	0.722

En la Tabla 14, se muestra los resultados de las pruebas de varianza para detectar si las dos muestras analizadas difieren en sus datos. Para ello se analizaron las muestras obtenidas del sistema WMS de la empresa en comparación con la documentación de facturas de proveedores y cotizaciones de otros proveedores locales o extranjeros obteniendo los costos de productos con características iguales.

El resultado estadístico arroja un valor p de 0.610 y 0.722, ambos valores obtenidos difieren significativamente de la referencia de significancia de 0.05 por lo que se acepta la hipótesis nula que indica que no existe diferencias en la homogeneidad de los datos analizados.

Figura 8

Análisis estadístico de comparación de varianza



En la Figura 8, se muestra las variaciones de los datos analizados para las pruebas de Bonett y Levene. Ambos valores de las pruebas tienen valores altos por lo que no existe evidencia suficiente para afirmar que las varianzas difieren de las muestras analizadas. Por lo cual la variable costos unitarios demuestra confiabilidad con un nivel de confianza de 95%.

2.2.6 Tiempo de inventarios pendientes

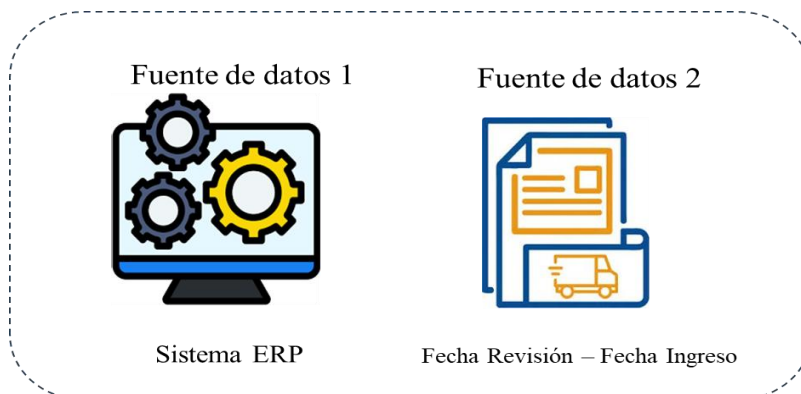
En este apartado se realiza la medición para la obtención de indicador logístico de relevancia para medir los días de permanencia de un inventario en percha **DOI**, este acrónimo son las siglas de “*Day Outsourcing Inventory*”. Este indicador es muy importante puesto que nos permite tener alertas sobre la duración de inventarios en bodega. Es decir, si un SKU lleva más del tiempo promedio global en percha genera alerta que puede llegar a convertirse en un producto obsoleto y por lo cual pierde características de calidad. Las pérdidas de características de calidad en productos y equipos eléctricos representan un enorme riesgo a la seguridad operativa por lo que es importante para la empresa mantener estándares altos de calidad logrando disminuir este indicador mejorando la rotación del producto.

$$DOI = 1 - \frac{\text{antigüedad item}}{\text{Tiempo promedio antigüedad total inventario}} \quad (2.13)$$

La ecuación (2.13), muestra la expresión matemática que representa el tiempo de permanencia de un ítem en las áreas de bodega, es decir, desde que se recibe en la recepción por parte de los proveedores hasta su momento de revisión en ubicación. Para el análisis partimos de la hipótesis de que existen diferencias entre el total de líneas disponibles en bodega. Se realiza la gráfica de dispersión del tiempo de antigüedad que se mantiene.

Figura 9

Fuente de datos variable tiempo permanencia



En la Figura 9, se tiene las fuentes de extracción de datos para verificar la confiabilidad de la variable del tiempo de permanencia de un determinado ítem en las perchas de *picking* para esto se inicia con la recolección de la información necesaria, de un listado de 99 SKU tamaño obtenido de la ecuación (2.1). A partir de esta información, se estableció el método de validación de los datos.

Tabla 15

Método de la prueba estadística para tiempo de permanencia de inventarios

Método
σ_1 : Desviación estándar Tiempo permanencia WMS
σ_2 : Desviación estándar diferencia Tiempo revisión
Relación: σ_1/σ_2
Los métodos de Bonett y Levene son válidos para cualquier distribución continua.

En la Tabla 15, se identifica el método de resolución de la prueba estadística. Estas variables una vez analizadas se demostró que constituyen una distribución no normal por lo cual se requiere el uso técnico como el método Bonett y Levene por su robustez fortalecen el análisis en condiciones donde no se cumple los supuestos de normalidad.

Tabla 16

Estadística descriptiva de la comparación de tiempos de permanencia

Estadística descriptiva				
Variable	N	Desv. Est.	Varianza	IC de 95% para σ
Tiempo Anta.	93	125.327	15706.858	(99.528, 161.210)
Diferencia	93	100.124	10024.731	(85.447, 119.847)

En la Tabla 16, se muestra los valores descriptivos de la variable tiempo de permanencia en perchas. De igual manera se presenta en la Tabla 17, el método aplicado para la comparación de las varianzas entre las variables Tiempos de permanencia.

Tabla 17*Resultados de la prueba de Bonett y Levene*

Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
Bonett	1.92	1		0.165
Levene	2.05	1	184	0.154

En la Tabla 16, se muestra los valores descriptivos de la variable tiempo de permanencia en perchas. De igual manera se presenta en la Tabla 17, el método aplicado para la comparación de las varianzas entre las variables Tiempos de permanencia.

Tabla 17, obtenidos mediante las pruebas estadísticas indican que no existe diferencias significativas en las muestras analizadas. Lo que indica que se acepta la hipótesis nula con valor p mayor al de significancia con nivel de confianza del 95% de los datos.

2.2.7 Cantidad de reabastecimiento inventarios

Para la validación de la variable de cantidad de reabastecimiento de inventario se generaron las órdenes de compra dependiendo de las líneas de productos que se necesitaron abastecerse. Esta recolección se realizó en el área de recepción de acuerdo con el plan de recolección de datos. Los tiempos de entregas varían dependiendo del producto y distancia del proveedor. Se presenta el análisis para consistencia de datos de las cantidades actuales de reabastecimientos. En el área de recepción se levantó la siguiente información acerca de la cantidad recibidas durante marzo y abril. El cálculo del tamaño de la muestra se utilizó la ecuación (2.1).

$$n = \frac{1.64^2 * 0.50 * 0.50 * 1600}{1600 * 0.10^2 + (1.64^2 * 0.25)} \quad (2.14)$$

$$n = \frac{1080}{16,675} = 65 \quad (2.15)$$

De una muestra población de tamaño de 1600 SKU pedidos realizados en los dos meses. Mediante la aplicación de la ecuación (2.14) se obtiene el tamaño de una muestra representativa de 65, los cuales se realizó una elección aleatoria.

Tabla 18

Verificación de la cantidad en proceso de reabastecimiento

Artículo	Fecha orden	Unidad negocio	Número documento	UM	Cantidad recibida	Conteo físico
DUCTO BARRA FEEDER 2500A	4/30/2025	INEMATRIPT	168079	MT	57	57
DUCTO BARRA PLUG IN 2500A	4/30/2025	INEMATRIPT	168079	MT	13	13
DUCTO BARRA CODO HOR 2500A	4/30/2025	INEMATRIPT	168079	UN	2	2
DUCTO BARRA CODO VER 2500A	4/30/2025	INEMATRIPT	168079	UN	3	3
DUCTO BARRA EXTREMO 2500A	4/30/2025	INEMATRIPT	168079	UN	1	1
DUCTO BARRA TAPA FINAL 2500A	4/30/2025	INEMATRIPT	168079	UN	1	1
DUCTO BARRA PLUG IN CAJA 250A	4/30/2025	INEMATRIPT	168079	UN	2	2
DUCTO BARRA SOPORTE VERTICAL	4/30/2025	INEMATRIPT	168079	UN	81	80

Se utilizó el formato de registro de la Tabla 18, de la cantidad de reabastecimiento durante las fechas previstas según la columna fecha orden. Las verificaciones se aprobaban acuerdo al finalizar el control de calidad de producto. A continuación, se recurrió a prueba no paramétrica Mann-Whitney, con estadístico de prueba de rangos Wilcoxon.

En la Tabla 19, se tiene el método estadístico para la comparación de medianas debido a que los datos recolectados no siguen una distribución normal se procede a usar pruebas no paramétricas.

Tabla 19

Método de la prueba estadística No paramétrica

Método
η_1 : Mediana del total general
η_2 : Mediana del total muestra
Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

En la Tabla 20, se presenta el resumen estadístico de la variable cantidad recibida y la correspondiente muestra. Se observa que las medias no difieren significativamente entre sí.

Tabla 20

Estadística descriptiva variable Cantidad de reabastecimiento

Estadística descriptiva		
Muestra	N	Medio
Total, general	1604	53
Muestra total	67	50

En la Tabla 20, se muestra el resumen de la variable analizada. La muestra seleccionada a partir de la población del sistema de información. De igual manera, en la Tabla 21, se muestra la diferencia de las estimaciones realizadas para las medianas, la prueba realizada con un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 21

Estimación de la diferencia de medianas

Estimación de la diferencia		
CI de diferencia para la confianza de diferencia lograda		
3	(-3, 18)	95.00%

En la Tabla 22, se tiene el método de la prueba estadística realizada que es la diferencia de medianas entre los dos grupos.

Tabla 22*Prueba realizada para comparación***Prueba**

 Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

 Hipótesis alternativa $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

En la Tabla 23, se resumen los resultados aplicados para pruebas No paramétricas a través del método Wilcoxon el cual es de importancia para datos con distribución no normal. Se obtuvieron valor p, mayor al valor de significancia por lo cual no hay evidencia que me permita rechazar hipótesis nula, por lo que se concluye que la variable cantidad de reabastecimiento muestra confiabilidad en sus valores.

Tabla 23*Resultados de la prueba no paramétrica*

	Valor del método W	valor p
No ajustado por sorteos	1345012.50	0.293
Ajustado por sorteos	1345012.50	0.293

En la Tabla 23, se muestra W la magnitud del estadístico analizado que representa la suma de los rangos de los conjuntos comparados. El valor p, de 0.293 ajustado para empates indica que no existe evidencia suficiente para rechazar hipótesis nula, lo cual el método de la prueba se estableció en la Tabla 22. Por lo que se concluye con el valor p, que no existe diferencias entre los grupos analizados, es decir son datos confiables con 95% nivel de confianza.

2.2.8 Nivel de exactitud de inventario

Para asegurar una correcta distribución de inventarios en el proceso de reabastecimiento es necesario medir el nivel de exactitud, esto es relacionar la cantidad registrada en sistemas de información sea igual con el inventario físico en perchas.

Para lograr este objetivo es necesario recurrir al indicador ERI, cuales siglas significan “Exactitud en Registro de Inventarios”. Como primer punto se inicia con la descarga del registro de inventarios en sistema WMS. A partir de contar con una fuente de datos principal el siguiente paso es como el propio nombre de indicador menciona verificar inventario físico. Es de vital importancia conocer el grado de exactitud del inventario en registros con el inventario físico. Esto mejora sustancialmente la satisfacción del cliente y permite evitar mantener sobre stocks.

El indicador ERI en la ecuación (2.16) permite detectar inconsistencias de inventario y medir el grado de exactitud como efecto del modelo actual que se implementa. A continuación, se describe la expresión matemática para este indicador.

$$ERI = \sum \frac{\text{inventario}_{wms} - \text{inventario}_{físico}}{\text{total_inventarios}} \times 100 \quad (2.16)$$

Del sistema wms de la empresa se obtuvieron un total de 1960 ubicaciones registradas en sistema para lo cual se seleccionó una muestra representativa, resultado de aplicar la ecuación (2.1), al reemplazar los datos en la fórmula tal como se muestra en la ecuación (2.17).

$$n = \frac{1.96^2 * 0.50 * 0.50 * 1960}{1960 * 0.08^2 + (1.96^2 * 0.25)} \quad (2.17)$$

$$n = \frac{1316.904}{13.504} = 100 \quad (2.18)$$

A partir de la muestra del sistema de inventarios $n=100$ según resultado de la ecuación (2.18), se procedió a la verificación física. En la Tabla 24, se muestra el formato utilizado para la verificación física de inventarios. En el formato se observa que en la columna de IQ muestra la cantidad representada en el sistema de información y el registro del conteo físico según código y ubicación del producto se lo realiza en la columna de cantidad física.

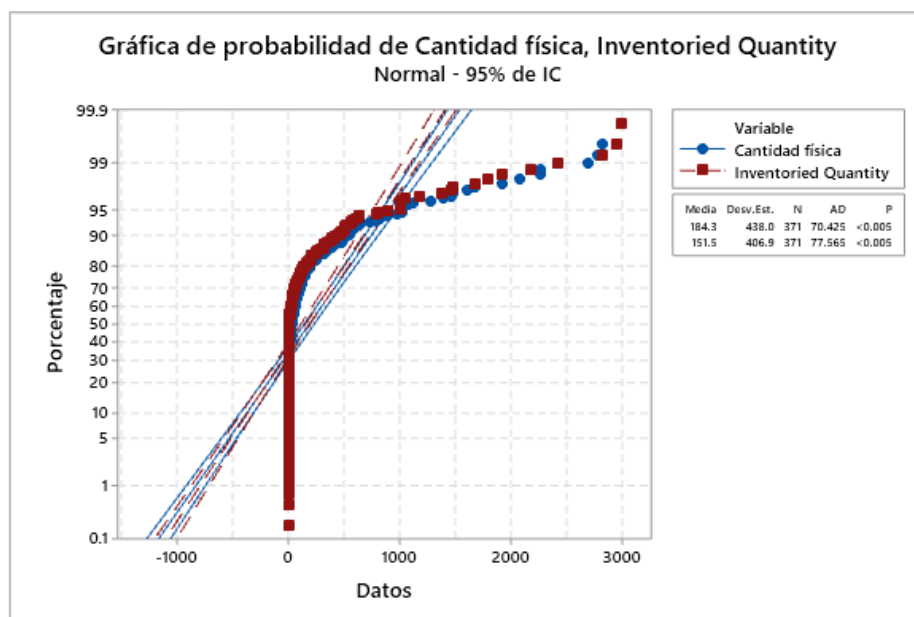
Tabla 24

Formato para el registro de inventario físico

Etiquetas de fila	Ubicación	Cantidad física	Cantidad inventariada
A010303	EMPPT/Stock/G1/PLM/101-B03	168	0
A010402	EMPPT/Stock/G1/ALT/101-D03	487	500
A012099	EMPPT/Stock/G1/MED/101-C03	4	0

Figura 10

Distribución de probabilidad de Inventario WMS y físico



Una vez concluida con la verificación y conteo total de la muestra, se procede al análisis de los datos. Se verifica si las variables analizadas siguen una distribución normal con valor p . El valor $p < 0.005$ en la Figura 10 indica que los datos no siguen una distribución normal por lo que usa la alternativa para pruebas No paramétricas utilizando el método

Mann-Whitney, partiendo de una prueba de las medianas.

En las pruebas No paramétricas se aplican la diferencia de medianas según la Tabla 25. Se analizaron dos grupos de muestras de la cantidad obtenidas del sistema wms, que corresponde a la cantidad inventariada y cantidad física del inventario.

Tabla 25

Pruebas No paramétricas

Método

η_1 : mediana de Cantidad física

η_2 : mediana de Cantidad Inventariada

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

En la Tabla 26, se tiene la prueba de la hipótesis correspondiente diferencia de medianas en la prueba no paramétrica.

Tabla 26

Prueba de hipótesis

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

En la Tabla 27, se muestra el resumen de las pruebas no paramétricas aplicada.

Tabla 27

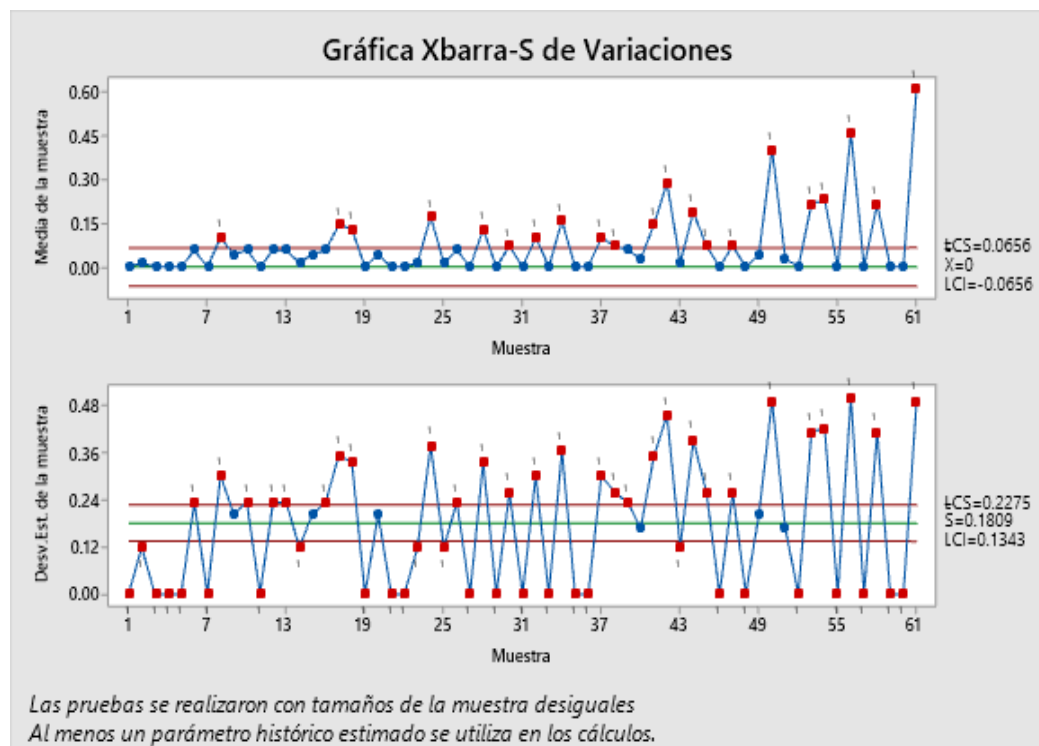
Resultados de la prueba no paramétrica

	Método W	Valor p
No ajustado para empates	150585.50	0.000
Ajustado para empates	150585.50	0.000

Al analizar el resultado en la Tabla 27, las muestras de las variables mostradas en el método se tiene *p-value* 0.000 lo que indica que las pruebas difieren significativamente entre el conteo realizado del sistema con el conteo físico.

Figura 11

Carta de control Xbarra-S variable conteo físico



Una vez concluida el registro total de las 100 muestras el resultado Figura 11, muestra variaciones por encima de los límites superiores permitido. Los puntos de color rojo indica muestras que están fuera de los límites de control, lo cual es un indicativo de variabilidad en la verificación de conteo de inventarios. Existen 21 puntos fuera de los límites del total de las 61 muestras con lo que representa el 35% de variaciones, por lo que el actual indicador ERI se registra en 65%.

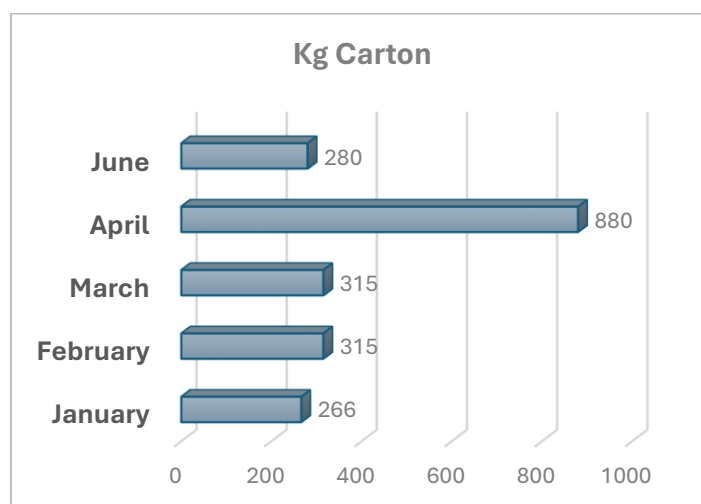
2.2.9 Kilogramos de material reciclado

En este apartado, se tiene la recopilación de datos de la variable de sostenibilidad, factor ambiental representada en el proyecto. Por lo cual mediante esta variable se estableció el impacto positivo el cual al implementar modelo de reabastecimiento aplicar y así poder evitar el impacto de emisiones de carbono del material cartón reciclado. Este enfoque resulta de establecer niveles óptimos de inventarios.

Para el inicio de la recolección se tiene el peso en Kg de material reciclado generado por varios meses de operación a partir del inicio del 2025 en el área de *picking*.

Figura 12

Kilogramos de cartón reciclado meses 2025



En la Figura 12, se tiene la cantidad de material reciclado en kg durante últimos meses. A partir del presente consumo se realiza el cálculo para obtener el impacto de la huella de carbono debido a las operaciones de bodega.

Tabla 28

Cálculo de la huella de carbono cartón reciclado

Mes	Cartón recolectado (kg)	Factor de emisión (kg CO ₂ e/kg)	Huella de carbono (kg CO ₂ e)
Enero	266	0.326	399
Febrero	315	0.326	472.5
Marzo	315	0.326	472.5
Abril	880	0.326	1320
Junio	280	0.326	420
Total	2056		3084

En la Tabla 28, se muestra el cálculo para obtener el impacto de la huella de carbono. El factor de emisión esta dado según Lauren Vandepauer (2024), por 0.326 en por lo que en este tipo de materiales de empaque se tiene un impacto de 3.08 tonelada de Co2 emitidos a la

atmósfera durante estos meses de operaciones. Un promedio de 620 kg CO₂ emitidos mensual sin algún control específico.

Se considerarán las medidas necesarias para la reducción del impacto ambiental con el nuevo modelo de reabastecimiento implementado.

2.2.10 Índice de satisfacción laboral

En el ámbito de relación laboral, se realizó encuestas para calificar cualitativamente el grado actual de satisfacción del entorno laboral. Para ello se seleccionó un grupo de colaboradores para medir el nivel de satisfacción en entorno normal de trabajo en el área *picking*. La métrica evalúa factores como metodología del trabajo, liderazgo del área, oportunidades de desarrollo y capacitación, satisfacción del puesto y tareas ejercidas del área. A partir de la muestra representativa se escogió un nivel de confianza de 90%, total de colaboradores de *picking* de 20, error del 10%, proporción del 50% de características esperadas.

$$n = \frac{1.645^2 * 0.50 * 0.50 * 20}{20 * 0.1^2 + (1.645^2 * 0.25)} \quad (2.19)$$

$$n = \frac{13.50}{0.20 + (0.675)} = 14.85 \quad (2.20)$$

A partir de la selección de la muestra de 15 colaboradores, se utilizó la encuesta en sitio como herramienta de recolección de información. Y como herramienta matemática para el desarrollo y respuesta de la métrica se utilizó la ecuación (2.21).

$$job\ satisfaction\ Index = \frac{1}{p * t} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^t CantNivel_{ij} \quad (2.21)$$

La ecuación (2.21) describe la medición del índice de satisfacción, en donde j representa los 5 niveles de satisfacción que van desde una escala del nivel 1 al nivel 5, tal como se muestra en la Tabla 29. El índice i , representa los 4 factores en los cuales se indagó que se describirá a continuación.

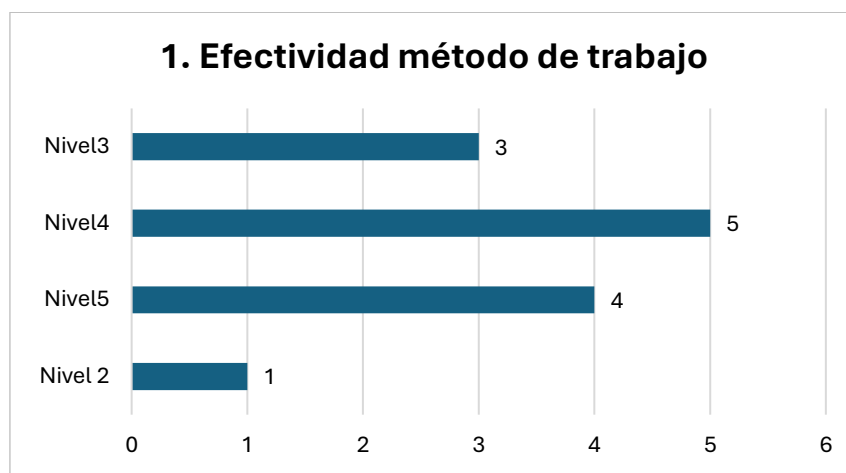
Tabla 29

Escala Likert para encuesta satisfacción laboral

Muy poco acuerdo	Poco de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5

Figura 13

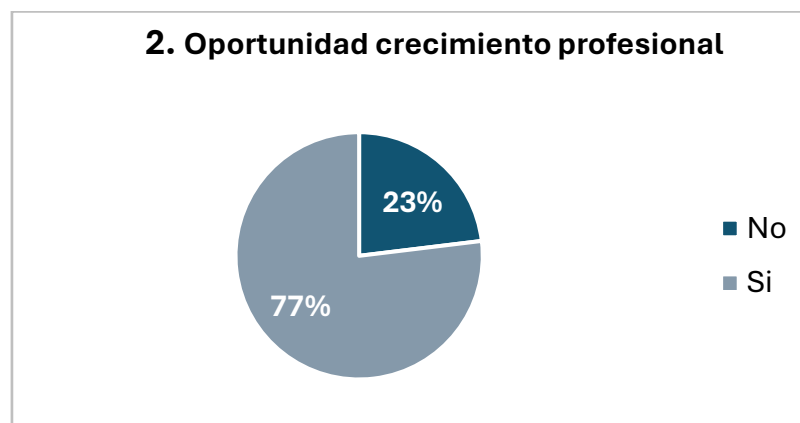
Efectividad metodología de trabajo picking



En la Figura 13, se muestra los resultados obtenidos en la encuesta donde se realizó la primera pregunta realizada sobre la efectividad sobre método de trabajo y se muestra los resultados obtenidos.

Figura 14

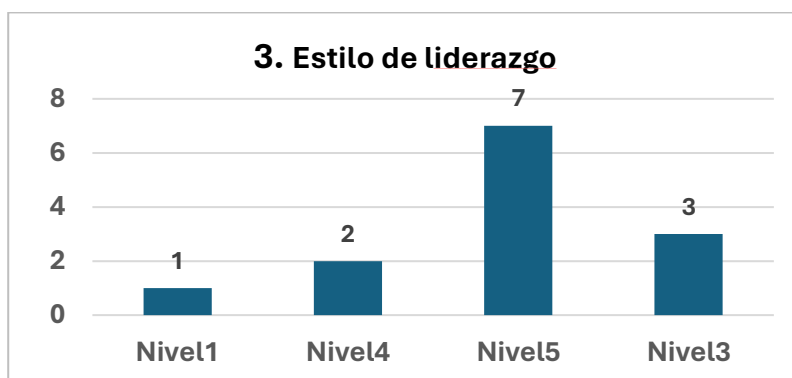
Oportunidad desarrollo profesional y capacitación



En la pregunta 2, de la encuesta realizada, se recopiló información clave sobre la percepción de adquirir desarrollo profesional laboral que se pueden obtener en el trabajo que se está realizando. Los resultados indican que alrededor del 77% de los colaboradores han sentido que existen oportunidad de desarrollo, lo cual indica una brecha significativa para mejorar el estándar actual de este factor.

Figura 15

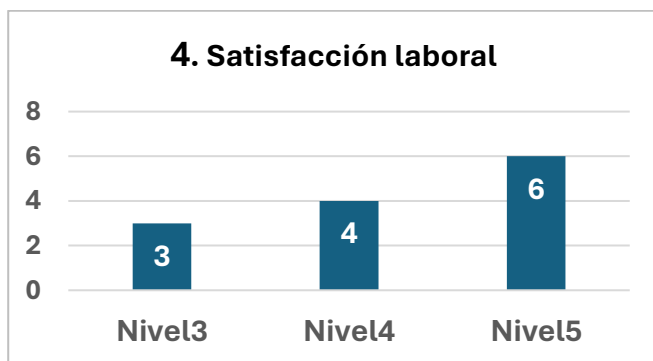
Eficiencia en el estilo de liderazgo



En la pregunta 3, se indagó sobre el impacto del estilo de liderazgo por parte de su superior inmediato en el trabajo realizado y la convivencia laboral. Se observa mayormente un impacto positivo del liderazgo sobre la motivación y además de oportunidades de apoyo y mejora en el estilo de trabajo. Mas allá no se da por satisfecho en cuanto a esta dimensión y existe una brecha de mejora.

Figura 16

Resultados de la encuesta satisfacción laboral



Esta última pregunta tiene información sobre la aceptación por parte de los trabajadores sobre los productos y procesos que se están realizando y sirviendo al cliente final. Actualmente se encuentran satisfechos por la tecnología implementada y la calidad de productos que se comercializa. Reflejan un gran optimismo sobre los productos que se despachan y una pequeña brecha de mejorar esta percepción.

El resultado promedio total sobre todas las dimensiones estudiadas, indica que actualmente se tiene un nivel de satisfacción laboral aplicado la ecuación (2.21). El nivel de satisfacción laboral inicial indica un nivel de satisfacción promedio de 4.08 sobre nivel límite de 5 previamente analizado.

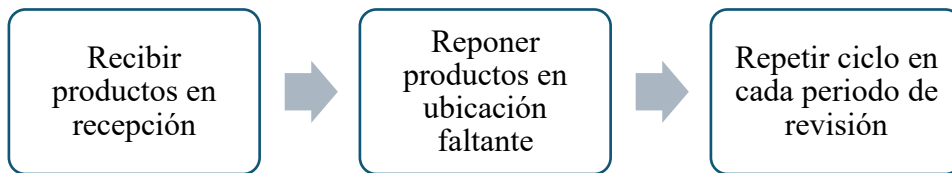
2.3 Análisis

Se presenta el análisis requerido para la validación y relación existe entre variables y determinar un mejor desempeño y establecer factores claves para el desarrollo del modelo propuesto. Además, se múltiples alternativas que se evalúan por cada una que permitan elegir a través de un matriz de ponderación, elegir el diseño que mejor se adapte a los especificaciones técnicas y requerimientos del cliente.

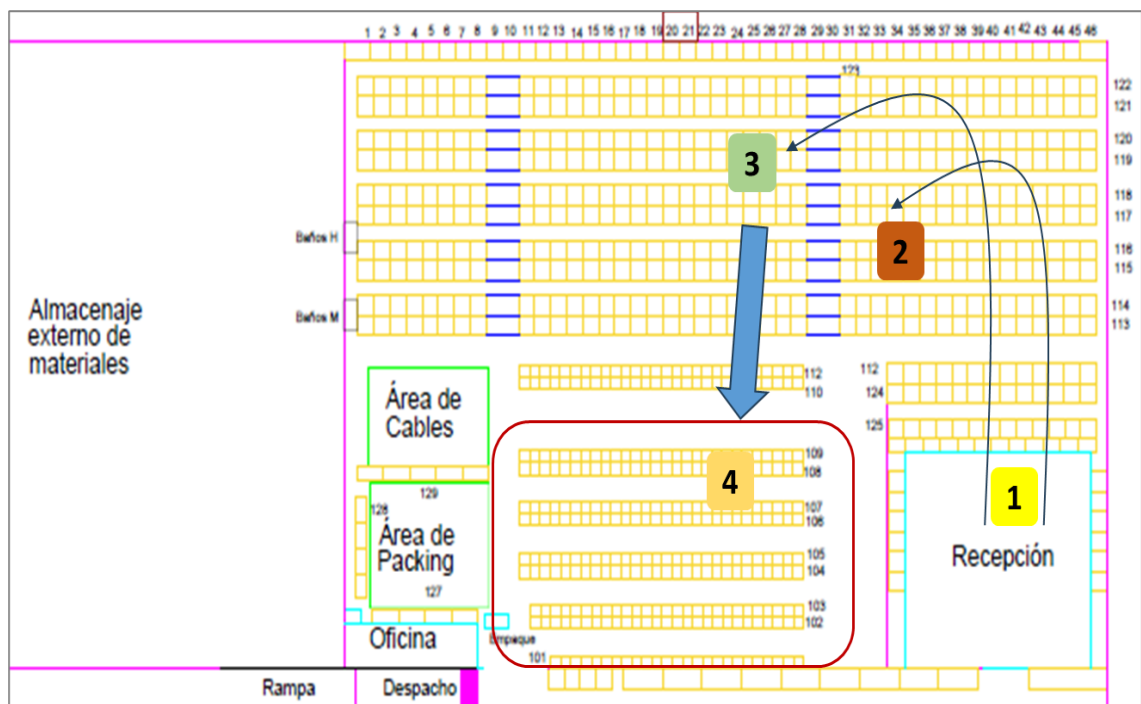
2.3.1 *Modelo actual de reabastecimiento de inventario*

Actualmente el reabastecimiento de inventario en el área de *picking* se lo realiza forma estándar, es decir existe un estudio de mercado el cual a través se generan las órdenes de compra dependiendo de las necesidades de ventas. Se recibe los productos en el centro de distribución por medio del área de recepción para una vez finalizado el proceso de control de calidad, se asigna una ubicación estratégica y se realiza la reposición dentro de la bodega.

Cada vez que se necesita el reabastecimiento de productos en perchas, existe un colaborador encargado que recolecta una cantidad y se ubica en ubicación faltante. Se repite el mismo proceso cada vez que se consume ítems.

Figura 17*Proceso actual de reabastecimiento de inventario*

En la Figura 17, se muestra a nivel de macroproceso el reabastecimiento de inventarios. El primer procedimiento es recibir los productos con su respectiva documentación de soporte, seguido de la reposición y agrupación de productos en subzonas MEDIA y PULMÓN a dónde se destinan productos. El último procedimiento es ubicar en zonas de alta rotación, finaliza y se repite el ciclo en cada periodo de revisión que usualmente es promedio de cada dos semanas.

Figura 18*Proceso actual de reabastecimiento a picking*

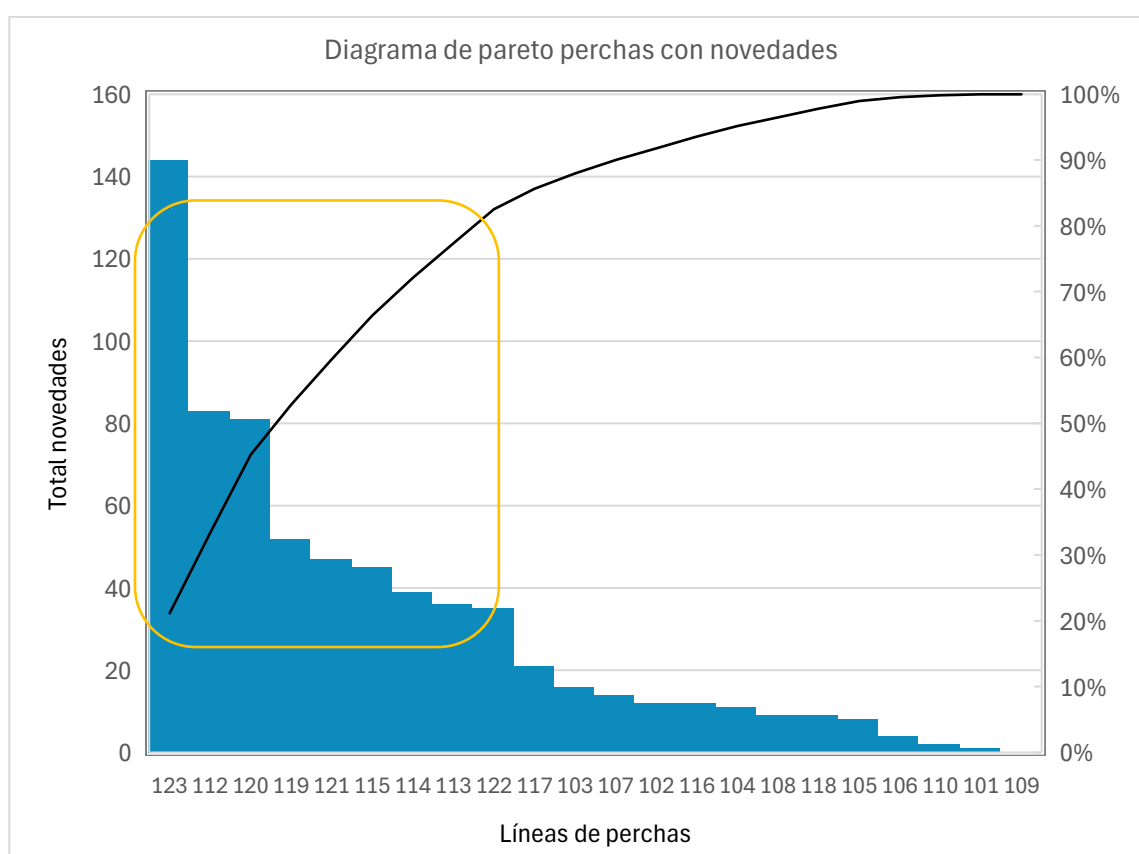
Nota. Elaboración tomada de la empresa.

2.3.1.1 Exactitud registro de inventarios (ERI)

A continuación, se resume los resultados obtenidos en la etapa de medir. En el indicador ERI, se identificó un nivel de inconsistencia de 35%, lo que evidencia diferencias entre cantidad registrada en el sistema wms y el inventario físico real. Para lo cual en esta parte de análisis se prioriza y se identifica las ubicaciones que generan mayor inconsistencia en exactitud de inventarios. Con la finalidad de evaluar su impacto y garantizar un mejor desempeño en el rendimiento del modelo. A continuación, en la Figura 19, se muestra el diagrama de Pareto que permite identificar el 20% perchas donde existe alrededor del 80% de inconsistencias en la exactitud de inventarios.

Figura 19

Diagrama de Pareto perchas con inconsistencias



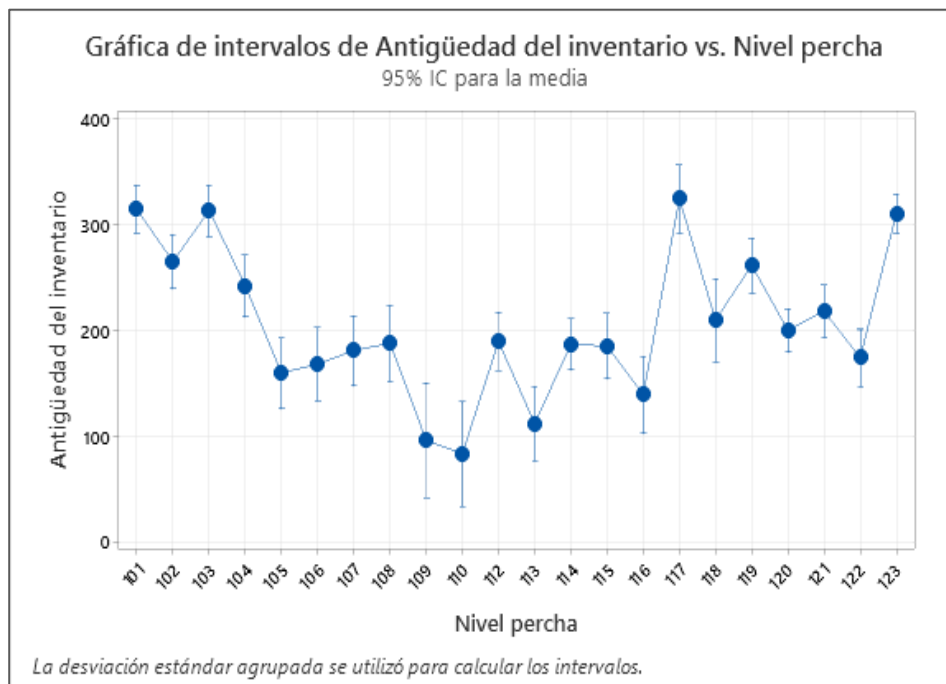
Se realizó el diagrama de Pareto para obtener las líneas de perchas con mayor porcentaje de inconsistencias en la verificación física.

2.3.1.2 Tiempo permanencia de inventarios

En el análisis de la variable de tiempo de permanencia se identifica aquellas perchas con un nivel superior al 80% con respecto al tiempo promedio, es decir con más de 180 días sin movimiento. Esto con la finalidad de segmentar perchas que al menos registran un movimiento de inventarios dentro del tiempo de 6 meses. Al asegurar esta segmentación se garantiza registro de datos de la demanda de aquellos SKU con tipo definido de categoría de demanda.

Figura 20

Dispersión de tiempo de permanencia de inventarios por perchas



En la Figura 20, se evalúa el tiempo promedio en días de antigüedad según la línea de perchas en la bodega. Los puntos en los diferentes intervalos representan la media por cada línea de perchas y las desviaciones del tiempo de permanencias están representadas por barras amplias. Se realizó pruebas estadísticas ANOVA para verificar si existen diferencias de la variable respuesta tiempo de permanencia con nivel de perchas actual descritos en la Tabla 30.

Tabla 30*ANOVA de tiempo permanencia vs. nivel de perchas***Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Nivel percha	21	20276323	965539	21,20	0,000
Error	4876	222071697	45544		
Total	4897	242348021			

El respectivo análisis Tabla 30, indica que existe diferencias significativas en la evaluación del tiempo de permanencia según las líneas de perchas. Por lo que se establece un nivel mínimo del 80% para iniciar con las mejoras en el reabastecimiento en las líneas que disminuyan de este objetivo. Este resultado se complementa con el estudio de la variabilidad de la demanda, debido a que niveles bajos de %DOI aquellos productos tendrían poca rotación.

2.3.2 Opciones de diseño

Se presenta las principales opciones de diseño que satisfacen los requerimientos de los clientes, considerando los criterios técnicos definidos en el QFD, con la finalidad de la viabilidad del proyecto y optimizar el actual sistema gestión de reabastecimiento.

Cada alternativa planteada en este apartado se evalúa en función de responder con los requerimientos del cliente, y de igual manera adaptación a las restricciones del centro de distribución.

2.3.2.1 Modelo revisión continua de reabastecimiento EOQ

Se presenta la primera opción de diseño con sus principales ventajas y aciertos. Las principales ventajas que muestra este modelo EOQ se encuentra una gran capacidad de determinar cantidad óptima de pedido a su vez misma vez que funciona como una modelo de

optimización que minimiza los costos totales de inventarios. Los costos totales son costos de almacenamiento, reabastecimiento y otros costos asociados al proceso. Al equilibrar los costos totales de inventario se tiene una sólida planificación a largo plazo que además permite mejorar la capacidad de respuesta frente a las constantes fluctuaciones de la demanda.

Al optimizar costos, el modelo permite consolidar un ahorro significativo que además puede enfocarse en desarrollo de procesos de mejoras que complementen el diseño del modelo.

$$\text{Cantidad lote } Q^* = \text{Costo reorden} + \text{Costo mantener inventario} \quad (2.22)$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 * D * S}{H}} \quad (2.23)$$

Para cumplir con los principales objetivos del modelo EOQ debemos contar con los costos de almacenamiento H para cada periodo. Los costos de reposición también es otra de las variables importantes puesto que incluye costos de transporte, gestión y recepción S . La demanda para cada periodo de análisis D , que deberá ser exacto dado para un modelo determinístico.

En la Tabla 31, se presentan los beneficios al aplicar el modelo EOQ. En primer punto realiza el cálculo exacto para colocar una orden, pero necesita es ideal para periodos mensual debido que centra sus esfuerzos en costos de reposición que representen toda la planificación, de igual manera los costos de almacenamiento.

Para la comprensión resulta difícil comprensión para obtener costos de mantener y reposición periodo a periodo. Existe una manera uniforme de distribuir la cantidad de reposición entre la planificación y no toma en cuenta la variabilidad de demanda entre periodos.

Tabla 31*Beneficios de implementar EOQ*

Prioridad	QFD	Respuesta EOQ
A	Implementar lotes económicos y stock seguridad	EOQ calcula el tamaño óptimo de pedido que minimiza costos, evitando sobre stock y quiebres.
B	Optimizar los costos de almacenamiento y reabastecimiento promedio por período	EOQ equilibra el costo de mantener inventario con el costo de ordenar, logrando eficiencia por período.
C	Generar frecuencia de reabastecimiento estratégica para acelerar la preparación de pedidos	EOQ determina una frecuencia de pedidos regular y predecible, facilitando la planificación operativa.

2.3.2.2 Modelo reabastecimiento periodico por lotes (T, S)

En este apartado se analiza la opción de un control de inventarios mediante una revisión periódica de inventarios. En este tipo de modelos de reabastecimiento, se considera un *Lead time* por parte del proveedor. Además, es necesario establecer un periodo de tiempo T para revisión de inventarios y establecer un nivel máximo S de Stock.

$$Q = S - I \quad (2.24)$$

Para determinar la cantidad Q según la ecuación (2.24), a reponer debemos contar con el inventario al momento de la revisión. El periodo T previamente establecido.

$$\bar{D}_{T+L} = \bar{D}_{sem} * (T + L) \quad (2.25)$$

Para trabajar con este modelo debemos considerar la demanda durante las semanas entre periodos de revisión y el tiempo del proveedor, tal como lo indica la ecuación (2.25). En este caso la demanda obtenida por periodo semanal y el *lead time* relevante por cada proveedor.

$$S = \bar{D}_{T+L} + SS \quad (2.26)$$

Para determinar el nivel máximo S debemos contar con un inventario de seguridad tal como indica la ecuación (2.26) y este a su vez se obtiene factor de nivel de servicio producto con la variabilidad de la demanda.

En la Tabla 32, se presenta como responde el modelo revisión periódica a cada uno de los requerimientos técnicos establecidos en el QFD. El periodo de revisión esta dado por el personal encargado, lo que puede acarrear subestimaciones y exceso de inventarios, en periodos de demanda baja. Los costos de inventarios son resultados de la implementación y no forman parte de la decisión del modelo. La frecuencia de reposición está sujeta a decisiones del área y no en base a la decisión del modelo.

Tabla 32

Beneficios esperados del modelo (T, S)

Prioridad	QFD	Respuesta (T, S)
A	Implementar lotes económicos y stock seguridad	Realiza cantidad a reponer Q , limitado a un nivel máximo S . Permite establecer stock de seguridad.
B	Optimizar los costos de almacenamiento y reabastecimiento promedio por período	No optimiza directamente los costos de inventarios pues depende de la correcta calibración de los parámetros T y S .
C	Generar frecuencia de reabastecimiento estratégica para acelerar la preparación de pedidos	Realiza reposición acorde al periodo de revisión y tiempo del proveedor.

2.3.2.3 Modelo de reabastecimiento con heurística Silver -Meal (T, r, S)

Se presenta la última opción de diseño para el desarrollo de un modelo de inventario que se ajuste a las especificaciones técnicas del QFD antes mencionadas en el QFD.

Recordando que son la generar lotes óptimos y stock de inventario de seguridad, minimizar costos de reabastecimiento y almacenamiento por periodo, optimizar número de reposiciones, frecuencia que agilice proceso de *picking*. En esta ocasión se tiene un modelo aplicado a la revisión periódica aplicando heurística llamada Silver-Meal el cual es útil debido a su

minucioso algoritmo que verifica lotes óptimos periodo adaptándose a la variabilidad de la demanda y minimiza el costo total de inventarios y al finalizar se ajusta a la variabilidad de la demanda en varios periodos.

$$C(k) = \frac{S + \sum_{j=1}^k H * j * D_{t+j}}{k + 1} \quad (2.27)$$

En la ecuación (2.27), se tiene la representación matemática el cual establece una función por periodo (k). Los costos totales de inventarios se reducen al encontrar un lote óptimo y en ese determinado periodo se debe colocar el pedido. A continuación, se muestra la demanda por periodos previamente establecidos, recordando un periodo semanal de estudio. Esta heurística decide en tiempo real el tamaño óptimo del lote al minimizar el coste promedio por periodo. En cada revisión, calcula el coste total de cubrir varios periodos con un solo pedido y lo divide entre los periodos cubiertos. El proceso termina cuando aumentar el lote eleva el coste promedio.

La heurística Silver-Meal resulta especialmente útil en entornos donde la demanda puede variar de un periodo a otro, permitiendo ajustar dinámicamente el tamaño de los pedidos y reducir así los costos asociados al almacenamiento y al reabastecimiento. Además, su simplicidad facilita su aplicación práctica en sistemas de gestión de inventarios, ayudando a tomar decisiones ágiles y fundamentadas ante la incertidumbre de la demanda.

En resumen, incorporar la heurística Silver-Meal en la gestión de inventarios permite equilibrar el riesgo de desabasto con los costos de mantener inventario, ofreciendo una solución flexible para la planificación de pedidos periódicos en contextos reales y variables.

2.3.3 Matriz de priorización

Para la toma de decisiones para la selección de la mejor opción de diseño se tiene la matriz de priorización que compara diferentes propuestas acordes a la ponderación de las necesidades del cliente.

Se asigna un orden de importancia y prioridad por cada necesidad específica que cubra y el análisis se realiza para cada una de las opciones planteadas anteriormente.

Tabla 33

Matriz de priorización de opciones de diseño

		R. Continua		R. periódica
Requerimientos técnicos	Puntuación	Modelo EOQ	Modelo TS	Modelo con heurística Silver –Meal
Reducir los tiempos de antigüedad y aumentar la rotación	20%	9	5	8
Agiliza la preparación de pedidos	20%	8	10	8
Reducir los costos de reemplazo de inventario	25%	8	9	10
Tamaño de lote óptimo Q	25%	5	8	10
Reducción de la huella de carbono del cartón	10%	10	10	10
Costos de implementación y complejidad de la adaptación	20%	6	8	8
Costos de mantenimiento de inventario	25%	8	6	10
		10.85	11.35	13.3

La matriz de priorización mostrada en la Tabla 33, recopila las necesidades del cliente y se enlista como requerimientos técnicos, los cuales se deben categorizar dependiendo de las prioridades del cliente, a lo cual se asigna una ponderación relativa %. Se realiza la comparación entre los tres modelos propuestos y se verifica por cada necesidad si cumple y el grado de cumplimiento. La ponderación según las necesidades va desde del 1-10, donde 1 significa un bajo cumplimiento y 10 que cubre en su totalidad con requerimiento específico.

Dada la matriz de relaciones se obtiene según los resultados como opción 3 ganadora aplicar el modelo de revisión periódica con heurística Silver-Meal. Y como opción de segundo lugar aplicar modelo de revisión periódica T, S.

2.3.4 Análisis financiero

Se realizó el análisis financiero para cada una de las alternativas de diseño. Para la selección de la mejor opción de diseño se utilizó la herramienta, mostrada en la ecuación (2.28) beneficio/costo. Para ello se analiza los beneficios esperados en cada elemento del proyecto. La inversión inicial será un solo desembolso y los beneficios se espera el retorno en el periodo de implementación de 3 meses de estudio.

$$\text{Indice } \left(\frac{B}{C} \right) = \frac{\text{Beneficio Total}}{\text{Costo Total o Inversion Inicial}} \quad (2.28)$$

Tabla 34

Análisis Beneficio-Costo de alternativas de diseño

Elementos proyecto	Modelo EOQ			Modelo T, S			Modelo con heurística Silver -Meal		
	Beneficio USD	DOT	Costo USD	Beneficio_USD	DOT2	Costo_USD	Beneficio_USD	DOT3	Costo_USD
Reducción costos mantener inventario	\$ 1,000.00			\$450.00			\$1,000.00		
Capacitación personal		4.00	\$800.00		4.00	\$600.00		4.00	\$800.00
Oportunidad diseño integrar wms			\$400.00			\$450.00			\$500.00
Tiempo de capacitación		20.00	\$600.00		15.00	\$450.00		15.00	\$450.00
Consolidación en el nivel de inventarios	\$ 650.00			\$850.00			\$850.00		
Costos de transporte, reposición USD			\$50.00			\$12.00			\$24.00
Tiempo de implementación	3 meses			3 meses			3 meses		
B/C	\$4,332.42	24	\$ 1,850.00	\$3,413.42	19	\$ 1,512.00	\$4,857.56	19	\$1,774.00
			2.34			2.26			2.74

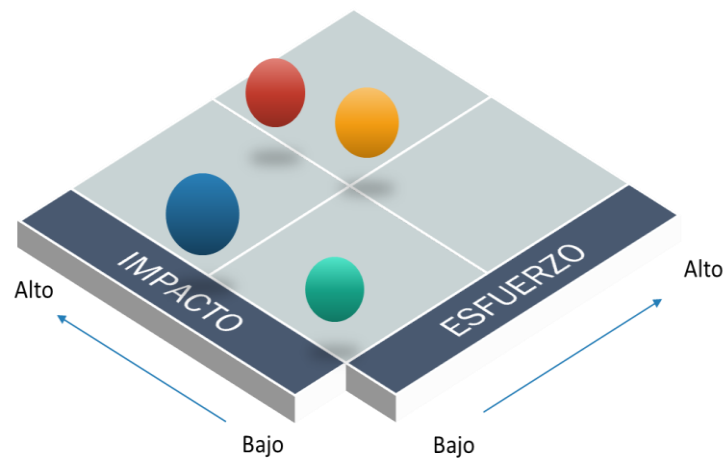
En la Tabla 34, se realizó el análisis financiero para cada alternativa de diseño. Se describen los elementos requeridos para la implementación del proyecto, de la misma forma los beneficios esperados. En el modelo de revisión continua se tiene un índice de 2.34 el cual se ubica en segundo lugar. El proyecto con mayor rentabilidad financiera es aquella de revisión periódica con heurística.

2.3.5 *Matriz Impacto-Esfuerzo*

Se utilizó una herramienta de matriz impacto esfuerzo para evaluar las distintas alternativas de selección de diseño, en la cual se mide el grado de impacto y el nivel de esfuerzo en la implementación del modelo y a su vez adaptación a las operaciones actual del centro de distribución. En esta matriz se admite dos niveles posibles de respuesta bajo y alto, lo cual permite un mejor posicionamiento del nivel requerido por cada alternativa de diseño.

El enfoque entre la priorización y la matriz Impacto-Esfuerzo está en que la matriz visualiza de manera clara según los resultados del análisis, ubicando cada alternativa según su nivel de impacto y el esfuerzo requerido para su ejecución. Así, la priorización previa se ve reflejada en la ubicación de las alternativas dentro de la matriz, lo que permite validar si la elección del modelo coincide con las opciones más convenientes desde el punto de vista estratégico y operacional. De este modo, la matriz sirve como una herramienta complementaria que respalda y justifica la elección del diseño según el nivel de priorización realizada.

En la Figura 21, en la matriz Impacto-Esfuerzo se ubica cada una de las opciones analizadas según el nivel de esfuerzo e impacto. El modelo actual que la empresa maneja se ubica en el cuadrante inferior izquierdo, es decir requiere un esfuerzo y un impacto bajos. El siguiente modelo es el EOQ de revisión continua el cual se sitúa en el cuadrante izquierdo superior, es decir con un impacto alto y esfuerzo bajo. El siguiente modelo de revisión periódica (T, S) se establece en el cuadrante derecho superior, es decir requiere un esfuerzo alto y en proporcionalidad su impacto es alto, y por último se ubica el modelo que utiliza la heurística Silver Meal en cuadrante superior derecho, al implementarlo requiere un impacto y esfuerzo alto. Entre el análisis de todas las alternativas se evalúa la mejor elección el cual se describe en la Tabla 35.

Figura 21*Matriz Impacto-Esfuerzo***Tabla 35***Clasificación del modelo acuerdo al nivel de Impacto-Esfuerzo*

	Opciones Diseño
Bajo Impacto – Bajo Esfuerzo	Situación Actual
Alto Impacto – Bajo Esfuerzo	Modelo revisión periódica T, S
Alto Impacto – Alto Esfuerzo	Modelo revisión periódica heurística Silver -Meal
Alto Impacto – Bajo Esfuerzo	Modelo revisión continua EOQ

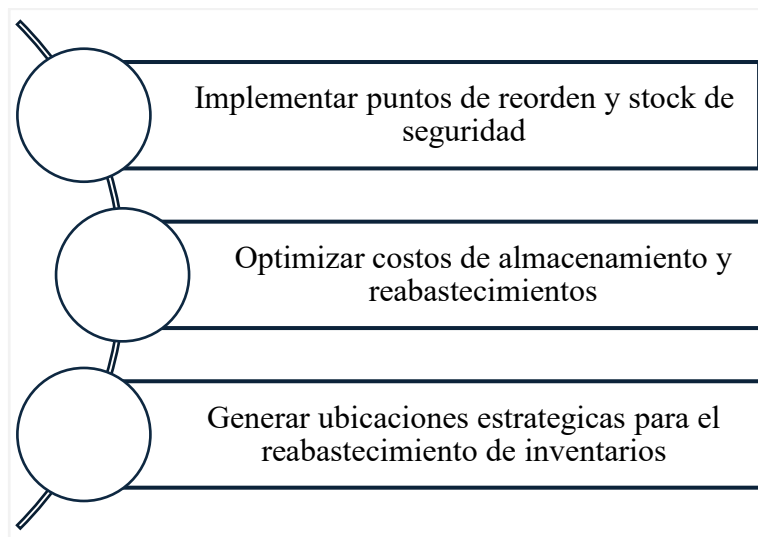
Por lo cual se tiene que, en la clasificación de los modelos de reabastecimientos, verificando según el impacto a nivel operativo y esfuerzo requerido. La estrategia más determinante que permite ajustarse a los requerimientos técnicos según el análisis financiero, matriz de priorización y matriz esfuerzo-impacto es la implementar revisión periódica con heurística Silver-Meal. A continuación, se inicia el desarrollo e implementación del modelo de reabastecimiento para el área picking.

2.4 Diseño

En esta fase se desarrolla el modelo seleccionado previamente en etapas anteriores. Las especificaciones técnicas que deben estar estructurado en el modelo de reabastecimiento son las siguientes:

Figura 22

Requerimientos técnicos QFD



El modelo de reabastecimiento debe cumplir con los requerimientos que se muestran en la Figura 22, y así poder ser funcional para el cliente. Entre las funcionales debe constar que pueda crear una cantidad optima de pedidos y cada pedido tenga una cantidad adecuada que permita atender una demanda específica durante un periodo específico. Asimismo, el proceso de reabastecimiento el modelo debe ser capaz de reducir costos y representar un ahorro significativo para la empresa. Por último, el modelo debe otorgar al cliente una alternativa o sugerencia de su inventario en que ubicación podría almacenar.

A continuación, se presenta la descripción e inputs necesarios para la creación del modelo y la posterior creación de políticas de reabastecimientos en el área de picking.

2.4.1 Proyección de la demanda

En este apartado se realiza la estimación de la demanda con la que el modelo es capaz de generar órdenes. Para la elección de la técnica adecuada de proyección primero se debe

analizar el comportamiento actual de los datos. Para los cuales se tiene el resultado del análisis de al menos 600 SKUs que están distribuidos en la zona *picking* del centro de distribución. Se analizó la métrica de variabilidad para verificar que tanto la data de la demanda difiere de la media. También se requirió analizar el ADI (*Average Demand Interval*) una métrica sencilla pero bastante útil que permite verificar un periodo de consumo promedio. Estas métricas que se mencionaron permiten la categorización de la demanda. A continuación, se presentan los resultados de la categorización de la demanda.

Tabla 36

Categorización de la demanda

ADI	CV2	CATEGORIA
ADI > 1.32	CV2 > 0.49	GRUMOSA
ADI > 1.32	CV2 < 0.49	INTERMITENTE
ADI < 1.32	CV2 > 0.49	ERRÁTICA
ADI < 1.32	CV2 < 0.49	SUAVIZADA

Tabla 37

Categorización de la demanda en picking.

Categoría demanda	Suma
ERRÁTICA	226
INTERMITENTE	386
Total, general	612

En la Tabla 36, muestra la clasificación de la demanda según su categoría en base al ADI y coeficiente de variación. Según *The Owl Solutions* (2024), los valores críticos para

ADI es de 1.32 y para el coeficiente es de 0.49 a partir de estos umbrales las categorías de demanda tienden a cambiar.

En la Tabla 37, se muestra la actual clasificación de la demanda, donde se puede observar que alrededor del 80% de la presente demanda actual es categoría intermitente. El restante 20% tiene una categoría de demanda grumosa, lo cual nos brinda una visión para aplicar estrategias más eficaces como métodos de pronósticos adecuados para ventas impredecibles.

El modelo heurístico de Silver-Meal se basa en el análisis de períodos en los cuales es necesario determinar lotes de reabastecimientos óptimos. Para su correcta aplicación, resulta fundamental contar con pronósticos precisos de la demanda en cada período, ya que estos permiten identificar los momentos en que debe satisfacerse dicha demanda de manera eficiente. Para realizar pronósticos de la demanda para demanda intermitente se utiliza el método Syntethos-Boylan y Suavización exponencial doble para demanda tipo errática.

2.4.1.1 Método Synthetos-Boylan

Se utilizo el método de aproximación Synthetos-Boylan para pronosticar demandas intermitentes con periodos de demanda ceros y además que tienden a reducir el error de sesgo ya que utiliza dos parámetros de suavización α y β para la estimación por cada periodo.

Para entender el funcionamiento, se analizan los periodos para este caso sería periodo semanal del t 1 al 16. Las variables dependientes Z_t y P_t representan la magnitud de demanda y magnitud de intervalos que son utilizados por la ecuación (2.31) para el pronóstico para cada periodo t .

Por cada valor de la magnitud de la demanda se tiene diferentes estimaciones lo cual se describen a continuación, en la ecuación (2.29) para aquellos valores de demanda cero se tiene la demanda suavizada Z'_t y el intervalo suavizado p'_t que son iguales del anterior periodo. En la ecuación (2.30), se muestra las estimaciones para demanda positivas y los

nuevos valores suavizados acorde a los parámetros de suavización. Los parámetros de suavización de la demanda

$$X_t = 0: \begin{cases} Z_t = Z_{t-1} \\ p_t = p_{t-1} \end{cases} \quad (2.29)$$

$$X_t > 0 = \begin{cases} Z_t = \alpha Z_t + (1 - \alpha)Z_{t-1} \\ p_t = \alpha p_t + (1 - \alpha)p_{t-1} \end{cases} \quad (2.30)$$

$$Y_t = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) * \frac{Z_t}{p_t} \quad (2.31)$$

A partir de la implementación de la ecuación (2.31) se generan los nuevos valores pronosticados para los siguientes periodos. Con la ayuda del lenguaje de programación Python se generaron los valores pronosticados Y_t para los demás Skus del estudio. Una vez implementado el código el Python, el siguiente resultado es para cada periodo muestra el valor pronosticado. En la Tabla 38, se muestra dos Items dentro de la categoría demanda intermitente sus valores pronosticados en la columna Forecast.

Tabla 38

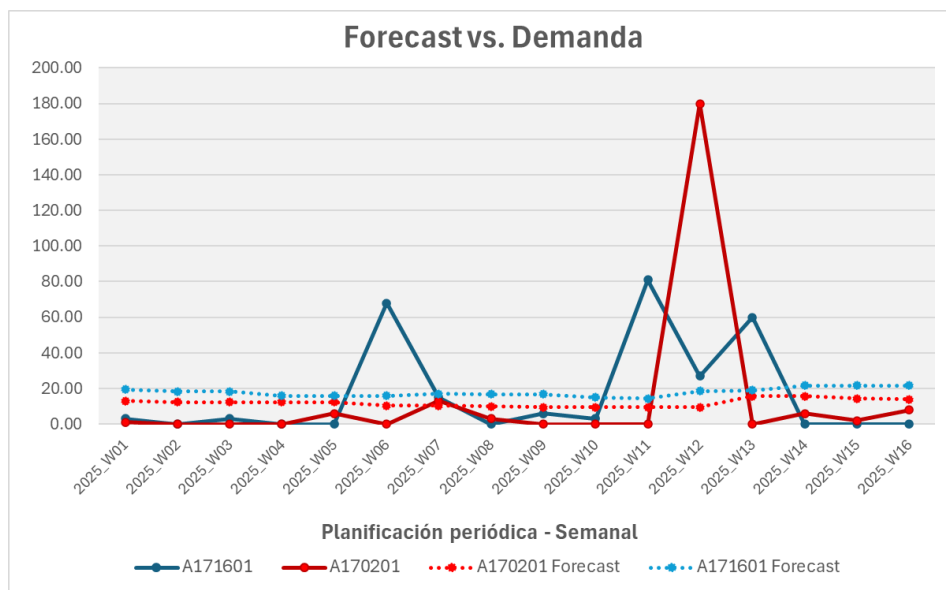
Resultados del pronóstico demanda intermitente

<i>Items</i>	<i>A171601</i>	<i>A170201</i>	<i>A171601 Forecast</i>	<i>A170201 Forecast</i>	<i>MSE</i>
2025_W01	3.00	1.00	19.44	13.00	270.22
2025_W02	0.00	0.00	18.25	12.37	301.71
2025_W03	3.00	0.00	18.25	12.37	278.70
2025_W04	0.00	0.00	15.95	12.37	272.61
2025_W05	0.00	6.00	15.95	12.37	268.96
2025_W06	68.00	0.00	15.95	10.29	675.69
2025_W07	15.00	13.00	16.99	10.29	579.73
2025_W08	0.00	3.00	16.81	9.90	542.59
2025_W09	6.00	0.00	16.81	9.55	495.28
2025_W10	3.00	0.00	15.06	9.55	460.30
2025_W11	81.00	0.00	14.27	9.55	823.29
2025_W12	27.00	180.00	18.49	9.55	760.72
2025_W13	60.00	0.00	18.99	15.61	831.56
2025_W14	0.00	6.00	21.72	15.61	805.87
2025_W15	0.00	2.00	21.72	14.44	783.60
2025_W16	0.00	8.00	21.72	13.83	764.11
	266.00	219.00	286.38	190.64	8914.94

En la Figura 23, se realiza la comparación entre la demanda real y la demanda pronosticada configurado entre los periodos del enero-abril, en este periodo de estudio existen picos significantes de demanda lo cual indica una variabilidad alta, es relevante porque a la par se puede observar cómo los valores pronosticados intentan el ajuste para suavizar la línea de la demanda.

Figura 23

Demanda pronosticada para planificación semanal.



Nota: Pronostico de la demanda usando Syntethos- Boylan con parámetros $\alpha=0.10$

$\beta=0.10$

2.4.1.2 Método suavización exponencial simple (SES)

Para otra parte de la población de la demanda cuando se tiene productos con alta rotación y se necesitan especifican otro tipo de pronósticos como lo es el método de la suavización exponencial simple, el cual permite un mejor ajuste de la demanda para periodos seguidos de demanda.

$$L_n = \alpha D_n + (1 - \alpha) * L_{n-1} \quad (2.32)$$

En la ecuación (2.32), se tiene la expresión utilizada para pronosticar la demanda, por el método suavización exponencial simple. El factor de suavización α , se ajusta dependiendo de la variabilidad de los datos proporcionados. En este caso se ajusta ese valor en $\alpha=0.50$ dando importancia por igual al valor pronosticado en el anterior periodo como el nuevo periodo. En la Tabla 39, muestra los valores obtenidos para dos tipos concretos de Skus con demanda errática utilizando la técnica de pronóstico suavización exponencial simple con un promedio de margen de Error Absoluto (MAD) de 52.07 para este ejercicio. En el total, se tiene que para esta demostración los valores cubren al 100% la demanda real.

Tabla 39

Valores pronosticados para demanda errática

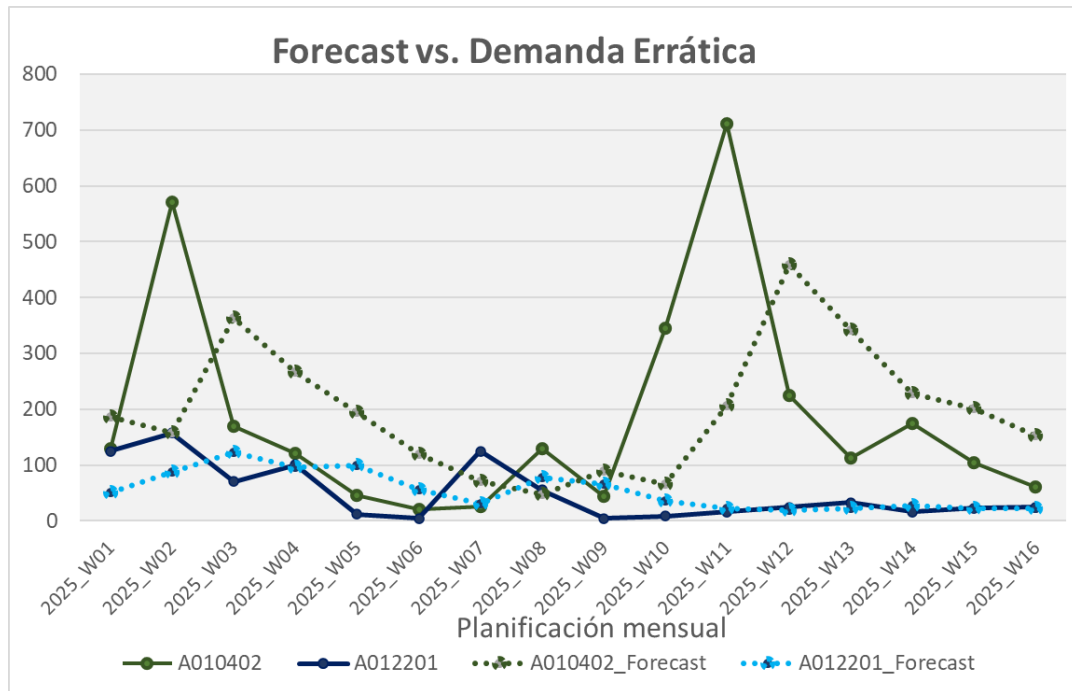
<i>Items</i>	<i>A010402</i>	<i>A012201</i>	<i>A010402_Forecast</i>	<i>A012201_Forecast</i>	<i>MAD</i>
2025_W01	129.00	125.00	187.13	50.31	74.69
2025_W02	571.00	158.00	158.06	87.66	72.52
2025_W03	169.00	71.00	364.53	122.83	65.62
2025_W04	122.00	101.00	266.77	96.91	50.24
2025_W05	46.00	12.00	194.38	98.96	57.58
2025_W06	21.00	5.00	120.19	55.48	56.40
2025_W07	26.00	125.00	70.60	30.24	61.88
2025_W08	129.00	56.00	48.30	77.62	56.85
2025_W09	45.00	5.00	88.65	66.81	57.40
2025_W10	346.00	9.00	66.82	35.90	54.35
2025_W11	712.00	16.00	206.41	22.45	49.99
2025_W12	225.00	25.00	459.21	19.23	46.31
2025_W13	113.00	33.00	342.10	22.11	43.58
2025_W14	174.00	16.00	227.55	27.56	41.30
2025_W15	105.00	23.00	200.78	21.78	38.62
2025_W16	61.00	25.00	152.89	22.39	36.37
	2994.00	805.00	3154.36	858.24	863.68

La Figura 24, ilustra el comportamiento de productos con demanda errática. Se observa que los resultados del pronóstico no presentan variaciones extremas, lo que permite una distribución más uniforme de las cantidades a lo largo de los distintos periodos. Esta

característica tiene un impacto directo en el nivel de almacenamiento del inventario, ya que facilita una gestión más estable y predecible para productos con este tipo de demanda.

Figura 24

Pronostico vs. Demanda errática.



2.4.2 Validación del método Silver

Esta sección presenta la validación del método Silver-Meal aplicado a la planificación de órdenes para lotes óptimos. Para evaluar la eficiencia de esta metodología en la gestión de inventarios, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos aplicando el modelo Silver Meal, y los datos históricos de la empresa de mayo-Julio. El objetivo principal es verificar que el sistema de reabastecimiento se adapte a las nuevas variaciones y logre los resultados esperados y satisfacer las necesidades del cliente planteadas en el QFD.

El análisis además incluyó la comparación de los costos totales esperados frente a los costos realmente incurridos en periodos anteriores mencionados, lo que permitió verificar la capacidad del sistema de reabastecimiento para adaptarse a las nuevas variaciones y alcanzar los resultados óptimos.

Tabla 40

Análisis de costos relevantes aplicando heurística Silver-Meal.

Cantidad a pedir	Inventario final	Costo de pedido		Costo de mantenimiento		Costo total relevante
Q	If	A		H*If		CTR = A + H*If
25.37	12.37	\$	83.75	\$	48.86	\$ 132.61
	0.00	\$	-	\$	-	\$ -
24.74	12.37	\$	83.75	\$	48.86	\$ 132.61
	0.00	\$	-	\$	-	\$ -
52.41	40.04	\$	83.75	\$	158.15	\$ 241.90
	0.00	\$	-	\$	117.48	\$ 117.48
0.00	19.45	\$	-	\$	76.82	\$ 76.82
	9.55	\$	-	\$	37.71	\$ 37.71
	0.00	\$	-	\$	-	\$ -
88.12	78.58	\$	83.75	\$	310.38	\$ 394.13
	69.03	\$	-	\$	272.67	\$ 272.67
	59.48	\$	-	\$	234.96	\$ 234.96
	43.87	\$	-	\$	173.29	\$ 173.29
	28.26	\$	-	\$	111.63	\$ 111.63
	13.83	\$	-	\$	54.61	\$ 54.61
	0.00	\$	-	\$	(0.00)	\$ (0.00)
190.64	416.56	\$	335.00	\$	1,645.42	\$ 1,980.42

Nota: La tabla muestra costos relevantes para la aplicación para el ítem: A170201 aislador retenida porcelana ANSI 54-3 gamma.

La Tabla 40, analiza y se muestra los valores obtenidos al aplicar el método de la heurística para determinar cantidades óptimas y minimizar el costo promedio semanal de reabastecimiento. Además, se detallan los costos de reposición y de almacenamiento que intervienen en el proceso de reabastecimiento y el inventario final y la cantidad a pedir en cada periodo. En cada costo de pedido sucede cuando se repone un pedido, mientras que los costos de mantenimiento son proporcionales a la cantidad de inventario que se mantiene en zonas de *picking*. El costo total relevante es la suma de los costos anteriores y como resultado se tiene el total de costos y el inventario final que se mantiene. Una vez aplicado el modelo Silver Meal para este producto en específico se obtiene los valores de \$1,980.42 para su total gestión de inventario.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

En este apartado se presenta el correspondiente plan de implementación detallado para llevar a cabo el desarrollo del modelo. En la Tabla 41, se detalla el cronograma del plan de implementación.

Tabla 41

Plan de implementación del prototipo

PLAN DE PROTOTIPO						2025
DESCRIPCIÓN		FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	HERRAMIENTAS	COSTO DE IMPLEM.	VALIDACIÓN
S1 Identificación de requerimientos						
Recopilar datos de SKUs	Selección de SKU con demanda intermitente	22-7-25	25/7/25	Excel	N/A	Jefe Bodega
	Validación de pronósticos de la demanda	22-7-25	25/7/25	Python simulaciones	N/A	Diego Satian
S2 Diseño Conceptual						
Flujos Operativos	Elaborar flujos procesos claves definiendo responsables, alcance y documentos.	2/8/2025	2/8/2025	Microsoft Visio	Licencia: \$20	Jefe Bodega
	Mapear y estructurar el diseño del proceso de reabastecimiento	2/8/2025	4/8/2025	Microsoft Visio	Licencia: \$20	Jefe Bodega
S3 Desarrollo del prototipo						
	Implementar el modelo de reabastecimiento en el software Excel según restricciones y prioridades.	4/8/2025	9/8/2025	Excel	Licencia: \$10	Coordinador Picking
	Integrar métricas de evaluación y costos de implementación	5/8/2025	8/8/2025	Excel	Licencia: \$10	Jefe Bodega
S4 Simulación						
	Ejecutar pruebas controladas con datos reales y verificar desempeño	8/8/2025	10/8/2025	Python simulaciones	N/A	Coordinador Picking
	Realizar las pruebas iterativas correspondientes y recopilar datos post implementación.	8/8/2025	10/8/2025	Excel	N/A	Jefe Bodega
S5 Final Evaluación						
	Realizar la comparación de resultados según métricas definidas y verificar costos de implementación.	15/8/25	20/8/25	Excel	N/A	Jefe Bodega
	Realizar entrega formal de funcionales del modelo	20/8/25	22/8/25	Excel con macros	N/A	Jefe Bodega

A continuación, se presenta en la Tabla 42, los resultados de la implementación del modelo de Silver Meal, para un ítem puntual el P100700. Para la validación de las funcionalidades del modelo aplicado a un entorno real.

Tabla 42

Resultados de la implementación modelo Silver-Meal

PERÍODOS	PERCHAS	MES	SKU	TIPO	DEMANDA	CANTIDAD ORDENAR	Inventario final	Costo reabastecimiento	COSTO MANTENER INV	Costo total relevante
2025-W15	106	Mes 1	P100700	INTERMITENTE	111	1088	977	\$ 83.75	\$ 15.04	\$ 98.79
2025-W16	106	Mes 1	P100700	INTERMITENTE	111	0	866	\$ -	\$ 13.33	\$ 13.33
2025-W17	106	Mes 1	P100700	INTERMITENTE	91	0	775	\$ -	\$ 11.93	\$ 11.93
2025-W18	106	Mes 1	P100700	INTERMITENTE	105	0	670	\$ -	\$ 10.31	\$ 10.31
2025-W19	106	Mes 2	P100700	INTERMITENTE	133	0	537	\$ -	\$ 8.26	\$ 8.26
2025-W20	106	Mes 2	P100700	INTERMITENTE	101	0	436	\$ -	\$ 6.71	\$ 6.71
2025-W21	106	Mes 2	P100700	INTERMITENTE	104	0	332	\$ -	\$ 5.11	\$ 5.11
2025-W22	106	Mes 2	P100700	INTERMITENTE	109	0	223	\$ -	\$ 3.43	\$ 3.43
2025-W23	106	Mes 3	P100700	INTERMITENTE	111	0	112	\$ -	\$ 1.72	\$ 1.72
2025-W24	106	Mes 3	P100700	INTERMITENTE	111	0	1	\$ -	\$ 0.02	\$ 0.02
2025-W25	106	Mes 3	P100700	INTERMITENTE	111	628	518	\$ 83.75	\$ 7.97	\$ 91.72
2025-W26	106	Mes 3	P100700	INTERMITENTE	111	0	407	\$ -	\$ 6.26	\$ 6.26
2025-W27	106	Mes 4	P100700	INTERMITENTE	111	0	296	\$ -	\$ 4.56	\$ 4.56
2025-W28	106	Mes 4	P100700	INTERMITENTE	111	0	185	\$ -	\$ 2.85	\$ 2.85
2025-W29	106	Mes 4	P100700	INTERMITENTE	69	0	116	\$ -	\$ 1.79	\$ 1.79
2025-W30	106	Mes 4	P100700	INTERMITENTE	115	0	1	\$ -	\$ 0.02	\$ 0.02

En la Tabla 42, se muestra los resultados obtenidos una vez implementada la solución propuesta. Para poder aumentar la capacidad de procesamiento debido a la enorme cantidad de SKUs, se tuvo que recurrir a la herramienta Python para obtener los resultados. Se observa que el modelo indica que para este tipo particular se SKUs se debe realizar dos órdenes de reabastecimientos en las semanas 1 y la semana 11, optimizando el costo total relevante de tener inventario durante el periodo planificado a \$ 266.80.

3.1 Sistema automatizado del plan de reabastecimiento

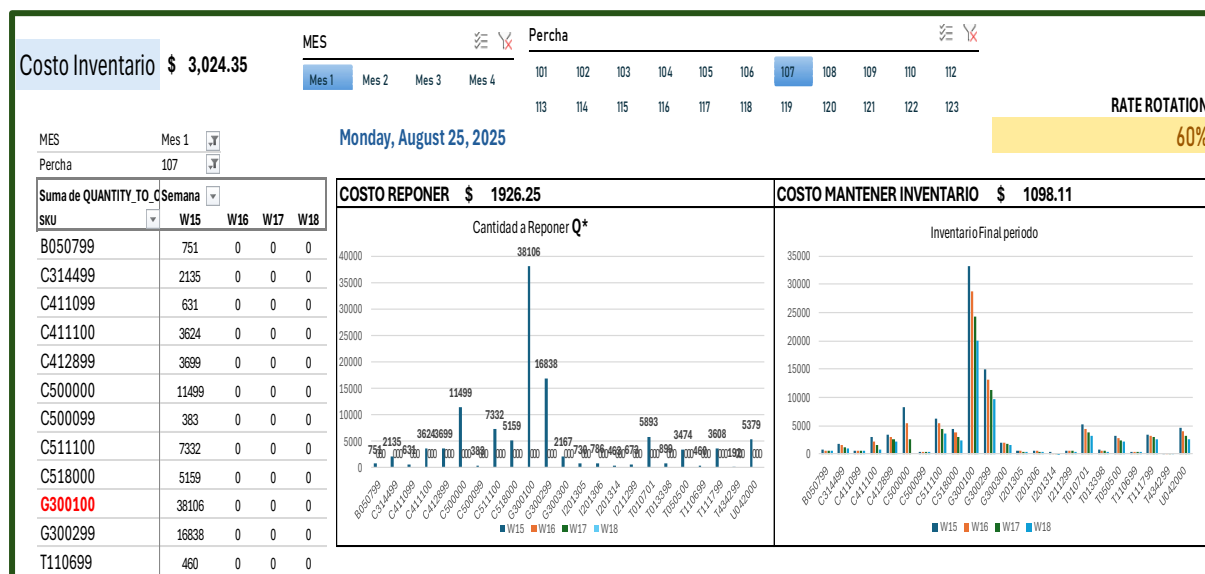
Debido a la gran cantidad de información resultante del plan de reabastecimientos se generó una herramienta que permita la interacción del usuario con la planificación de reabastecimientos.

En la Figura 25, se muestra la herramienta desarrollada en Excel como parte de un sistema automatizado que indica o sirve como soporte para las cantidades a reponer y en qué

periodo deben realizarse estas órdenes. Además, permite una navegación por todas las perchas del área de *picking*. Recolecta información acerca de los costos incurridos en reponer y mantener inventarios.

Figura 25

Planificación automatizada de reabastecimiento



Nota. Tablero de control realizado en Excel a partir de los resultados obtenidos del modelo de heurística Silver Meal.

3.2 Indicadores logísticos

A continuación, se detalla la evolución de los indicadores de *picking* al implementarse las nuevas técnicas de reabastecimiento. Estos indicadores reflejan la eficiencia operativa del proceso contemplado en Cantidad de inventario promedio y técnicas de consolidación de pedidos, Costos inventarios y resultados de las métricas de sostenibilidad.

3.2.1 Inventario promedio semanal

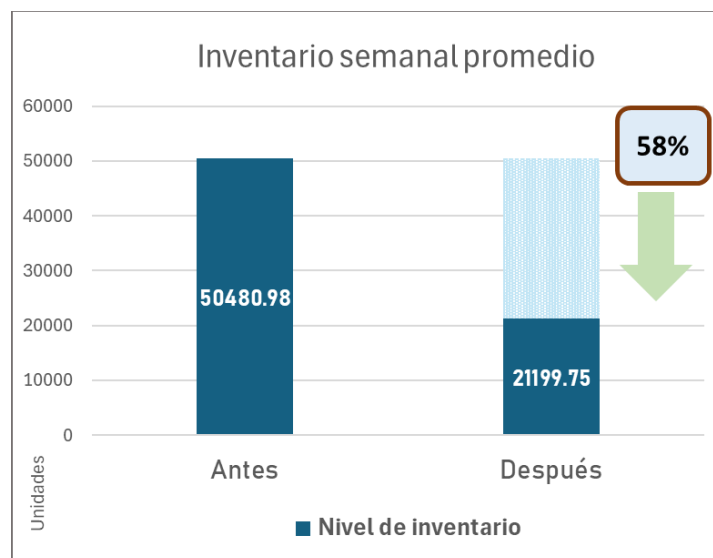
En este apartado se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación del modelo de reabastecimiento. En el indicador del inventario promedio semanal se tiene una reducción del 58%, en comparación con niveles actuales. Esto es por total de inventario mantenido en

perchas de los 105 ítems evaluados, en cada semana de los meses de la implementación que son julio y agosto. En la Figura 26, indica la cantidad de inventarios antes y después de aplicar la heurística. Se tiene evidencia de la reducción del 58% del inventario promedio. El inventario evaluado corresponde al saldo remanente al cierre de la semana operativa t , tal como se describe en la ecuación (3.1).

$$Inventario_{t\ final} = Inventario_{final}(t - 1) + Reposición\ de\ cantidad(t) - Demanda(t) \quad (3.1)$$

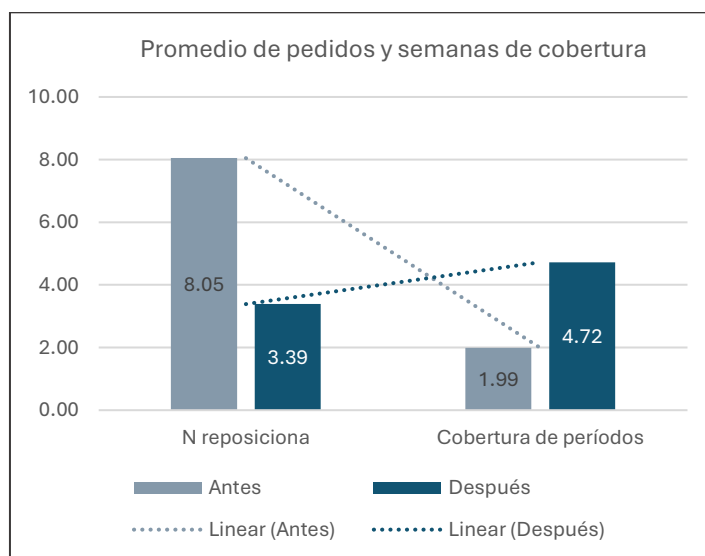
Figura 26

Inventario promedio semanal



3.2.2 Consolidación de pedidos y número periodos cubiertos

En el indicador de consolidación de pedidos se tiene una brecha de mejora significativa puesto que se logró reducir de un 8.00 a un promedio de **3.4** número de reposiciones durante la planificación. De la misma manera el indicador el cual se tiene el total de coberturas de periodos que se cubría logró tener un aumento significativo de pasar de 2.00 semanas establecidas hasta un periodo cubiertos de **4.72 semanas**, con lo declarado las mejoras y en los resultados del diseño se permitió que para este indicador se podrían establecer y determinar cómo políticas mínimas de reabastecimientos para el área de *picking*.

Figura 27*Cantidad de pedidos y periodos de cobertura*

Nota. Los datos corresponden al periodo de implementación de julio-agosto considerando 105 ítems del área *picking*.

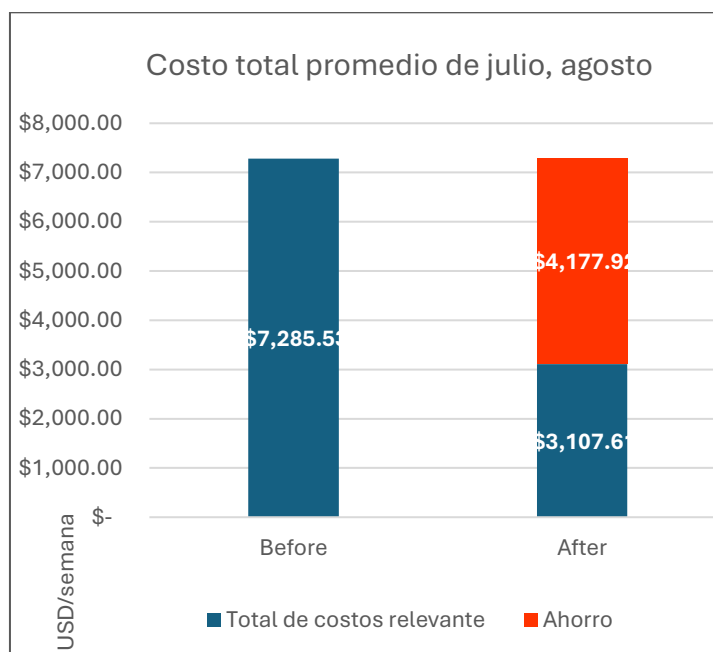
En la Figura 27, se tiene los resultados de la implementación del modelo en los periodos de julio y agosto en comparación con datos proceso actual de enero-junio. Estos valores resultan de un promedio general para los 105 ítems del caso de estudio.

3.3 Resultados del Triple Bottom Line

El presente marco del proyecto evalúa el desempeño en función de tres dimensiones claves de sostenibilidad previamente establecidas.

3.3.1 Impacto económico

Dado que el modelo de reabastecimiento se fundamenta en la minimización de costos total por unidad de tiempo, su implementación permite alcanzar niveles significativos de eficiencia económica, generando ahorros sustanciales en los procesos operativos de la empresa. En la Figura 28, se detalla lo mencionado al implementar solución se tiene un ahorro para cada periodo de estudio de al menos \$ 4177, lo que representa 57% de ahorro sobre el costo total actual para la empresa.

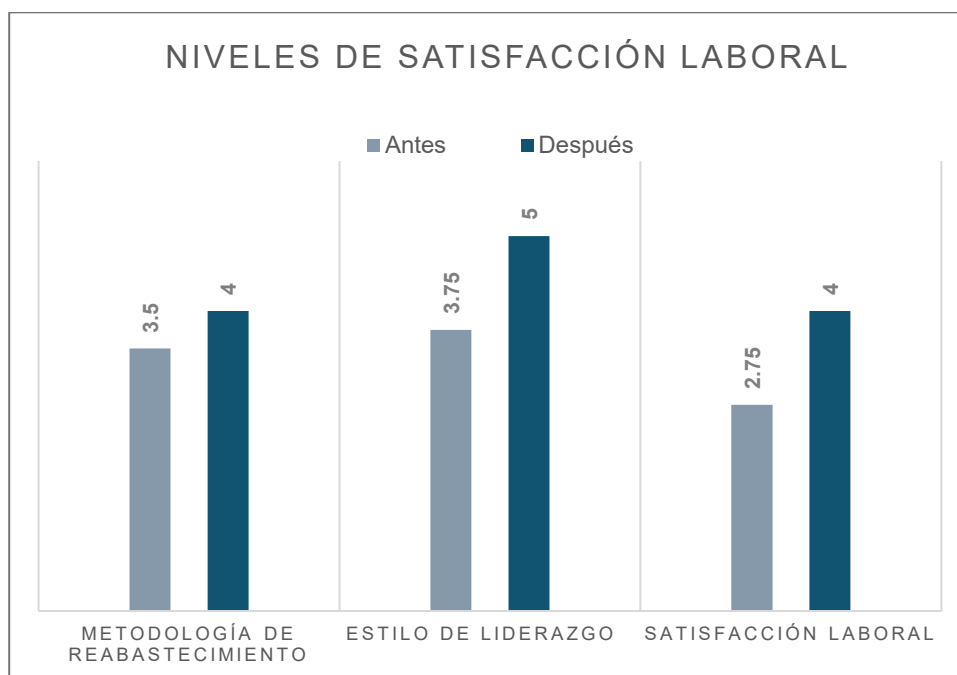
Figura 28*Costo total de inventarios semanal*

Nota. Los datos corresponden a los meses de implantación de julio y agosto, en comparación con proceso actual de enero-junio.

En la Figura 28, se muestra valores costo total que fueron obtenidos de la suma de los costos de reabastecimiento y costos de almacenamiento. El promedio costo total corresponde al periodo semanal que fue la base del estudio. Se establece un ahorro significativo de \$4177 por cada semana de reabastecimiento esto significa y traducido en porcentaje significa una reducción del 57% en costos semanal actual.

3.3.2 Impacto social

El beneficio en esta métrica recae sobre las mejoras en el método de trabajo lo cual a un corto plazo genera un aumento en la satisfacción laboral debido a la implementación de sistemas automatizados que permiten una adecuada planificación en el reabastecimiento de inventarios y establece parámetros de calidad en el ambiente de trabajo debido a la implementación de técnicas novedosas que le permitirán adquirir nuevas habilidades y que puedan adaptarse a nuevos entornos laborales.

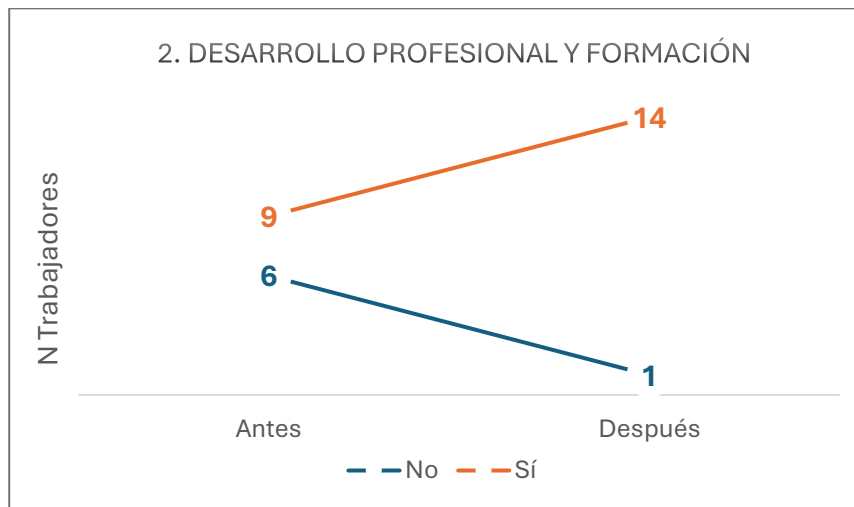
Figura 29*Resultado encuesta satisfacción laboral*

En la Figura 29, se muestra los resultados del factor social ampliamente estudiado y el efecto del impacto de la implementación del modelo de reabastecimiento por lo que se hizo nuevamente la encuesta realizada al personal de *picking* entre las cuales se realizaron las mismas preguntas para analizar y revelar las mejoras en los mismos ámbitos establecidos en la parte de recolección de datos y los resultados se detalla la evaluación en 3 categorías distintas de satisfacción.

Se observa que en metodología implementada se logró un aumento de la satisfacción hasta un nivel 4, antes situado en el nivel 3.5. De igual manera en el estilo de liderazgo se logró un nivel máximo 5, evidenciando que existe una influencia favorable del modelo implementando en la comunicación efectiva, toma de decisiones colaborativas y búsqueda constante de logros y objetivos en el área *picking*. Como resultado final se tiene la entrega por parte del personal de *picking* a la nueva metodología de reabastecimiento con un resultado de los encuestados de nivel 4.

Figura 30

Resultados de la percepción de desarrollo del puesto de trabajo



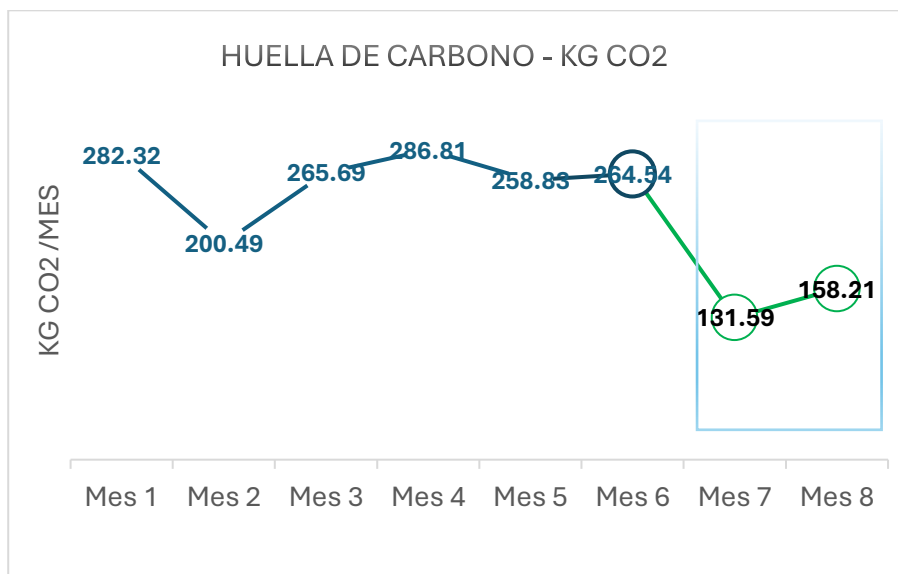
Además de los beneficios presentados anteriormente, también es importante mencionar que el personal de *picking* antes percibía que no tendría oportunidades de formación, actualmente este número de redujo considerablemente teniendo una gran acogida el proyecto implementado.

3.3.3 Impacto ambiental

En el factor ambiental se obtiene reducción de la huella de carbono, una vez implementado el modelo. Debido a que se evita los desechos por material de empaques cartón lo cual antes se derivaban un gran volumen de material a centros de reciclajes, lo que incrementa significativamente la huella de carbono. El indicador de huella de carbono tiene un impacto directo en la sostenibilidad de la empresa, a medida que aumenta el peso de material de empaque, el cual multiplicado por el factor 0.326 Kg Co2 que es por el material a base de cartón. Dentro de los primeros 6 meses se tiene un promedio de 258 Kg Co2, al implementar el modelo se observa que los dos posteriores meses una reducción al 144 kg Co2.

Figura 31

Impacto de la huella de carbono de cartón reciclado



En la Figura 31, se visualizan los resultados del impacto de la implementación del modelo en la reducción de la huella de carbono. Cabe recalcar que esta comparación esta validada para un conjunto de 105 ítems analizados en la etapa de verificación.

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

En este apartado se sintetizan los hallazgos más relevantes del estudio realizado, áreas de mejoras y el nivel de cumplimiento de los indicadores establecidos.

4.1 Conclusiones

El modelo desarrollado de reabastecimiento de inventarios cumple con todos los requisitos técnicos mostrados como requerimientos funcionales por parte del cliente. Satisface de manera eficiente las expectativas y necesidades del cliente. Entre los principales resultados se destacan:

- Se realizó el estudio crítico de la variabilidad de la demanda, identificando fluctuaciones significativas en las 16 semanas de implementación, con una desviación estándar promedio de 18.6% con respecto al pronóstico de la demanda. Se estableció la técnica de pronóstico adecuada para los dos tipos de variaciones detectadas de la demanda. Al detectar demanda errática se utilizó técnica Suavización Exponencial Simple y demanda intermitente método Syntethos Boylan.
- La reducción de los niveles de inventarios hasta en un 58% con respecto a niveles antes implementados, con lo que se asegura la reposición de lotes óptimos y a la vez económicos asegurando la disponibilidad del producto en las perchas del centro de distribución.
- Se estableció un estándar de frecuencia de reabastecimiento de 3.4 en la planificación de inventarios, logrando un incremento en la cobertura de periodos de hasta un 137% lo que significa que con esta capacidad se plantean políticas de reabastecimiento con los resultados obtenidos.
- El modelo aplica eficientemente la disciplina FIFO, priorizando los productos que ingresan primeros son aquellos en primeros en salir de inventarios. Esta dinámica prioriza el

agotamiento de lotes existentes antes de emitir la nueva orden de reabastecimiento, logrando reducir stockout y elevando el nivel de servicio.

4.2 Recomendaciones

A continuación, se presentan algunas indicaciones importantes para futuros estudios en el reabastecimiento de inventarios.

- Para refinar los parámetros costos de almacenar del modelo se recomienda considerar factores que no fueron considerados dentro del estudio como costos de servicios básicos, costos mantenimientos de perchas, entre otros.
- Continuar con el desarrollo de código para seguir automatizando tareas complementarias como las de generar alertas de stock de inventario.
- La implementación del modelo Silver-Meal actual se debe complementar con técnicas de slotting para categorizar la demanda y generar ubicaciones estratégicas dentro del centro de distribución. Incorporar estudios de dimensiones físicas de los racks para calcular la capacidad requerida para cada periodo de reabastecimiento.
- A partir de esta primera implementación de técnicas de pronósticos en la bodega como la Suavización Exponencial Simple para productos con demanda errática y Syntethos Boylan para demanda intermitente, se recomienda seguir con su aplicación sistemática y considerar nuevas técnicas que se ajuste al comportamiento de demanda de productos que no fueron contemplados en este estudio

Referencias

- Alma, V. (2018). *Diseño y layout de centros de distribución*. Pearson.
- Ballou, R. H. (2004). *Administración de la cadena de suministro*. Pearson Education.
- Barbu, C., Florea, D., Dabija, D., & Barbu, M. (2021). Experiencia del cliente en fintech. *Revista de Investigación Teórica y Aplicada en Comercio Electrónico*, 1415-1433.
- Betancourt, D. F. (2 de Septiembre de 2018). *Ingenio Empresa*. Obtenido de <https://www.ingenioempresa.com/sistema-de-revision-continua/>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Gestión de la cadena de suministro: Estrategia, planificación y operación* . Pearson.
- Cortes, J. A. (2014). Fundamentos de la Gestión de Inventarios. *Centro Editorial Esumer*, 44. *Cuentas e inversión*. (Septiembre de 2025). Obtenido de Banco de Guayaquil: https://www.bancoguayaquil.com/poliza/?utm_source=google_search&utm_medium=CPA&utm_producto=Polizas&utm_campaign=Polizas_contratacion&utm_audien a=K_POL_CAT&utm_objetivo=Conversion&utm_id=18582436734&utm_term=CA TEGORIA&utm_content=Anunciadotexto3&utm_sou
- Fernando Rojas Zúñiga, D. R. (October–December 2015). Propuesta de abastecimiento de medicamentos coordinando multiniveles de demanda. Un caso ilustrativo chileno. Pages 419-431.
- George, M. (2005). En M. George, D. Rowlands, & M. Price, *Six Sigma Packet Toolbook: A Quick Reference Guide to 100 Tools for Improving Quality and Speed* (págs. 25-28). McGraw-Hill Education.
- González, A. (2020). Un modelo de gestión de inventarios basado en estrategia competitiva. *Ingeniare*.
- Hariga, M. (1996). Lot-sizing heuristics for continuous time-varying demand and shortages. *Computers & Operations Research*, 1211-1217.

- Juan Manuel Izar Landeta, C. B. (2016). Variabilidad de la demanda del tiempo de entrega, existencias de seguridad y costo del inventario. *Science direct*, 499-513.
- Lauren Vandepauer, P. (30 de Julio de 2024). *The Carbon Footprint of Recycled Packaging*. Obtenido de Carbonfact: <https://www.carbonfact.com/blog/knowledge/yawa-recycled-packaging>
- Malicki, S., & Minner, S. (2021). The impact of initial inventory assumptions on cost performance in lot-sizing models. *European Journal of Operational Research*.
- Mankiw, N. G. (2012). *Principios de Economía* .
- Matthew J, D., & Kathryn A, M. (2013). *Stochastic and Deterministic Models and Applications* . Tsan-MIng Choi.
- Nacht, M. (2001). Operations Research. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*.
- Nandakumar, N., Saleeshya, P., & Harikumar, P. (2020). Bottleneck Identification And Process Improvement By Lean Six Sigma DMAIC Methodology. *Materials Today: Proceedings*,, 1217-1224.
- Shen, Y., Zhou, J., Pantelous, A. A., Liu, Y., & Zhang, Z. (2022). A voice of the customer real-time strategy: An integrated quality function deployment approach. *Computers & Industrial Engineering*, 50-62.
- Thanos E. Goltsos, A. A. (2022). Inventory – forecasting: Mind the gap. *European Journal of Operational Research*, 397-419.
- The Owl Solutions*. (18 de Diciembre de 2024). Obtenido de Demand patterns: <https://help.theowlsolutions.com/docs/demand-patterns>
- Vélez, M., & Castro, C. (2002). Modelo de Revisión Periódica para el Control del Inventario en Artículos con Demanda Estacional una Aproximación desde la Simulación. *DYNA*, 23-34.

Zhou, J., Zhai, L., & Pantelous, A. A. (2020). Market segmentation using high-dimensional sparse consumers data. *Expert Systems with Applications*, Volume 145.

Apéndice A

Figura 32

Encuesta realizada al personal picking

Se recopiló información para conocer de antemano la satisfacción laboral del personal. Total 15 operadores se requirió tu colaboración.

1. ¿Cuentas con los recursos necesarios para completar tus tareas y alcanzar tus objetivos? (2 puntos) *

1 2 3 4 5

2. ¿Cuentas con las oportunidades para desarrollar tus competencias y adquirir nuevas habilidades? (2 puntos) *

☐ Si

☐ No

3. ¿Tu responsable es competente, genera confianza e inspira para seguir su ejemplo? (2 puntos) *

☆ ☆ ☆ ☆ ☆

4. ¿Estás orgulloso/a de los productos/servicios que ofrecemos? (2 puntos) *

☆ ☆ ☆ ☆ ☆

5. ¿Qué es lo que más te gusta de tu puesto? (2 puntos) *

Escriba su respuesta

Apéndice B

Conteo en físico del inventario según ubicación y código del producto.

Figura 33

Ubicaciones de producto en perchas



Apéndice C

Documentos para verificación de inventario

Figura 34

Registro del conteo físico del inventario

24/4/2025						
Producto	Lote/Serie	Inventoried Q	Reserved Q	UdM	Cantidad física	Perchis
[F993201] FLEJE ACERO INOXIDABLE 3/4" x 19mm B.206 BOBINA B		118	0	MT	118	106-825 ✓
[G201299] GRAPA CALIENTE AI 6-250MCMGLV68R I		250	0	UN	250	106-815 ✓
[Z021299] ZUNCHO TELEFONICO 3/4 x 1.22MINOXIDABLE		115	0	UN	115	106-815 ✓
[G201299] GRAPA CALIENTE AI 6-250MCMGLV68R I		200	0	UN	200	106-815 ✓
[C524999] CONECTOR R.PARALELAS AI 1P2/0AWG		6	0	UN	6	106-815 ✓
[C524999] CONECTOR COMPRESION AL 4/0-500 4/0-500 HOMAC		200	0	UN	200	106-815 ✓
[F993201] FLEJE ACERO INOXIDABLE 3/4" x 19mm B.206 BOBINA B		544	0	MT	544	106-815 ✓
[Z021299] ZUNCHO TELEFONICO 3/4 x 1.22MINOXIDABLE		130	0	UN	130	106-815 ✓
[F993201] FLEJE ACERO INOXIDABLE 3/4" x 19mm B.206 BOBINA B		197.5	0	MT	197.5	106-817 ✓
[C524999] CONECTOR COMPRESION AL 4/0-500 4/0-500 HOMAC		100	0	UN	100	106-817 ✓
[Z021299] ZUNCHO TELEFONICO 3/4 x 1.22MINOXIDABLE		50	50	UN	50	106-817 ✓
[H054099] HEBILLA INOX. TELF 3/4"		423	0	UN	423	106-817 ✓
[H020299] HEBILLA INOX TELF 1/2" ERBAND		116	0	UN	116	106-817 ✓
[P231301] PERNO C/ARA/TUERCA 5/16x1 1/2" GALV.		8	0	UN	8	106-817 ✓
[P230999] PERNO C/ARA/TUERCA 1/4x1 1/2" GALVANIZADO		1	0	UN	1	106-817 ✓
[H020299] HEBILLA INOX TELF 1/2" ERBAND		100	0	UN	100	106-817 ✓
[H054099] HEBILLA INOX. TELF 3/4"		312	50	UN	312	106-818 ✓
[T450299] TORNILLOS TRIPA DE PATO No. 10x 1 1/2" 100UN		38	0	LC	38	106-818 ✓
[A091001] ANILLO PLANO GALV 3/8		2	2	LC	2	106-818 ✓
[T031501] TUERCA HEXAGONAL G.2 GALV. 3/8		2.1	2.1	LC	2.1	106-818 ✓
[P230599] PERNO C/ARA/TUERCA 1/4 x 1/2" GALV.		93	0	UN	93	106-818 ✓
[A091001] ANILLO PLANO GALV 3/8		1	0	LC	1	106-818 ✓
[T031501] TUERCA HEXAGONAL G.2 GALV. 3/8		1	0	LC	1	106-818 ✓
[P100700] PERNO MAQUINA GALV. 1/2x2" A-325 G/CALIENTE G5		300	0	UN	300	106-818 ✓
[P100900] PERNO MAQUINA GALV. 5/8x2 1/2" G/CALIENTE G5		80	0	UN	80	106-818 ✓
[T450299] TORNILLOS TRIPA DE PATO No. 10x 1 1/2" 100UN		4	0	LC	4	106-818 ✓
[P232899] PERNO C/ARA/TUERCA 1/2x 1 1/2" GALV.		574	0	UN	574	106-818 ✓
[P231899] PERNO C/ARA/TUERCA 5/16 x 3/4" GALV.		19	0	UN	19	106-818 ✓
[T450299] TORNILLOS TRIPA DE PATO No. 8x 1 1/2" 100UN		27	0	LC	27	106-818 ✓
[P232899] PERNO C/ARA/TUERCA 1/2x 1 1/2" GALV.		55	0	UN	55	106-818 ✓
[P232899] PERNO C/ARA/TUERCA 1/2x 1 1/2" GALV.		350	0	UN	350	106-818 ✓
[P100800] PERNO MAQUINA GALV. 1/2x2 1/2" G/CALIENTE G5		200	0	UN	200	106-818 ✓
[P233199] PERNO C/ARA/TUERCA 5/8 x 2" GALV.		27	0	UN	27	106-818 ✓
[T450299] TORNILLOS TRIPA DE PATO No. 10x 1 1/2" 100UN		10	0	LC	10	106-818 ✓
[T110799] TIRAFONDO 3/8 x 2		93	0	UN	93	106-818 ✓
[T110799] TIRAFONDO 3/8 x 2		89	0	UN	89	106-818 ✓

Figura 35

guías de remisión usado para la salida de mercancías

R.U.C.: 0990020264001
GUIA DE REMISION
Nº: 001-102-000029577
NUMERO DE AUTORIZACION
1706202506099002026400120011020000295770354037416
Fecha y hora de autorización: 17/06/2025 15:50:36
AMBIENTE: Producción
EMISION: Normal
CLAVE DE ACCESO:
1706202506099002026400120011020000295770354037416

29577

Razón social / Nombres y Apellidos: EDUARDO BRITO Placa: GSE-8866
Fecha inicio Transporte: 17/06/2025 Fecha fin Transporte: 24/06/2025

Traslado: Ventas
LUBR PENINSULA SOLAR G7-2 <https://maps.app.goo.gl/BLahZmkQD6vi4KVa8>
Apellidos: COMPAÑIA DE CONSTRUCCIONES Info. Contacto: +593 99 709 6468 JOHNNY LLUMITAXI OBRA
ORMO
Transportista:

Orden de Venta	Cantidad	UdM	#Paquete	#Lote
ODOR-PAD 3F 50KVA 287.9kV 240/120 C/B BAY/LB PRL	1.000	UN	PACK0021454	150093
200 15kV 200AJANG COOPER POWER EATON	2.000	UN	PACK0021454	
200 15kV 200ACHARON	2.000	UN	PACK0021454	

SE ENTREGA
CON PROTOCOLO Y
GARANTÍA

RECIBIDO POR: *Conrado Quera*
C.I: 0925501837
Fecha y hora de autorización:


```

        p_t = beta * interval + (1 - beta) * p_t1
        f = (1 - beta / 2) * z_t / p_t
        forecast.append(f)
        z_t1 = z_t
        p_t1 = p_t
        interval = 0
    else:
        if z_t0 is None or p_t0 is None:
            f = (1 - alpha / 2) * z_t1 / p_t1
        else:
            f = (1 - alpha / 2) * z_t1 / p_t1
            forecast.append(f)
        interval += 1
    print(forecast)

    colsku.append(sku)
    datos1.append(demanda)
    datos2.append((forecast))
    forecast=[]

else:
    pronosticos = [np.mean(demanda)]
    for t in range(1, len(demanda)):
        nuevo_pronostico = alpha * demanda[t - 1] + (1 - alpha) *
pronosticos[-1]
        pronosticos.append(nuevo_pronostico)
    colsku.append(sku)
    datos1.append(demanda)
    datos2.append(pronosticos)
    pronosticos=[]

# Mostrar resultados
df2 = pd.DataFrame({'CODIGO': colsku, 'CATEGORIA':category, 'demanda':
datos1, "Forecast":datos2})
df2['demanda'] = df2['demanda'].apply(lambda x: ','.join(map(str, x)))
# Convertir 'demanda' en DataFrame de 20 columnas
columnas_forecast = [f"2025-W{i+1}" for i in range(16)]
df_forecasts = pd.DataFrame(df2["Forecast"].tolist(),
columns=columnas_forecast)
# Concatenar el código con los 20 forecasts
df_out = pd.concat([df2[["CODIGO"]], df2[["CATEGORIA"]],df_forecasts],
axis=1)
print(df_out.head())
print(datos1)
print(df2)
df_out.to_csv("pronostico_syntetosfit2.csv", index=False)

```

Figura 36

Código fuente para calcular Heurística Silver Meal

```
import Silver_Meal as sv
import pandas as pd
data= pd.read_csv('pronosticos.csv')
df = pd.DataFrame(data) #Dataframe demanda
datos=[]
for index, row in df.iterrows(): #aquí se crea indice, y lista row
    sku = row['CODIGO']
    order_fixed=row['ORDER_COST']
    inventory_cost=row['HOLDING_COST']
    demanda_pronosticada = row[4:].tolist() # Excluye la columna 'sku' y recorre
    lista total periodos
    print(sku,demanda_pronosticada)
    solution = sv.silvermeal(order_fixed,inventory_cost,demanda_pronosticada)
    datos.append({'PERIODOS': [f"2025-W{i+1}" for i in
range(len(demanda_pronosticada))], 'SKU':sku, 'DEMANDA':demanda_pronosticada,
                'QUANTITY_TO_ORDER':solution,
                'ORDER_COST':order_fixed, 'HOLDING_COST': inventory_cost, 'CAT':
row['CATEGORIA']
    })

df2=pd.DataFrame(datos)
df_vertical =
df2.explode(['PERIODOS', 'DEMANDA', 'QUANTITY_TO_ORDER']).reset_index(drop=True)
print(df_vertical)
df_vertical.to_csv("Heuristica_SilverMeal4.csv", index=False)
```

Wansandre. (2020). Silver-Meal-heuristic: SilverMealHeuristic.py [Código fuente].

GitHub. <https://github.com/wansandre/Silver-Meal-heuristic/blob/main/SilverMealHeuristic.py>