

Modelo de gestión y clasificación de inventarios de mantenimiento, reparación y operaciones para una compañía avícola en Santander

Julián Fernando García Jáuregui

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Ing. David Javier Fuentes Palomino., M.Sc., Esp. Gerencia Mto.

Magister en gerencia de mantenimiento- Ingeniero Mecánico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

La presente monografía fue construida gracias al esfuerzo y apoyo de mis padres y hermano quienes constantemente estuvieron presentes en los momentos de alegría y dificultad siempre brindando su amor y mejores energías de forma incondicional.

Este logro profesional es por y para ustedes mi amada familia.

Julián Fernando García Jauregui

Agradecimiento

Quiero agradecer en primer lugar a mis compañeros de trabajo, a todo el equipo de confiabilidad quienes siempre están dispuestos a colaborar y cumplir los objetivos de la mejor manera posible y con un excelente ambiente de trabajo, más que compañeros se han vuelto mis amigos y mi familia.

Al ing. David Fuentes director de esta monografía mis más sinceros agradecimientos por siempre estar ahí como profesional y como amigo, por todo su conocimiento brindado para la realización de esta monografía y por todo el crecimiento profesional que me ha permitido desarrollar.

Agradezco también a mis profesores, compañeros y a la Universidad industrial de Santander por todas las experiencias y conocimiento adquirido durante este periodo de crecimiento profesional.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos	15
1.1. Objetivo general.....	15
1.2. Objetivos específicos	15
2. Justificación	16
3. Materiales y métodos	17
3.1. Estado del arte y fundamento teórico.....	17
4. Marco teórico	19
4.1. Criticidad de inventarios M.R.O	19
4.2. Clasificación	20
4.3. Criterio de clasificación combinada de inventarios M.R.O	22
4.4. Stock mínimo	23
4.5. Stock de seguridad	23
4.6. Punto de pedido.....	24
4.7. Tiempo de reposición.....	25
4.8. Tiempo entre pedidos.....	25
4.9. Costo de pedido de inventarios	25
4.10. Costo de almacenamiento de inventario	25
4.11. Costo de inventario total	25
4.12. Método de la cantidad económica de pedido EOQ.....	26
4.13. Riesgo de ausencia de inventarios	28
4.14. Probabilidad de no contar con inventario	29

4.15. Impacto de producción.....	29
4.16. Impacto a SST.....	30
4.17. Impacto ambiental.....	30
4.18. Impacto de mantenimiento.....	31
4.19. Método de costo-riesgo.....	31
5. Resultados.....	33
5.1. Plantilla de criticidad de equipos.....	33
5.2. Plantilla de clasificación de equipos.....	33
5.3. Plantilla de optimización de inventarios 1X-1Y-1Z.....	34
5.4. Plantilla de optimización de inventarios 2X-2Y-2Z.....	35
5.5. Plantilla de optimización de inventarios 3X-3Y-3Z.....	38
5.6. Prueba piloto clasificación e implementación de inventarios.....	41
6. Conclusiones.....	47
7. Recomendaciones.....	48
Referencias Bibliográficas.....	49
8. Apéndices.....	51

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Relevancia parámetros de clasificación inventarios</i>	19
Tabla 2 <i>Ponderación de parámetros de clasificación de inventarios</i>	19
Tabla 3 <i>Matriz de ponderación y criticidad de inventarios</i>	20
Tabla 4 <i>Distribución del porcentaje de costo de inventarios M.R.O</i>	21
Tabla 5 <i>Clasificación XYZ de inventarios M.R.O</i>	22
Tabla 6 <i>Matriz de clasificación combinada inventarios M.R.O</i>	23
Tabla 7 <i>Plantilla de ponderación de criticidad para materiales M.R.O</i>	33
Tabla 8 <i>Plantilla de clasificación para materiales M.R.O</i>	34
Tabla 9 <i>Clasificación definitiva de inventarios M.R.O</i>	34
Tabla 10 <i>Plantilla de optimización de inventarios 1X-1Y-1Z</i>	36
Tabla 11 <i>Plantilla de optimización de inventarios 2X-2Y-2Z</i>	37
Tabla 12 <i>Plantilla de optimización de inventarios 3X-3Y-3Z</i>	39
Tabla 13 <i>Muestra de datos de entrada prueba piloto (Demanda de cada material)</i>	42
Tabla 14 <i>Muestra de datos de entrada prueba piloto (Costo de cada material)</i>	42
Tabla 15 <i>Tiempos administrativos y de gestión de proveedores</i>	43
Tabla 16 <i>Clasificación obtenida en prueba piloto</i>	43
Tabla 17 <i>Resultados de optimización materiales 1X-1Y-1Z</i>	44
Tabla 18 <i>Resultados de optimización materiales 1X-1Y-1Z (costos)</i>	44
Tabla 19 <i>Resultados de optimización materiales 2X-2Y-2Z</i>	45
Tabla 20 <i>Resultados de optimización materiales 2X-2Y-2Z (costos)</i>	45
Tabla 21 <i>Resultados de optimización materiales 3X-3Y-3Z</i>	46

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Comportamiento de existencias en función del tiempo</i>	24
Figura 2 <i>Punto de pedido y comportamiento de existencias de inventarios</i>	24
Figura 3 <i>Comportamiento del costo total de inventarios</i>	26
Figura 4 <i>Modelo matemático para la determinación del EOQ</i>	27
Figura 5 <i>Impacto total en función del número de repuestos a almacenar</i>	32

Lista de Ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1 <i>Consecuencia en el cálculo de criticidad</i>	30
Ecuación 2 <i>Distribución de Poisson aplicada a inventarios M.R.O</i>	29
Ecuación 3 <i>Impacto en la producción</i>	30
Ecuación 4 <i>Impacto Ambiental</i>	30
Ecuación 5 <i>Impacto de mantenimiento</i>	31
Ecuación 6 <i>Método de costo-riesgo</i>	31

Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A Plantilla de clasificación de inventarios M.R.O	51
Apéndice B Plantilla de optimización de inventarios 1X-1Y-1Z	51
Apéndice C Plantilla de optimización de inventarios 2X-2Y-2Z	51
Apéndice D Plantilla de optimización de inventarios 3X-3Y-3Z	51
Apéndice E Información recopilada piloto de implementación	51

Glosario

Almacén: un almacén es un espacio utilizado para almacenar grandes cantidades de artículos, productos o mercancías antes de su distribución o venta.

Avicultura: la avicultura abarca la cría de aves como pollos de engorde y gallinas ponedoras, tanto a nivel familiar como industrial. Este sector es conocido por su rápido crecimiento y su flexibilidad dentro de la ganadería, siendo uno de los más destacados en términos de producción pecuaria en Colombia.

Demanda de inventarios M.R.O.: se conoce como demanda aplicada a los inventarios M.R.O. a la cantidad de elementos utilizados dentro de una instalación productiva en un intervalo de tiempo definido.

Inventario: definido por la RAE como un “asiento de los bienes y demás cosas pertenecientes a una persona o comunidad, hecho con orden y precisión”.

Inventarios M.R.O.: se define como inventarios M.R.O. al conjunto de elementos necesarios en sistemas productivos para garantizar su operación, siendo estos los asociados a mantenimiento, reparación y operaciones. Los inventarios M.R.O. Tiene tres cualidades distintivas de los demás tipos de inventarios: la diferencia entre elementos del inventario, los costos individuales de cada elemento y la demanda de cada uno de ellos.

Material consumible: se denomina material consumible a cualquier elemento cuya función satisface a un único uso y cumplida su función el material es reemplazado por otro igual sin previo uso.

Probabilidad: la probabilidad se utiliza para determinar la frecuencia de un evento específico a través de la realización de un experimento aleatorio con condiciones estables y conocidas de todos los resultados posibles.

Repuestos: definido por la RAE como un “elemento destinado a sustituir a otro de la misma clase cuando ésta se gasta o se estropea”.

Rotación de inventarios: la rotación de inventarios es una medida de la rapidez con que una empresa consume y repone sus inventarios, permite determinar la tasa de reposición de los inventarios durante un intervalo de tiempo.

Resumen

Título: Modelo de gestión y clasificación de inventarios de mantenimiento, reparación y operaciones para una compañía avícola en Santander*

Autor: Julián Fernando Garcia Jauregui**

Palabras Clave: Inventarios, mantenimiento, reparación, operaciones, criticidad, optimización, Demanda estadística, Probabilidad.

Descripción:

La presente monografía tiene como fin el desarrollo de una metodología de clasificación y optimización de los inventarios de mantenimiento, reparación y operaciones, por tal motivo se diseña una matriz de criticidad que permite clasificar los diversos materiales según el riesgo de su ausencia y su costo de adquisición para posteriormente aplicar el tratamiento estadístico respectivo a la criticidad obtenida el cual arroja como resultados la demanda del componente, el punto de reorden, la cantidad económica de pedido, la frecuencia de reorden, stock de seguridad todo lo anterior asegurando el costo total mínimo de cada material analizado.

El propósito principal del desarrollo de la metodología de optimización de inventarios de mantenimiento, reparación y operaciones es la disminución de los costos operativos de la compañía, el nivel correcto de stock y su punto de reorden adecuado resultan en costos de almacén y tiempos administrativos de gestión significativamente menores. Con el fin de comprobar la efectividad de la metodología diseñada se realiza un piloto de implementación aplicando los resultados obtenidos a un almacén típico de inventarios de mantenimiento, reparación y operaciones y se obtiene una disminución significativa en los costos de almacenamiento, compra y tenencia de los elementos junto a la obtención del número de unidades que minimizan el riesgo por ausencia de estas.

* Trabajo de grado

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: David Javier Fuentes Palomino. Magister en gerencia de mantenimiento.

Abstract

Title: Inventory management and classification model for maintenance, repair and operations for a poultry company in Santander

Author: Julián Fernando García Jauregui**

Key Words: Inventories, maintenance, repair, operations, criticality, optimization, Statistical demand, Probability.

Description: The purpose of this monograph is to develop a methodology for classifying and optimizing maintenance, repair and operations inventories. For this reason, a criticality matrix is designed to classify the various materials according to the risk of their absence and their acquisition cost, in order to subsequently apply the respective statistical treatment to the criticality obtained, which yields the component demand, reorder point, economic order quantity, reorder frequency, and safety stock, all of the above, ensuring the minimum total cost of each material analyzed.

The main purpose of developing the methodology for optimizing maintenance, repair and operations inventories is to reduce the company's operating costs. The correct level of stock and its appropriate reorder point result in significantly lower warehouse costs and administrative management times. In order to verify the effectiveness of the designed methodology, a pilot implementation is carried out by applying the results obtained to a typical maintenance, repair and operations inventory warehouse and a significant decrease is obtained in the costs of storage, purchase and possession of the elements together with obtaining the number of units that minimize the risk due to their absence.

** Degree work

Introducción

La gestión de inventarios tipo M.R.O. (Mantenimiento, reparación y operaciones) es de vital importancia para las industrias del sector avícola debido a las condiciones variadas que presentan este tipo de inventarios respecto a su clasificación, rotación y costo. El exceso de inventario en stock genera altos costos de almacenamiento, sin embargo, la ausencia de repuestos críticos genera un impacto directo en las operaciones productivas dado que se puede comprometer la totalidad de la operación por la falta de un repuesto que sea requerido durante una falla funcional de un activo crítico para la producción.

Según (Contreras, 2012) los inventarios tipo M.R.O. deben ser almacenados en bodega para garantizar las tareas de mantenimiento, mitigando así el impacto de las fallas funcionales y reduciendo el tiempo programado en labores planificadas, no obstante, se debe buscar un equilibrio óptimo con el costo de almacenamiento y capital asociado a la tenencia de grandes cantidades de inventario y su debida obsolescencia con el paso del tiempo.

Actualmente en la industria avícola, el 60% del valor total de inventarios M.R.O. corresponde a repuestos de activos críticos siendo el 40% restante materiales de alta rotación con impactos bajos asociados a la producción los cuales presentan sobre almacenamiento en bodegas y generan pérdidas en tiempo útil para gestiones debido a su constante reposición, por lo tanto, (Bolaños-Zúñiga & Vidal-Holguín, 2021) sugieren la implementación de una metodología de control de inventarios que permita determinar la cantidad óptima de stock a almacenar en bodegas garantizando la confiabilidad de los activos críticos y el punto de reorden óptimo que genere el costo mínimo de tenencia para los inventarios de menor impacto a producción.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Implementar una estrategia de gestión de inventarios M.R.O. en compañías del sector avícola basada en criticidad y métodos de optimización de tal manera que se pueda reducir en un 5% el costo total de inventario.

1.2. Objetivos específicos

Definir la metodología para determinar la criticidad de los materiales de inventarios M.R.O mediante el estudio del estado del arte de la gestión de inventarios para su aplicación a la industria avícola.

Determinar la clasificación de los materiales de inventarios M.R.O. según la ponderación de su costo de adquisición para su aplicación en la industria avícola.

Implementar los modelos de cálculo que determinen el punto de reorden, stock mismo, cantidad de pedido, stock de seguridad y tiempo de pedido, usando como base la gestión de inventarios actual, garantizando el costo mínimo de inventario para materiales de criticidad alta media y baja.

Realizar una prueba piloto aplicando las metodologías de clasificación y optimización establecidas que permita contrastar los resultados obtenidos con los valores actuales de inventario para determinar el porcentaje de ahorro económico total en la gestión de inventarios.

2. Justificación

Dentro de los sistemas integrados de gestión presentes en las industrias avícolas se desarrollan estrategias que tienen como objetivo disminuir los costos operacionales, aumentar la confiabilidad de los activos y mantener la disponibilidad de estos.

La disponibilidad de los activos y de la planta de proceso depende en gran medida de los inventarios M.R.O (Mantenimiento, reparación y operaciones) ya que contar con los elementos reparables y mantenibles necesarios al momento de requerirse garantiza la continuidad del proceso productivo, sin embargo si el control de inventarios no es adecuado se puede incurrir en sobrecostos de almacenamiento y compra de materiales, además la correcta gestión de proveedores y tiempos de entrega disminuye el tiempo empleado en labores administrativas y permitir el paso a labores estratégicas que permitan llevar el control de forma óptima al menor costo posible.

El presente trabajo busca generar un impacto positivo en los recursos económicos de las industrias avícolas gracias a la implementación de la metodología de gestión de inventarios que permite optimizar el nivel de stock y aumentar la confiabilidad de los activos logrando así una reducción en el costo total de inventarios.

Se garantiza la entrega de un proceso metodológico de fácil implementación que sirva como transmisor de conocimiento a todas las partes interesadas de la industria avícola, con pasos y secuencias claros y concisos que permitan el aprendizaje organizacional sobre la gestión óptima de inventarios M.R.O. basado en el proceso de clasificación y optimización de inventarios explicado por Contreras (2012).

3. Materiales y métodos

A continuación, se especifican las fases, actividades y recursos a emplearse en el desarrollo de la presente monografía:

3.1. Estado del arte y fundamento teórico

Búsqueda de información relevante y contextualización de la gestión de inventarios M.R.O.

- Enfoque de las diferentes metodologías hacia la industria avícola.
- Estandarización de procedimiento de determinación de criticidad de los inventarios M.R.O
- Definición de parámetros fundamentales para la determinación de la criticidad de los inventarios M.R.O en la industria avícola.
- Desarrollo de metodología de cálculo de criticidad para inventarios M.R.O. aplicada a la industria avícola.

Metodología de optimización de inventarios basada en la criticidad de cada elemento

- Definición de metodologías para la optimización de los inventarios M.R.O en la industria avícola.
- Desarrollo de metodología de cálculo para la optimización de inventarios M.R.O. según su criticidad aplicada a la industria avícola.
- Estructuración de formatos para calculo y reporte de resultados obtenidos.

Diseño de formatos y base de datos para la recopilación de información del módulo MM del ERP SAP para obtener la información necesaria respecto a los inventarios M.R.O.

- Diseño de formatos de cálculo para criticidad y optimización de inventarios.

- Diseño de formatos para reporte de indicadores y su seguimiento y control.

Desarrollo de prueba piloto con Datos reales con el fin de validar los resultados de las metodologías diseñadas:

- Selección de almacén de materiales con inventarios tipo M.R.O. para desarrollar prueba piloto.
- Recopilación de la información necesaria para alimentar las plantillas de cálculo.
- Diligenciamiento de plantillas de cálculo para determinación de criticidad de elementos y optimización de inventarios.

Análisis y entrega de resultados prueba piloto:

- Comparación de los resultados obtenidos del modelo de optimización de inventarios. respecto a los parámetros actuales de gestión de cada material.
- Determinación del ahorro económico producto de la optimización de los inventarios del almacén utilizado en la prueba piloto.
- Cuantificación del tiempo administrativo recuperado por la optimización de gestiones de compra y manejo de proveedores.
- Resultados y conclusiones de la prueba piloto.

4. Marco teórico

4.1. Criticidad de inventarios M.RO

Establece una jerarquía de los materiales en función del riesgo a la salud y seguridad que genere una falla del repuesto, la indisponibilidad que pueda generar la falla del repuesto y de los diferentes parámetros propios de cada elemento a analizar. A continuación, se muestran los parámetros más relevantes para realizar la clasificación de inventarios en la industria avícola:

Tabla 1

Relevancia parámetros de clasificación inventarios

Parámetros de análisis	Relevancia del parámetro
Salud y Seguridad	Crítico si afecta el parámetro
Indisponibilidad	5
Tiempo de entrega	4
Almacenamiento	3
Naturalidad	2
Demanda	1
Otros (editable)	1 (editable)

Cada parámetro debe ser ponderado individualmente según su criterio de afectación, los criterios de ponderación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2

Ponderación de parámetros de clasificación de inventarios

Salud y seguridad	Indisponibilidad	Tiempo de entrega	Almacenaje	Naturalidad	Demanda	Otros
Riesgo alto	Paraliza la producción (5)	Mayor a 30 días (5)	Mayor a un año (5)	Importado (3)	Impredecible (3)	Ítem (5)

Salud y seguridad	Indisponibilidad	Tiempo de entrega	Almacenaje	Naturalidad	Demanda	Otros
Riesgo bajo	Afecta parcialmente la producción (3)	Entre 10 y 30 días (3)	Entre dos meses a un año (3)	Nacional (1)	Predecible (1)	Ítem (3)
-	No afecta la producción (1)	Menor a 10 días (1)	menor a un mes (1)	-	-	Ítem (1)

Finalmente Se define como consecuencia a la suma de los productos entre la relevancia y la ponderación de cada uno de los parámetros de análisis:

Ecuación 1

Consecuencia en el cálculo de criticidad.

$$\text{Consecuencia} = Rel_{in} * Pon_{in} + Rel_{te} * Pon_{te} + Rel_{al} * Pon_{al} + Rel_{nat} * Pon_{nat} + Rel_{de} * Pon_{de} + Rel_{ot} * Pon_{ot}$$

Determinada la Consecuencia de la ausencia de cada elemento se sigue la siguiente matriz para obtener la criticidad de dicho elemento.

Tabla 3

Matriz de ponderación y criticidad de inventarios

Consecuencia	Valoración	Criticidad
Mayor o igual que 55	Ausencia del material es inaceptable producto de la indisponibilidad generada o el tiempo de reposición del material	3 (ALTA)
Entre 30 y 55	Ausencia del material no genera una indisponibilidad representativa en el proceso productivo y su tiempo de reposición es bajo	2 (MEDIA)
Menor que 30	Ausencia del material no genera una indisponibilidad en el proceso productivo y su tiempo de reposición es muy bajo	1 (BAJA)

4.2. Clasificación

La metodología de clasificación XYZ permite organizar los materiales en tres categorías en función del valor que tienen con respecto al valor total del inventario. Según

Contreras, es la mejor estrategia para analizar los materiales que impactan de forma significativa en el valor del inventario.

El criterio XYZ permite la clasificación de los materiales M.R.O. Según su valor en existencias, este análisis permite discriminar los materiales más representativos respecto al costo total de inventario. Un almacén M.R.O. suele presentar el siguiente comportamiento respecto a la cantidad de ítems almacenados:

Tabla 4

Distribución del porcentaje de costo de inventarios M.R.O

Porcentaje del total de artículos [%]	Porcentaje del costo total [%]	Demanda
5-10	80-85	Baja e impredecible
55-30	15-13	Medianamente predecible
40-60	5-2	Alta y predecible

Como se puede observar los artículos más caros del almacén representan el porcentaje más bajo de elementos en el inventario y viceversa. Es por esta razón que se hace necesaria la discriminación de los inventarios M.R.O. según su costo y según el tamaño del lote del inventario. A continuación, se describe el procedimiento para realizar la clasificación XYZ a un grupo de inventarios M.R.O

- Se necesitan como parámetros de entrada el nombre de cada uno de los repuestos del almacén junto a su costo de adquisición.
- Ordene los repuestos según su costo de adquisición de manera descendente.
- Determine el “costo acumulado” que se obtiene al sumar el costo de cada uno de los elementos de los repuestos del almacén hasta obtener el costo total de inventario.

- Determine el “Porcentaje del costo total” de cada uno de los repuestos del almacén tomando su costo de adquisición y dividiéndolo entre el costo total de inventario.
- Determine el “Porcentaje de costo acumulado” que se obtiene al sumar el porcentaje de costo de cada uno de los elementos de los repuestos del almacén hasta obtener el costo total de inventario.
- Según el porcentaje acumulado determine los repuestos X-Y-Z.
- Determinado el porcentaje acumulado del costo de inventario de cada elemento se sigue la siguiente matriz para obtener la criticidad de dicho elemento.

Tabla 5*Clasificación XYZ de inventarios M.R.O*

Porcentaje acumulado del costo de inventario [%]	Clasificación
Hasta el 85%	X (ALTA)
Entre 85-95 %	Y (MEDIA)
Entre 95-100 %	Z (BAJA)

4.3. Criterio de clasificación combinada de inventarios M.R.O

Definida la criticidad de cada uno de los elementos junto a su ponderación según el porcentaje de costo en el inventario se determina la clasificación de cada repuesto mediante la matriz de clasificación M.R.O.

Tabla 6*Matriz de clasificación combinada inventarios M.R.O*

Matriz de clasificación de materiales M.R.O.		Criticidad del material		
		3 (ALTA)	2 (MEDIA)	1 (BAJA)
Criterio XYZ según el porcentaje de costo de inventario del material	X (ALTA)	3X	2X	1X
	Y (MEDIA)	3Y	2Y	1Y
	Z (BAJA)	3Z	2Z	1Z

Dado que los materiales y sus costos presentan un comportamiento dinámico según Ortiz es necesario actualizar la clasificación del inventario, la teoría financiera recomienda realizar dichas actualizaciones de forma semestral.

4.4. Stock mínimo

Cantidad mínima de productos o materiales que una empresa debe tener en su almacén para poder seguir ofreciendo sus servicios o productos a los clientes.

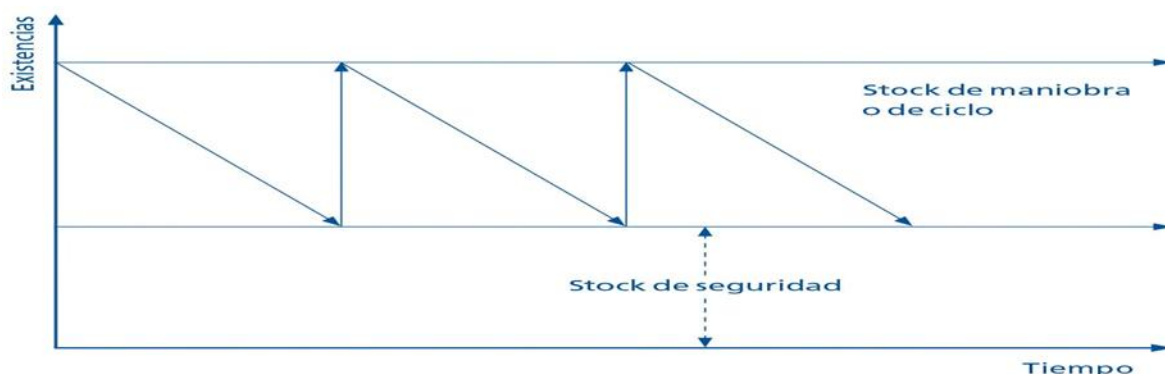
4.5. Stock de seguridad

El stock de seguridad representa el inventario adicional almacenado para manejar imprevistos como variaciones en la demanda o demoras en los proveedores. Su propósito principal es prevenir la falta de existencias.

Las existencias almacenadas se representan gráficamente con fluctuaciones, mostrando picos durante la recepción de nuevas mercancías y valles durante la expedición de productos. Según se muestra en la siguiente imagen:

Figura 1

Comportamiento de existencias en función del tiempo



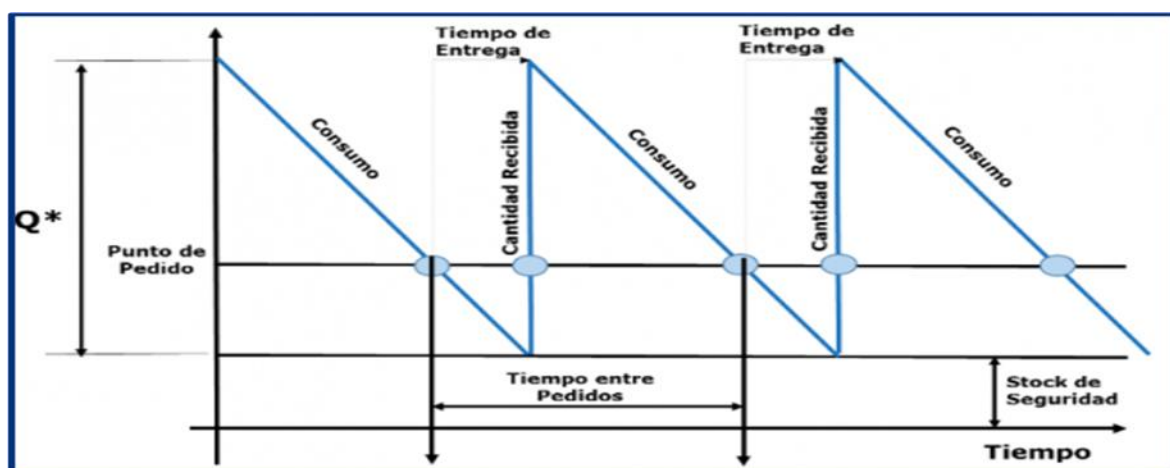
Tomado de (Predictiva, 2024)

4.6. Punto de pedido

Instante de tiempo en el comportamiento de existencias de stock en el que se debe realizar el próximo pedido para reposición de materiales con el fin de no superar un consumo mayor al stock de seguridad antes de reponer las cantidades consumidas.

Figura 2

Punto de pedido y comportamiento de existencias de inventarios



Tomado de (Predictiva, 2024)

4.7. Tiempo de reposición

El tiempo transcurrido para la ejecución de la orden de reposición de inventarios comprende el tiempo administrativo de compra, el tiempo de llegada de inventarios por parte del proveedor y el acopio en almacén de las cantidades recibidas.

4.8. Tiempo entre pedidos

Tiempo transcurrido entre dos reposiciones de material, comprende el tiempo de reposición y el tiempo de consumo del material hasta que su stock alcance un nivel igual al punto de pedido

4.9. Costo de pedido de inventarios

El costo de pedido hace referencia al valor económico correspondiente a la compra de un componente según la cantidad necesaria que se deba reponer, su valor unitario y la cantidad de pedidos que se deben realizar por año.

4.10. Costo de almacenamiento de inventario

El costo de almacenamiento se define como el costo de mantener una unidad en el almacén como stock, comprendiendo todos los elementos necesarios para dicho fin, como pueden ser, costos de energía, servicios administrativos, transporte y logística, entre otros. Siendo el costo unitario multiplicado por el total de elementos a almacenar incluyendo el stock de seguridad.

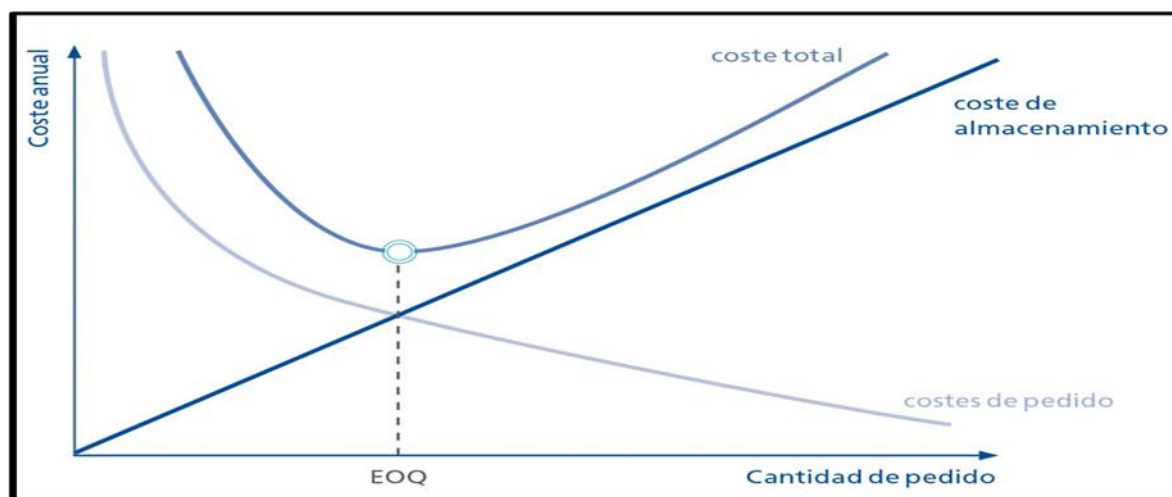
4.11. Costo de inventario total

El costo total de inventario se define como la suma entre el costo de pedido de inventario y el costo de almacenamiento de inventario, donde el costo total depende de la

cantidad de elementos que se pidan, dando lugar a la siguiente curva que representa el comportamiento del costo total de los inventarios:

Figura 3

Comportamiento del costo total de inventarios



Tomado de (Predictiva, 2024)

4.12. Método de la cantidad económica de pedido EOQ

El EOQ (Cantidad Económica de Pedido) representa la cantidad óptima de compra que reduce al mínimo los costos totales de inventario. El pedido se efectúa al alcanzar el punto de reordenamiento del inventario.

El cálculo del EOQ tiene como objetivo minimizar diversos costos, como el de compra (considerando descuentos por volumen), almacenamiento y pedido. Optimizar esta cantidad complementa la gestión de existencias de seguridad, que define el nivel ideal para activar el punto de reordenamiento del inventario.

Los requerimientos necesarios para el cálculo de la cantidad económica de pedido se muestran a continuación:

Parámetros de entrada al modelo:

Demanda mensual del material en el último año (D).

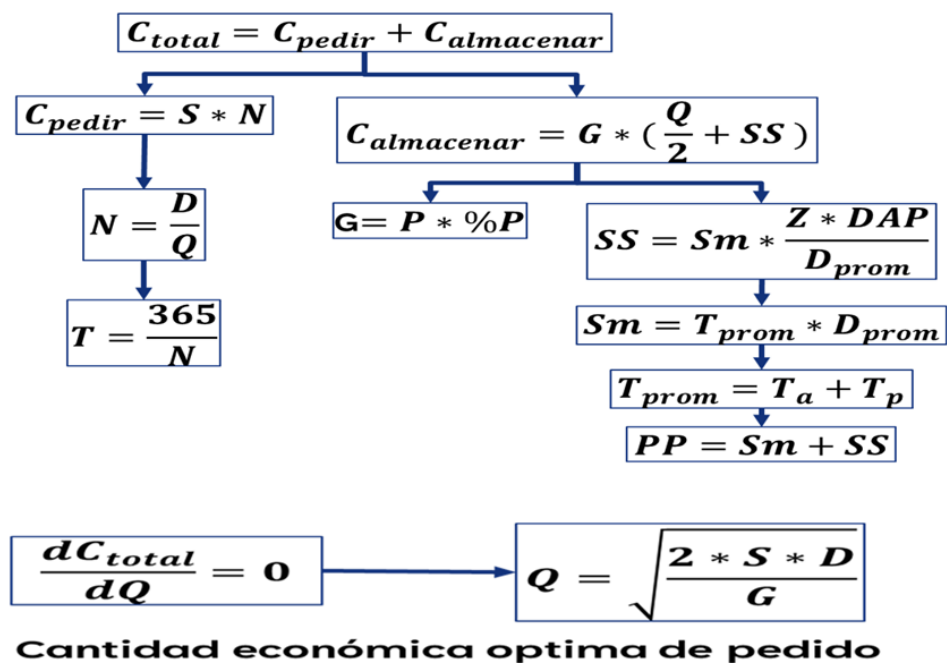
Tiempo administrativo: Tiempo empleado para realizar la gestión y compra de un pedido (T_a), consta de la selección de oferta, gestión de oferta, solicitud de pedido y contacto con proveedores.

- Tiempo del proveedor: Tiempo necesario por el proveedor para entregar el pedido (T_p), consta de la gestión del proveedor, transporte del material, nacionalización y aduanas si aplica.
- Criticidad del componente.
- Costo unitario del material (P).
- Costo de realizar un pedido (S).
- Porcentaje de costo de almacenamiento ($\%P$).

El modelo matemático para determinar la cantidad económica de pedido EOQ se muestra a continuación:

Figura 4

Modelo matemático para la determinación del EOQ



Siendo sus componentes:

- **S**=Costo de realizar un pedido.
- **D**=Demanda anual.
- **G**=Costo de mantener una unidad en el almacén.
- **Q**=Cantidad óptima de pedido.
- **N**=Número de pedidos por año.
- **SS**=Stock de seguridad.
- **T**=Tiempo entre pedidos.
- **T_{prom}**=Tiempo de reposición del material.
- **D_{prom}**=Demanda mensual promedio.
- **S_m**= Stock mínimo.
- **Z**= factor estadístico (depende la criticidad).
- **DAP**= Desviación Absoluta Promedio (factor estadístico).

4.13. Riesgo de ausencia de inventarios

El riesgo es la probabilidad de que ocurra un suceso peligroso y sus posibles consecuencias. La probabilidad de que un riesgo se materialice en daños y la magnitud de los daños (consecuencias) son los dos factores que determinan el riesgo.

La probabilidad puede expresarse cualitativamente, utilizando palabras como “frecuente”, “posible” o “raro”, o cuantitativamente, multiplicando los factores probabilidad e impacto.

Aplicando la metodología del riesgo a los inventarios M.R.O. Se contempla la probabilidad de contar con el repuesto cuando se necesite y el impacto se determina como la suma de los impactos que causa la indisponibilidad del repuesto a las diferentes áreas de la compañía según lo explica, Romero.

4.14. Probabilidad de no contar con inventario

El método utilizado por Contreras para determinar la probabilidad de no contar con inventario M.R.O. En caso de ser requerido se basa en el cálculo del nivel de confianza según el número de repuestos hipotéticos a almacenar, para lograr esto se utiliza la distribución de Poisson, donde se toma como referencia el número de fallas, la tasa de fallas y el intervalo de tiempo a considerar. Faraci plantea la expresión matemática que define la distribución de Poisson aplicada a los inventarios M.R.O. como:

Ecuación 2

Distribución de Poisson aplicada a inventarios M.R.O

$$F(k, n\lambda t) = \sum_{j=0}^k \frac{(n\lambda t)^j (e^{-n\lambda t})}{j!} \geq C$$

Donde:

- λ = Tasa de fallas.
- t = Intervalo de tiempo a considerar.
- C = Nivel de confianza de contar con un repuesto disponible cuando se requiera.
- K = Cantidad de repuesto que satisface que la probabilidad de Poisson acumulada
- $F(k; n \lambda t)$ iguala o excede el nivel de confianza preseleccionado.

4.15. Impacto de producción

Afectación que genera la indisponibilidad de un material M.R.O. criticó al departamento de producción de una compañía, se calcula mediante la siguiente expresión:

Ecuación 3

Impacto en la producción

$$IP = PP * RF * TFS * NTM + (H * C)$$

Donde:

- **PP**=Precio del producto terminado.
- **RF**=Disminución de producción [unidades/hora].
- **TFS**= Tiempo fuera de servicio [horas].
- **NTM**=Número esperado de fallas.
- **H**=Horas de retraso.
- **C**=Costo de penalización [\$/hora].

4.16. Impacto a SST

Afectación que genera la indisponibilidad de un material M.R.O. crítico al departamento de Seguridad y salud en el trabajo de la compañía, la metodología de cálculo dependerá exclusivamente de las políticas y directrices de la compañía.

4.17. Impacto ambiental

Afectación que genera la indisponibilidad de un material M.R.O. crítico al departamento ambiental de una compañía, se calcula mediante la siguiente expresión:

Ecuación 4

Impacto Ambiental

$$IA = C_{cp} + C_{ip}$$

Donde:

- **C_{cp}**=Costo de limpieza y remediación.
- **C_{ip}**=Costo de posibles efectos de contaminación.

4.18. Impacto de mantenimiento

Afectación que genera la indisponibilidad de un material M.R.O. crítico al departamento de mantenimiento de una compañía, se calcula mediante la siguiente expresión:

Ecuación 5

Impacto de mantenimiento

$$IR = CM(rp) + CL(rp) + CF(rp)$$

Donde:

- **CM(rp)**=Costo de materiales necesarios para la reparación
- **CL(rp)**=Costo de mano de obra para la reparación
- **CF(rp)**=Costo de logística para realizar la reparación.

4.19. Método de costo-riesgo

Según lo planteado por Romero la metodología de optimización costo-riesgo busca encontrar la cantidad de repuestos críticos óptima que satisfaga que el impacto económico por contar con el repuesto en caso de que se necesite sea el mínimo.

El impacto económico se define finalmente como la suma del costo total del inventario con el riesgo de la ausencia del mismo, al depender ambas cantidades del número de repuestos a almacenar, pero en proporciones contrarias existirá una cantidad óptima que minimice el impacto como se muestra:

Ecuación 6

Método de costo-riesgo

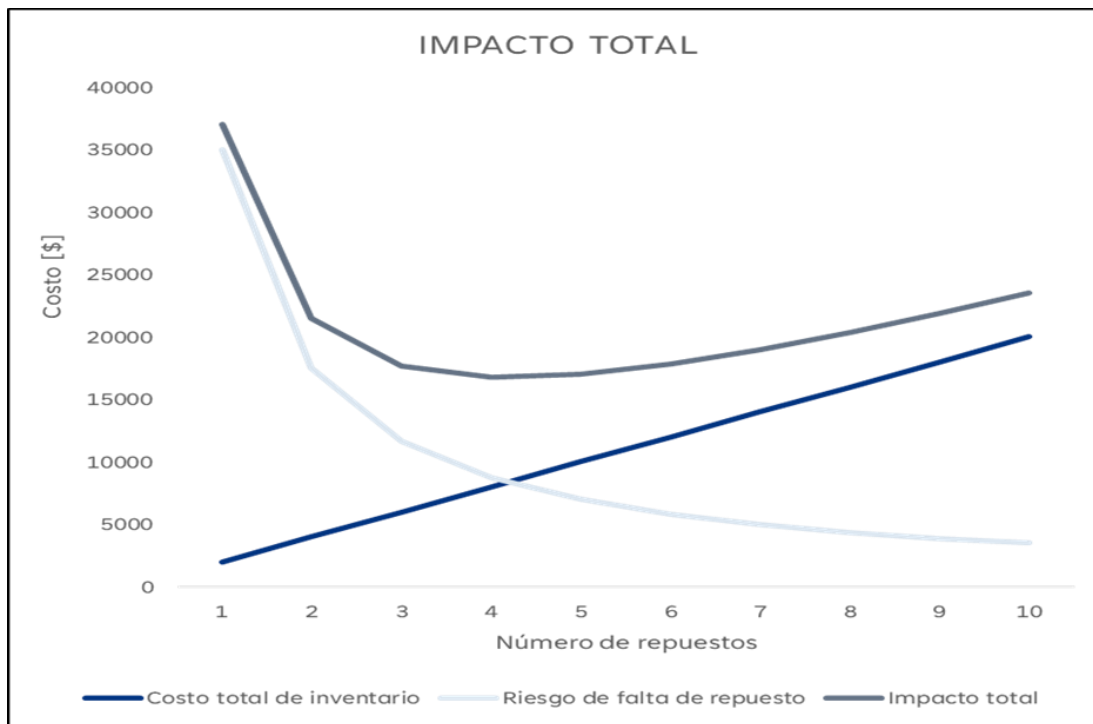
$$IMPACTO = COSTO_{total\ inventario} + RIESGO_{ausencia}$$

$$RIESGO_{ausencia} = PD > I * (IP + IS + IA + IR)$$

$$COSTO_{total} = N * (Costo_{repuesto} + Costo_{alm} + Impuestos + Depreciación + Obs + Costo_{tte})$$

Figura 5

Impacto total en función del número de repuestos a almacenar



5. Resultados


Con base al marco teórico y a la información recopilada se diseñaron las plantillas de cálculo para la determinación de la criticidad de los inventarios tipo M.R.O. y sus metodologías de optimización, a continuación, se muestran en detalle cada una de las plantillas diseñadas las cuales están disponibles como anexos de esta monografía.

5.1. Plantilla de criticidad de equipos

Se diseñó una matriz de ponderación según los parámetros establecidos previamente (Salud y seguridad, indisponibilidad, tiempo de entrega, almacenamiento, naturalidad y demanda) la cual según la clasificación asignada a cada ítem permite determinar la criticidad de cada material, siendo los materiales críticos categorizados como A, los materiales de criticidad media B y finalmente los materiales de baja criticidad C.

Tabla 7

Plantilla de ponderación de criticidad para materiales M.R.O

EQUIPO Y REPUESTO		PARAMETROS DE CRITICIDAD							PONDERACIÓN CRITICIDAD		
		SALUD & SEGURIDAD	INDISPONIBILIDAD	TIEMPO DE ENTREGA	ALMACENAMIENTO	NATURALIDAD	DEMANDA	OTROS	CONSECUENCIA	CRITICIDAD REPUESTO	
 <p style="text-align: center;">CRITICIDAD DE REPUESTOS PARA MANTENIMIENTO</p>			5	4	3	2	2	1			
		Riesgo alto	Paraliza la producción (5)	Mayor a 30 días (5)	Mayor a un año (5)	Importado (3)	Impredecible (3)	Item (5)			
		Riesgo bajo	Afecta parcialmente la producción (3)	Entre 10 y 30 días (3)	Entre dos meses a un año (3)	Nacional (1)	Predecible (1)	Item (3)			
		-	No afecta la producción (1)	Menor a 10 días (1)	menor a un mes (1)	-	-	Item (1)			
MATERIAL	PROVEEDOR	TEXTO BREVE	SALUD & SEGURIDAD	INDISPONIBILIDAD	TIEMPO DE ENTREGA	ALMACENAMIENTO	NATURALIDAD	DEMANDA	OTROS	CONSECUENCIA	CRITICIDAD REPUESTO
25795	ARDOISA - DISTRIBUCIONES	CINTA TEFLON PROFESIONAL DE 3/4"	Riesgo bajo	1	1	1	1	1	1	17	1
28123	ARDOISA - DISTRIBUCIONES	ADAPTADOR 1 MACHO PVC	Riesgo bajo	1	1	1	1	1	1	17	1
28143	ARDOISA - DISTRIBUCIONES	CODO 3/4 PVC	Riesgo bajo	1	1	1	1	1	1	17	1


5.2. Plantilla de clasificación de equipos

Se diseñó una matriz de Clasificación según el costo de los materiales que permite determinar la clasificación de cada material, siendo los materiales que abarquen el 60% del

costo acumulado del almacén los tipo 3, los materiales que abarquen el 90% del costo acumulado los tipo 2 y finalmente los que abarque el 100% del costo acumulado los tipo 1.

Tabla 8

Plantilla de clasificación para materiales M.R.O

	CLASIFICACIÓN DE REPUESTOS SEGÚN METODOLOGÍA XYZ			COSTO TOTAL DE REPUESTOS	PORCENTAJE DE COSTO TOTAL DE INVENTARIO [%]	VALOR DEL PORCENTAJE DE COSTO TOTAL DE INVENTARIO	REPUESTOS DENTRO DEL RANGO	
				\$ 2.345.243,9	60	\$ 1.407.146	6	
				NUMERO DE REPUESTOS	30	\$ 703.573	10	
				61	10	\$ 234.524	45	
ALMACEN:	COMPRAS	PARAMETROS DE COSTO DE LOS REPUESTOS			CLASIFICACIÓN DEL REPUESTO			
MATERIAL	TEXTO BREVE	COSTO REPUESTO	COSTO ACUMULADO	PORCENTAJE DEL COSTO TOTAL	PORCENTAJE ACUMULADO	CLASIFICACIÓN XYZ	CRITICIDAD	TIPO DE REPUESTO
7723916210670	CORREA DENTADA CARRO GALAXY	\$ 454.166	\$ 454.166	19,3654	19,365	X	3	3X
7723816210669	CORREA CARRO AUT GALAXY	\$ 451.730	\$ 905.896	19,2615	38,627	X	3	3X
7809413450403	GUÍA 12X150	\$ 142.605	\$ 1.048.501	6,0806	44,708	X	1	1X
773041	ARRANQUE COMPLETO YOYO GX-150	\$ 115.802	\$ 1.164.303	4,9377	49,645	X	3	3X

Finalmente, la plantilla combina el resultado de la criticidad y costo de cada material y arroja la clasificación definitiva que combina ambos ítems, siendo estas:

Tabla 9

Clasificación definitiva de inventarios M.R.O

Matriz de clasificación de materiales M.R.O.		Criticidad del material		
		3 (ALTA)	2 (MEDIA)	1 (BAJA)
Criterio XYZ según el porcentaje de costo de inventario del material	X (ALTA)	3X	2X	1X
	Y (MEDIA)	3Y	2Y	1Y
	Z (BAJA)	3Z	2Z	1Z

5.3. Plantilla de optimización de inventarios 1X-1Y-1Z

Según la teoría de optimización de inventarios y el modelo EOQ previamente explicado se diseña la plantilla para los inventarios 1X-1Y-1Z donde se requiere como parámetros de entrada los siguientes datos: Demanda mensual de consumo del componente, Tiempo administrativo para realizar la solicitud de pedido, tiempo del proveedor para la entrega del

material, la criticidad del elemento, el costo unitario del material, el costo de realizar un pedido y el porcentaje del costo total para el almacenamiento del componente.


La plantilla realiza el tratamiento estadístico de la información y aplica la metodología E.O.Q. con el factor de corrección de la desviación estándar y el nivel de servicio asociados a los materiales tipo 1X-1Y-1Z y arroja como resultado los siguientes elementos: Stock mínimo del material, stock de seguridad del material, punto de reorden, cantidad económica de pedido, número de pedidos y pedidos por año, todos los valores anteriores se relacionan con el costo óptimo del material.

5.4. Plantilla de optimización de inventarios 2X-2Y-2Z

Según la teoría de optimización de inventarios y el modelo EOQ previamente explicado se diseña la plantilla para los inventarios 2X-2Y-2Z donde se requiere como parámetros de entrada los siguientes datos: Demanda mensual de consumo del componente, Tiempo administrativo para realizar la solicitud de pedido, tiempo del proveedor para la entrega del material, la criticidad del elemento, el costo unitario del material, el costo de realizar un pedido y el porcentaje del costo total para el almacenamiento del componente.

Tabla 10

Plantilla de optimización de inventarios 1X-1Y-1Z

GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA REPUESTO 1X-1Y-1Z MACRO PEDIDO					
PLANTA:		GRUPO PLANIFICACIÓN:			
EQUIPO:		25795			
CODIGO SAP:		CINTA TEFLON PROFESIONAL DE 3/4"			
REPUESTO:		FECHA DE ACTUALIZACIÓN			
FECHA DE CREACIÓN:					
DEMANDA MENSUAL DEL COMPONENTE			TIEMPO DE REPOSICIÓN		
ENERO:	25	JULIO:	39	TIEMPO ADMINISTRATIVO (DÍAS)	5
FEBRERO:	32	AGOSTO:	45	TIEMPO DEL PROVEEDOR (DÍAS)	3
MARZO:	37	SEPTIEMBRE:	48	TIEMPO DE REPOSICIÓN (DÍAS)	8
ABRIL:	51	OCTUBRE:	35	CRITICIDAD DEL COMPONENTE	1
MAYO:	8	NOVIEMBRE:	22	IMPACTO A PRODUCCIÓN	NO AFECTA LA PRODUCCIÓN
JUNIO:	26	DICIEMBRE:	30		
DEMANDA ANUAL (UNIDADES)		398			
DEMANDA PROMEDIO (UNIDADES/MES)		33			
COSTOS ESPECIFICOS DEL COMPONENTE:					
NIVEL DE CONFIANZA (%)	80,00	NIVEL DE SERVICIO (%)	99,11	PORCENTAJE DE COSTO DE ALMACENAMIENTO	10,00%
COSTO UNITARIO DEL COMPONENTE (COP/UNIDAD):			\$ 4.122,00		
COSTO DE REALIZAR UN PEDIDO (COP/PEDIDO):			\$ 20.000,00		
COSTO DE ALMACENAMIENTO DEL COMPONENTE (COP/UNIDAD) :			\$ 412,20		
RESULTADOS					
FACTOR Z:	1		DESVIACIÓN ABSOLUTA PROMEDIO:	12,127	
STOCK MÍNIMO (UNIDADES):	9		STOCK DE SEGURIDAD (UNIDADES):	3	
PUNTO DE PEDIDO (UNIDADES REMANENTES EN STOCK):	12		CANTIDAD ECONOMICA DE PEDIDO (UNIDADES/ORDEN DE COMPRA):	197	
NÚMERO DE PEDIDOS POR AÑO:	2		COSTO ANUAL DE PEDIDO (COP):	\$ 40.504	
COSTO ANUAL DE ALMACENAMIENTO (COP):	\$ 41.626		COSTO ANUAL TOTAL DE INVENTARIO (COP):	\$ 82.129	
TIEMPO ENTRE PEDIDOS (DÍAS):	180		COSTO ANUAL TOTAL DEL COMPONENTE (COP):	\$ 1.722.685	

La plantilla realiza el tratamiento estadístico de la información y aplica la metodología E.O.Q. con el factor de corrección de la desviación estándar y el nivel de servicio asociados a los materiales tipo 2X-2Y-2Z, teniendo como parámetro clave un nivel de confianza del 95% y arroja como resultado los siguientes elementos: Stock mínimo del material, stock de seguridad del material, punto de reorden, cantidad económica de pedido, número de pedidos y pedidos por año, Con los datos obtenidos la plantilla entrega el comportamiento del costo anual de almacenamiento, el costo anual de pedido y el costo total de inventario en función de la cantidad económica de pedido, mostrando gráficamente el valor E.O.Q que minimiza el costo total de inventario.

De esta forma se determinan las cantidades de stocks necesarias de cada componente con clasificación 2X-2Y-2Z, posteriormente se realiza un cuadro resumen de cada elemento y con esto se obtienen las necesidades de almacenamiento del almacén de repuestos.

Tabla 11

Plantilla de optimización de inventarios 2X-2Y-2Z

GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA REPUESTO 2X-2Y-2Z MODELO EQ				GRUPO PLANIFICACIÓN:	
(CANTIDAD ECONOMICA DE PEDIDO)				RCM	
				MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	
PLANTA:				29152	
EQUIPO:				POLIURETANO COMPONENTE A	
CODIGO SAP:				FECHA DE ACTUALIZACIÓN	
REPUESTO:					
FECHA DE CREACIÓN:					
DEMANDA MENSUAL DEL COMPONENTE			TIEMPO DE REPOSICIÓN		
ENERO:	30	JULIO:	13	TIEMPO ADMINISTRATIVO (DÍAS)	5
FEBRERO:	12	AGOSTO:	176	TIEMPO DEL PROVEEDOR (DÍAS)	3
MARZO:	92	SEPTIEMBRE:	107	TIEMPO DE REPOSICIÓN (DÍAS)	8
ABRIL:	56	OCTUBRE:	100	CRITICIDAD DEL COMPONENTE	2
MAYO:	16	NOVIEMBRE:	58	IMPACTO A PRODUCCIÓN	AFFECTA PARCIALMENTE LA PRODUCCIÓN
JUNIO:	52	DICIEMBRE:	60		
DEMANDA ANUAL (UNIDADES)	772				
DEMANDA PROMEDIO (UNIDADES/MES)	64				
COSTOS ESPECIFICOS DEL COMPONENTE:					
NIVEL DE CONFIANZA (%)	95,00	NIVEL DE SERVICIO (%)	99,35	PORCENTAJE DE COSTO DE ALMACENAMIENTO	10,00%
COSTO UNITARIO DEL COMPONENTE (COP/UNIDAD):				\$	18.468,00
COSTO DE REALIZAR UN PEDIDO (COP/PEDIDO):				\$	20.000,00
COSTO DE ALMACENAMIENTO DEL COMPONENTE (COP/UNIDAD):				\$	1.846,80

RESULTADOS			
FACTOR Z:	2	DESVIACIÓN ABSOLUTA PROMEDIO:	48,144
STOCK MINIMO (UNIDADES):	17	STOCK DE SEGURIDAD (UNIDADES):	21
PUNTO DE PEDIDO (UNIDADES REMANENTES EN STOCK):	38	CANTIDAD ECONOMICA DE PEDIDO (UNIDADES/ORDEN DE COMPRA):	129
NÚMERO DE PEDIDOS POR AÑO:	6	COSTO ANUAL DE PEDIDO (COP):	\$ 119.404
COSTO ANUAL DE ALMACENAMIENTO (COP):	\$ 158.404	COSTO ANUAL TOTAL DE INVENTARIO (COP):	\$ 277.808
TIEMPO ENTRE PEDIDOS (DÍAS):	61	COSTO ANUAL TOTAL DEL COMPONENTE (COP):	\$ 14.535.104
DATOS PARA GRAFICA DE COSTOS EQ			
TAMAÑO DEL LOTE (UNIDADES)	COSTO ANUAL DE PEDIDO (COP/AÑO)	COSTO ANUAL DE ALMACENAMIENTO (COP/AÑO)	COSTO ANUAL TOTAL DE INVENTARIO (COP/AÑO)
8,08	\$ 1.910.463	\$ 7.463	\$ 1.917.925
16,16	\$ 955.231	\$ 14.925	\$ 970.157
32,33	\$ 477.616	\$ 29.851	\$ 507.467
64,65	\$ 238.808	\$ 59.702	\$ 298.510
129	\$ 119.404	\$ 119.404	\$ 238.808
258,62	\$ 59.702	\$ 238.808	\$ 298.510
517,24	\$ 29.851	\$ 477.616	\$ 507.467
1034,47	\$ 14.925	\$ 955.231	\$ 970.157
2068,94	\$ 7.463	\$ 1.910.463	\$ 1.917.925



5.5. Plantilla de optimización de inventarios 3X-3Y-3Z

La optimización de materiales críticos o con clasificación 3X-3Y-3Z requiere de un proceso de tratamiento de la información diferente a la de los materiales de baja y media criticidad, La plantilla aplica la metodología de optimización costo-riesgo, donde se determina el riesgo de la ausencia del repuesto y su costo de tenencia en almacén con el fin de obtener el modelo de impacto total y su respectiva curva que de manera gráfica muestra la cantidad de repuestos óptima que minimiza el riesgo y el costo total de inventario.

La plantilla calcula el costo total de inventario donde se deben tener como dato de entrada el costo unitario, costo de almacenaje, impuestos, depreciación, obsolescencia y costo de transporte del elemento a analizar.

Posterior al cálculo del costo se determina el riesgo por ausencia del repuesto, donde se deben considerar los diferentes impactos que se puedan generar a los departamentos de la compañía que necesiten directa o indirectamente del componente, por ejemplo, producción, seguridad y salud en el trabajo, gestión ambiental, calidad y mantenimiento. Con los impactos calculados se procede a obtener la probabilidad de que la demanda del repuesto supere a su stock en inventario, finalmente el riesgo será la multiplicación entre la probabilidad y la consecuencia de los impactos.


La plantilla también implementa la metodología de repuestos basados en confiabilidad donde con base a la tasa de fallas de cada componente y al periodo de tiempo en el que se va a realizar el análisis se obtiene el cálculo de la función de densidad y la probabilidad acumulada mediante la distribución de Poisson individual y acumulada, Se obtiene de esta forma el nivel de confianza estadístico de contar con el repuesto cuando se requiera, este nivel irá aumentando en función del número de repuestos a almacenar y se contrasta con el nivel de confianza requerido.

Como se puede observar se tendrán dos valores de stock, el stock que garantiza la optimización del costo y del riesgo y el stock que garantiza un nivel de confianza determinado, según sea el caso si la opción del costo óptimo requiere mayor stock que la del nivel de confianza se escoge esta, caso contrario se toma el nivel de stock que garantiza el nivel de confianza requerido.

Tabla 12

Plantilla de optimización de inventarios 3X-3Y-3Z


GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA REPUESTOS 3X-3Y-3Z MODELO DE OPTIMIZACIÓN CONFIABILIDAD-RIESGO



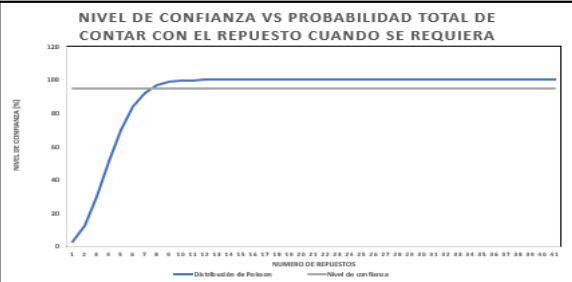
PLANTA				GRUPO PLANIFICACIÓN			
EQUIPO				FECHA DE CREACIÓN			
CODIGO SAP		7238		FECHA DE ACTUALIZACIÓN			
REPUESTO		6210646 CORREA CARRILLO AUT GALAXY		VERSIÓN			

CALCULO DE LA PROBABILIDAD DE CONTAR CON EL REPUESTO CUANDO SE REQUIERA

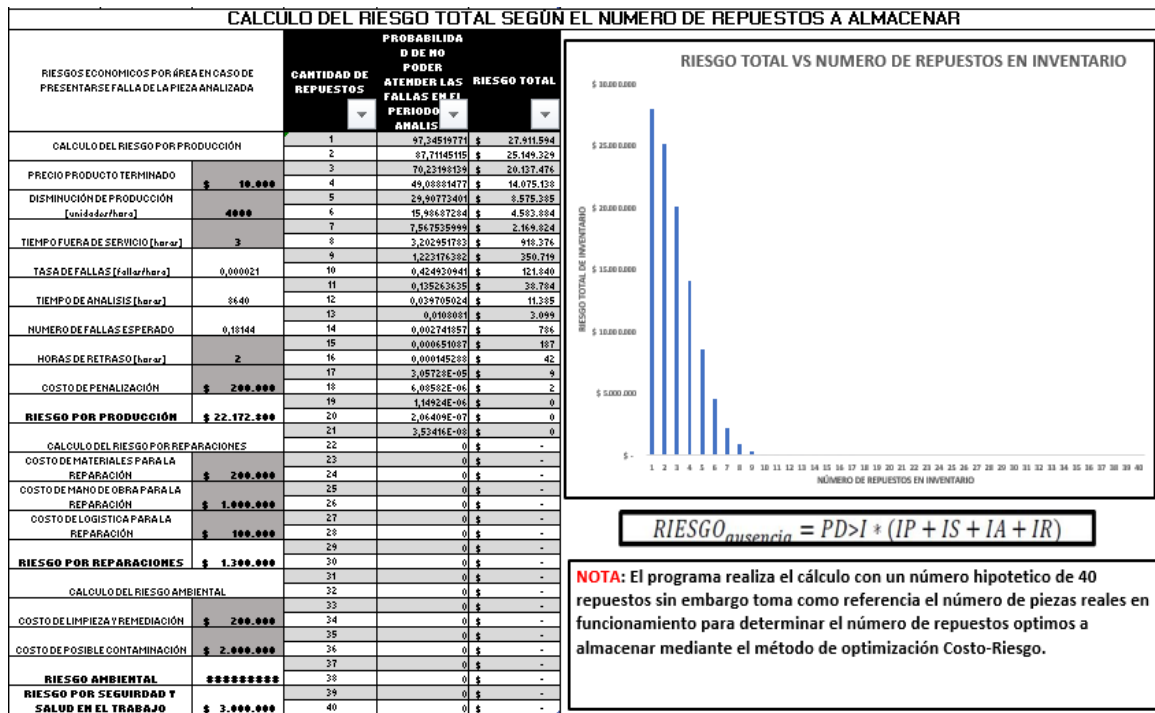
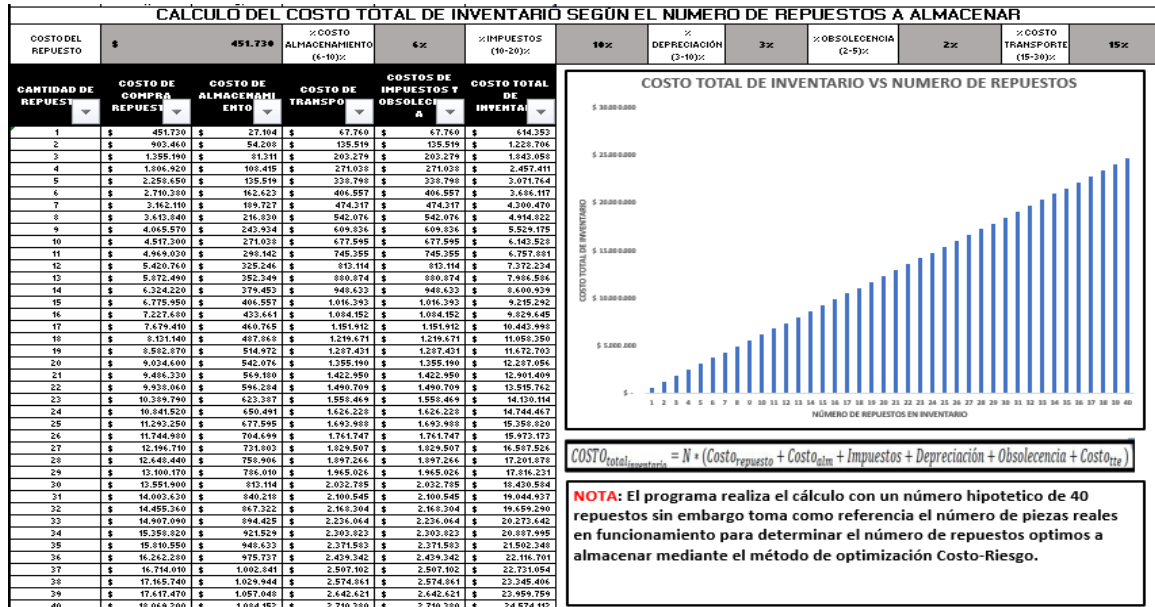
TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO EN EL PERIODO DE INTERÉS [meses]	12	TASA DE FALLAS [fallas/hora]	0.000021	PRODUCTO (λ×t)	3.42840
NUMERO DE COMPONENTES EN FUNCIONAMIENTO	NUMERO DE COMPONENTES QUE FALLAN	NUMERO DE COMPONENTES QUE NO FALLAN	NIVEL DE CONFIANZA DESEADO PARA ATENDER LA FALLA	VALORES INDIVIDUALES	VALORES ACUMULADOS
n	k	n-k	MC [σ]	Poisson individual	Poisson acumulada
20	0	20	95	2.454802293	2.454802293
20	1	19	95	3.423746961	12.23184105
20	2	18	95	17.47946976	29.74801641
20	3	17	95	21.14316442	50.91118223
20	4	16	95	19.1100076	70.0228599
20	5	15	95	12.9205117	84.0132716
20	6	14	95	8.419324327	92.422464
20	7	13	95	4.364944236	96.7970422
20	8	12	95	1.9797754	99.77423262
20	9	11	95	0.798248441	99.97506496
20	10	10	95	0.219647206	99.98472627
20	11	9	95	0.049558411	99.99026496
20	12	8	95	0.028994924	99.991919
20	13	7	95	0.008064243	99.99725104
20	14	6	95	0.002200277	99.99924993
20	15	5	95	0.000505799	99.9998471
20	16	4	95	0.000114715	99.9999642
20	17	3	95	2.4817E-05	99.99999391
20	18	2	95	4.92358E-06	99.99999985
20	19	1	95	9.42834E-07	99.99999979
20	20	0	95	1.71061E-07	99.99999996
20	21	-1	95	0	100
20	22	-2	95	0	100
20	23	-3	95	0	100
20	24	-4	95	0	100
20	25	-5	95	0	100
20	26	-6	95	0	100
20	27	-7	95	0	100
20	28	-8	95	0	100
20	29	-9	95	0	100
20	30	-10	95	0	100
20	31	-11	95	0	100
20	32	-12	95	0	100
20	33	-13	95	0	100
20	34	-14	95	0	100
20	35	-15	95	0	100
20	36	-16	95	0	100
20	37	-17	95	0	100
20	38	-18	95	0	100
20	39	-19	95	0	100
20	40	-20	95	0	100

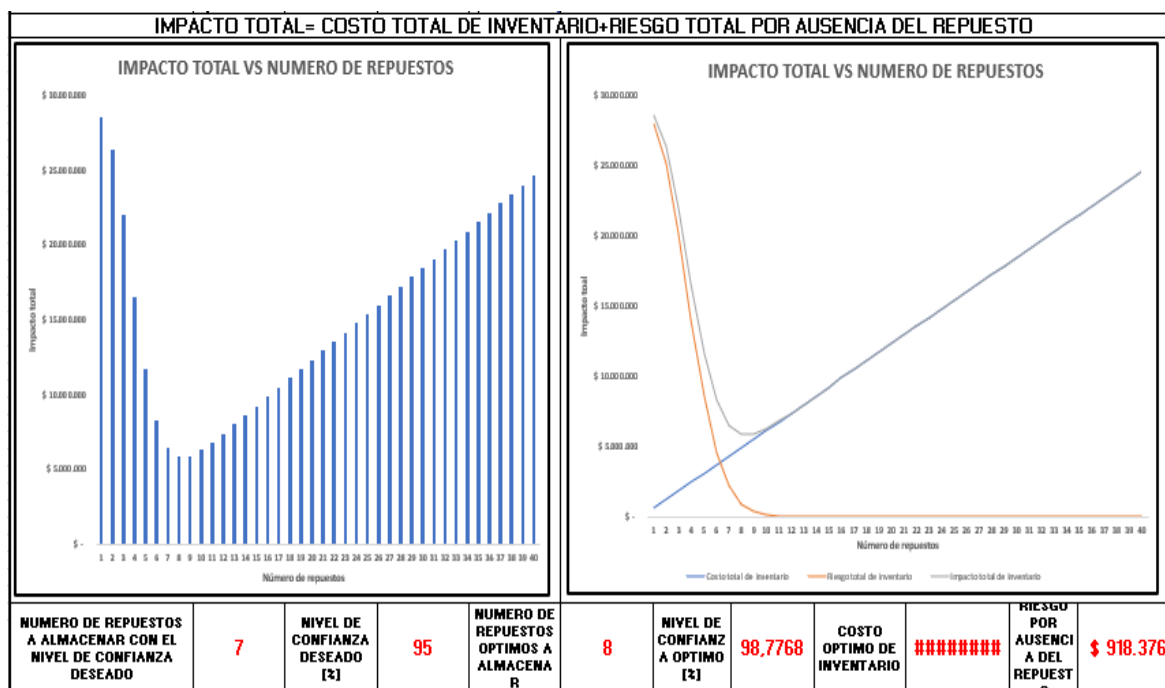


PROBABILIDAD INDIVIDUAL DE CONTAR CON EL REPUESTO CUANDO SE REQUIERA



NIVEL DE CONFIANZA VS PROBABILIDAD TOTAL DE CONTAR CON EL REPUESTO CUANDO SE REQUIERA





5.6. Prueba piloto clasificación e implementación de inventarios

Se realizó una prueba piloto cuyo fin fue comprobar la eficacia de las plantillas diseñadas verificando la diferencia anual en costo y tiempo administrativo que se generaba operando el sistema de gestión de inventarios M.R.O. según los datos obtenidos de las plantillas.

Se escogió como prueba piloto un almacén de inventarios M.R.O. perteneciente al departamento de compras y se seleccionó una muestra aleatoria de 61 materiales correspondiente al 10% del total de materiales de dicho almacén.

El desarrollo de la prueba pilotó consistió en obtener del sistema de información de la compañía los datos necesarios y previamente detallados en el desarrollo de las plantillas los cuales son necesarios para obtener los parámetros optimizados de rotación, stock, pedidos y costo óptimo.

Posteriormente se realizó la clasificación de cada uno de los materiales utilizando la plantilla desarrollada.

Se recolectó la información base necesaria y se unificó en un documento Excel como se muestra a continuación:

Tabla 13

Muestra de datos de entrada prueba piloto (Demanda de cada material)

DEMANDA		Fecha											
Material	ene	feb	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total general	
70571	75	105	172	73	197	278	140	36	26	26	24	1152	
70588	45	59	90	31	82	36	126	47	14	64	40	634	
70637	31	36	21	21	20	22	71	13	34	23	25	317	
71170	8	2	6	9	5	5	11	6	1	5	8	66	
71946	7	8	4	3	12	8	11	6	5	7	3	74	
73116	10	19	28	16	10	8	28	15	8	8	14	164	
74796	23	35	78	55	72	17	50	28	24	22	46	450	
75761	10	20		16	11		19	6	8	11	14	115	
76738	2		5	7	2	21	8		3	7		55	
77202	2		3			2						7	
77238			4			2						6	
77239	4		4			2	2					12	
77240			10			10		18				38	
77304					2		2					4	
78094			4	2								6	
78099			8	6								14	
85777	40		20	40	30		80	30	20	40		300	
86642	10		50				210		114			384	
111218			4	4								8	
Total general	10919	10118	26795	13324	15561	16092	26596	12099	12819	10708	13211	168242	

Tabla 14

Muestra de datos de entrada prueba piloto (Costo de cada material)

Material	Cantidades	Costo total	Costo individual
70273	424	\$ 226.623,00	\$ 534
70274	792	\$ 325.628,00	\$ 411
70561	1617	\$ 143.486,00	\$ 89
70571	1152	\$ 199.436,00	\$ 173
70588	634	\$ 266.680,00	\$ 421
70637	317	\$ 9.950.874,00	\$ 31.391
71170	66	\$ 6.888.371,00	\$ 104.369
71946	74	\$ 4.614.205,00	\$ 62.354
73116	164	\$ 594.307,00	\$ 3.624
74796	450	\$ 1.856.975,00	\$ 4.127
75761	115	\$ 457.694,00	\$ 3.980
76738	55	\$ 5.903.859,00	\$ 107.343
77202	7	\$ 505.541,00	\$ 72.220
77238	6	\$ 2.710.378,00	\$ 451.730
77239	12	\$ 5.449.994,00	\$ 454.166
77240	38	\$ 3.234.868,00	\$ 85.128
77304	4	\$ 463.209,00	\$ 115.802
78094	6	\$ 855.629,00	\$ 142.605
78099	14	\$ 170.449,00	\$ 12.175
85777	300	\$ 32.000.000,00	\$ 106.667
86642	384	\$ 234.177,00	\$ 610
111218	8	\$ 911.449,00	\$ 113.931
Total general	168242	\$ 356.357.275,00	\$ 2.118

Los tiempos de gestión administrativos y de proveedores se muestran en la siguiente tabla

Tabla 15

Tiempos administrativos y de gestión de proveedores

MATERIAL	TIEMPO (días)	
	ADMINISTRATIVO	PROVEEDOR
Facil consecución	5	3
Fabricación	5	10
Importación por el proveedor	5	30
Importación propia	15	60

Se procedió a diligenciar la plantilla de clasificación para los 61 materiales del piloto y se obtuvo la siguiente clasificación:

Tabla 16

Clasificación obtenida en prueba piloto

TOATAL DE REPUESTOS		61	%	CRITICIDAD
TIPO DE REPUESTO	CANTIDAD	% DEL TOTAL		
1X	1	2%	62%	C
1Y	4	7%		
1Z	33	54%		
2X	2	3%	33%	B
2Y	6	10%		
2Z	12	20%		
3X	3	5%	5%	A
3Y	0	0%		
3Z	0	0%		

Con la clasificación determinada y los datos de entrada previamente obtenidos se diligenciaron las plantillas según el tipo de cada material de la prueba piloto y se obtuvo el comparativo entre la gestión actual y los parámetros optimizados, a continuación, se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 17

Resultados de optimización materiales 1X-1Y-1Z

MATERIAL	TEXTO BREVE	STOCK			EQQ		PEDIDOS POR AÑO		COSTO ANUAL INVENTARIO	
		MINIMO	SEGURIDAD	PUNTO DE PEDIDO	PILOTO	ACTUAL	PILOTO	ACTUAL	PILOTO	ACTUAL
25795	CINTA TEFLON PROFESIONAL DE 3/4"	9	3	12	197	60	2	7	\$ 1.722.685,42	\$ 1.755.356,40
28123	ADAPTADOR 1 MACHO PVC	4	3	6	243	30	1	6	\$ 211.931,44	\$ 197.379,69
28143	CODO 3/4 PVC	5	3	8	352	40	1	5	\$ 164.606,88	\$ 150.599,29
28307	TERMINAL PVC 1/2	23	15	38	1671	100	1	11	\$ 184.610,32	\$ 170.279,80
62654	TOMA CORRIENTE DOBLE	16	7	22	255	20	3	36	\$ 3.218.563,67	\$ 3.321.441,57
62863	CABLE COBRE AISLADO THHN/THWN 10 AWG	56	46	102	601	200	4	13	\$ 7.168.860,69	\$ 7.479.380,25
63137	EMPAQUE 2228 305.00.	5	2	7	208	24	1	10	\$ 542.102,42	\$ 531.900,21
63138	ANILLOS 2228 306.02.	0	1	1	25	12	1	1	\$ 189.564,43	\$ 174.893,64
63140	EMPAQUE 2228 308.00.	5	3	8	202	24	1	10	\$ 629.585,51	\$ 621.361,84
63158	CAJA RESORTE 2228 603.10.	0	0	0	11	3	1	2	\$ 130.889,07	\$ 117.343,69
63162	BUJES METALICOS 2228 615.00.	0	0	1	25	10	1	2	\$ 164.028,50	\$ 59.916,79
63166	CAPASILLO 2228 619.00.	0	0	0	41	10	0	1	\$ 22.653,22	\$ 15.926,95
63727	CHUPA PISTON	5	2	7	99	20	2	11	\$ 2.201.669,94	\$ 2.255.741,90
63732	CAJA RECTANGULAR PLASTICA	17	8	25	888	50	1	15	\$ 329.929,84	\$ 315.652,14
64272	DEDO ROJO PARA DESPLUMADORA DUREZA 60-65	1864	529	2393	5486	8000	15	10	\$ 94.219.176,36	\$ 100.134.101,04
64439	GANCHO DESPRESE PESAJE PLADESAN NACIONAL	16	8	24	218	100	3	7	\$ 4.250.676,01	\$ 4.405.939,00
64440	GANCHO SELECCION PESAJE PLADESAN NAL.	44	21	65	365	200	5	10	\$ 11.972.698,00	\$ 12.566.030,78
65453	RODAMIENTO 6005 2RS	15	6	21	148	70	5	10	\$ 8.778.119,89	\$ 9.186.168,28
65571	RUEDA DIRECCIONAL CON RODAMIENTO DE BOLA	3	1	4	24	10	5	12	\$ 9.536.718,79	\$ 9.988.557,00
65576	RUEDA DE NYLON 2" 5/8 CON RODAMIENTO	7	4	11	44	20	8	17	\$ 23.783.054,79	\$ 25.092.798,98
67353	CINTA AISLANTE NEGRA	4	2	6	169	50	1	3	\$ 457.532,09	\$ 445.300,83
67380	PLAFON PLASTICO CON ROGETA	27	18	45	514	100	2	12	\$ 2.410.840,46	\$ 2.473.281,46
67596	AMARRE ELECTRICO DE 20 CMS	382	184	566	11615	1500	1	11	\$ 937.373,69	\$ 930.626,08
67717	CINTA ADHESIVA TERMICA 1.25" X 25 MTS	3	2	5	28	10	5	15	\$ 11.166.941,28	\$ 11.708.810,98
68979	EMPAQUE 2228 303 33	6	3	9	229	24	1	11	\$ 619.121,37	\$ 610.559,12
69176	DEDO DESPLUMADORA DUREZA 50-55 AMARILLO	798	343	1141	3587	2000	10	18	\$ 40.502.998,02	\$ 42.868.096,72
69302	TUBO CONDUIT PVC 1/2"	16	13	29	244	40	3	18	\$ 3.521.148,14	\$ 3.636.188,49
70273	CONECTOR DE RESORTE 3M ROJO-AMARILLO	9	15	24	550	100	1	4	\$ 245.897,09	\$ 242.486,61
70274	CONECTOR DE RESORTE 3M AZUL-NARANJA	18	15	33	878	50	1	16	\$ 362.217,85	\$ 348.421,96
70561	ARANDELA INOX PARA TORNILLO 1/4	36	21	56	2696	200	1	8	\$ 168.088,26	\$ 153.530,02
70571	ARANDELA INOX PARA TORNILLO 3/8	26	19	44	1632	200	1	6	\$ 227.851,24	\$ 213.396,52
70588	CURVA PVC CONDUIT 1/2"	14	7	21	776	70	1	9	\$ 299.872,92	\$ 285.347,60
70637	CHUPA EMBOLO 8MM POSICION 9	7	2	9	64	20	5	16	\$ 10.091.845,44	\$ 10.647.435,18
74796	INTERRUPTOR SENCILLO 15 A 120V	10	5	15	209	25	2	18	\$ 1.945.273,96	\$ 1.986.963,25
75761	ANILLO DE LA TUERCA PARTE #5	3	1	4	108	10	1	12	\$ 501.007,94	\$ 489.732,58
78094	3480488 GUIA 12X150	0	0	0	4	8	1	1	\$ 918.111,07	\$ 915.523,03
78099	3480454 CASQUILLO 12,25X19,1X15	0	1	1	21	16	1	1	\$ 197.314,89	\$ 182.380,43
86642	PIN INOXIDABLE 4MM X 40MM	9	11	19	502	500	1	1	\$ 265.507,77	\$ 250.569,39

La metodología de optimización de inventarios 1X-1Y-1Z garantizó una disminución del costo anual de inventario del 5% según muestra la siguiente gráfica.

Tabla 18

Resultados de optimización materiales 1X-1Y-1Z (costos)

COSTO TOTAL INVENTARIO	PILOTO	ACTUAL
		\$ 244.261.055
% DIFERENCIA	5%	

Tabla 19*Resultados de optimización materiales 2X-2Y-2Z*

MATERIAL	TEXTO BREVE	STOCK			EOQ		PEDIDOS POR AÑO		COSTO ANUAL INVENTARIO	
		MINIMO	SEGURIDAD	PUNTO DE PEDIDO	PILOTO	ACTUAL	PILOTO	ACTUAL	PILOTO	ACTUAL
29152	POLIURETANO COMPONENTE A	17	21	38	129	240	6	3	\$ 14.535.104	\$ 15.255.091
29153	POLIURETANO COMPONENTE B	17	21	38	127	240	6	3	\$ 14.995.614	\$ 15.742.341
60050	TORNILLO VALVULA ADMISION POS 29	0	1	1	16	6	1	3	\$ 421.331	\$ 406.750
63139	EMPAQUE 2228.307.00	15	17	32	339	72	2	9	\$ 1.669.110	\$ 1.696.587
63170	ANILLO REFERENCIA 2228.623.00	0	1	1	31	10	0	1	\$ 76.932	\$ 65.241
63473	BUJIAS MOTOR HONDA (PATA CORTA)	2	3	5	27	10	1	2	\$ 187.437	\$ 170.247
63474	BUJIAS MOTOR HONDA (PATA LARGA)	2	3	5	35	10	1	2	\$ 205.836	\$ 189.230
63475	BUJIAS MOTOR HONDA PATA MEDIA	0	1	1	11	5	0	1	\$ 40.310	\$ 30.495
63628	CANASTILLA CON TAPA PLADESAN	12	17	29	95	50	3	6	\$ 3.908.063	\$ 4.026.654
66828	PIN LARGO CADENA	167	194	361	3423	500	2	15	\$ 2.012.614	\$ 2.054.397
68335	RUEDA 5 SC	11	15	26	60	40	4	7	\$ 7.958.407	\$ 8.279.660
70040	FUSIBLE EN TEFLON PARA DESPRESE	56	77	133	298	200	5	7	\$ 8.415.229	\$ 9.760.660
71170	CONTACTOR LC 1 D 09 M7 220 V	1	1	3	16	10	4	7	\$ 7.065.977	\$ 7.370.557
71946	CAMISA DE LA VALVULA PIE 3/4POS21	3	2	5	22	10	3	7	\$ 4.764.025	\$ 4.937.199
73116	ANILLO INTERIOR BOMBA POS 16	4	3	6	135	10	1	16	\$ 644.049	\$ 635.908
76738	057342 BOBINA SOLENOIDE AMG 240V	1	3	4	14	20	4	3	\$ 6.084.805	\$ 6.317.129
77202	9371124 CABEZA ROTULA GIKFR08PW	1	2	3	6	5	1	1	\$ 565.376	\$ 540.929
77240	6210686 SUBCONJUNTO TACO OSCILANTE	2	5	7	13	50	3	1	\$ 3.391.027	\$ 3.461.309
85777	CADENA CARDANICA 1400 TAB	13	14	27	34	60	9	5	\$ 32.509.817	\$ 36.240.000
111218	3480516 EJE LONGITUDINAL PINZAS LATER	0	1	2	5	10	2	1	\$ 986.417	\$ 975.250

La metodología de optimización de inventarios 2X-2Y-2Z garantizó una disminución del costo anual de inventario del 7% según muestra la siguiente gráfica.

Tabla 20*Resultados de optimización materiales 2X-2Y-2Z (costos)*

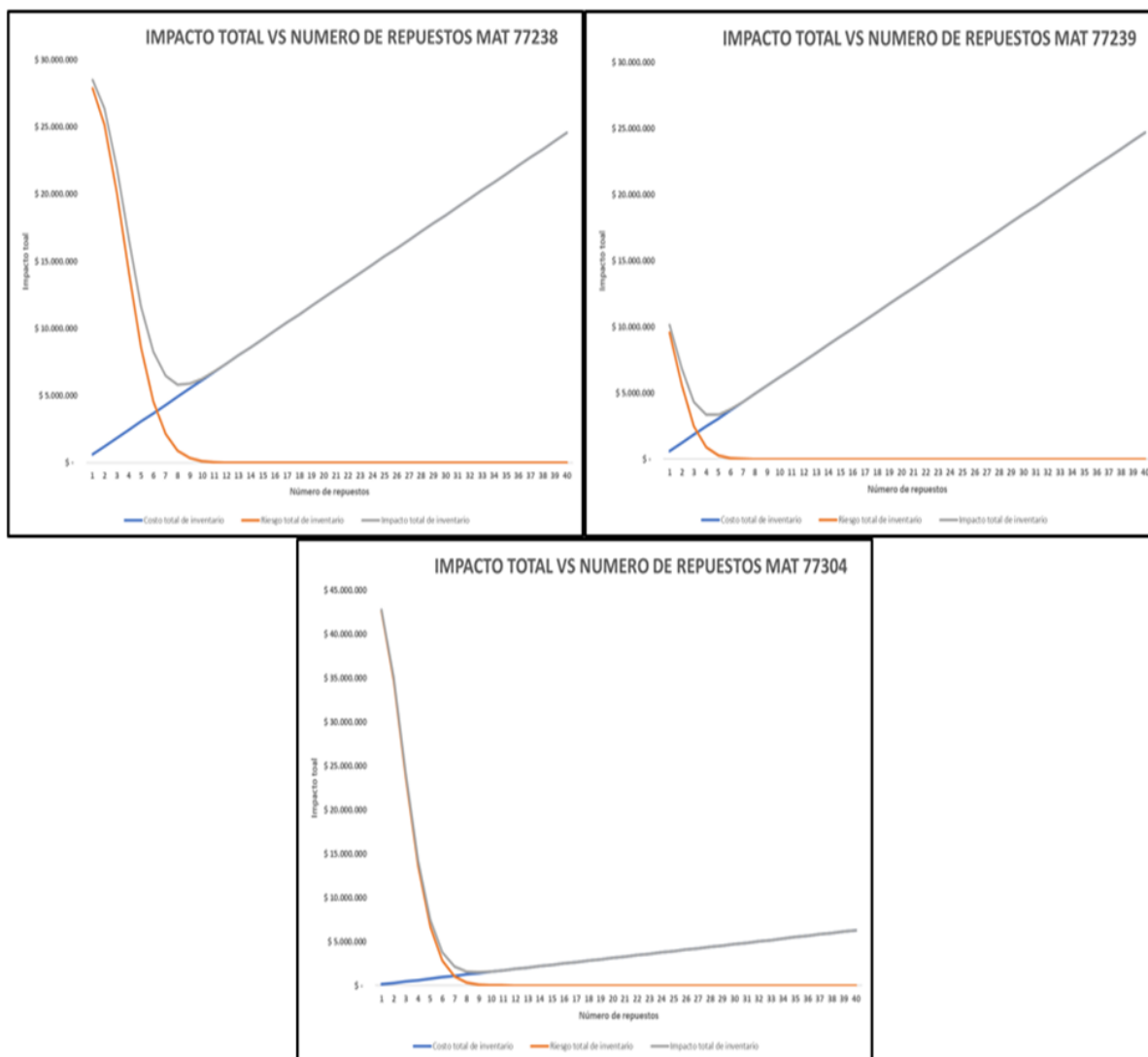
COSTO TOTAL INVENTARIO	PILOTO	ACTUAL
	\$ 110.437.481	\$ 118.155.633
% DIFERENCIA	7%	

Finalmente, la metodología de optimización de inventarios 3X-3Y-3Z busca garantizar un nivel de servicio mayor al 98% para contar con los elementos críticos cuando se necesiten por lo tanto el éxito de la metodología radica en encontrar la cantidad de repuestos que minimicen el riesgo.

Tabla 21

Resultados de optimización materiales 3X-3Y-3Z

MATERIAL	TEXTO BREVE
77238	6210666 CORREA CARRO AUT GALAXY
77239	6210670 CORREA DENTADA CARRO GALAXY
77304	ARRANQUE COMPLETO YOYO GX-160



6. Conclusiones

La metodología de clasificación de inventarios permite identificar los materiales críticos, los de media relevancia y los de bajo impacto, en el caso de la industria avícola el piloto de implementación permitió establecer el parámetro estándar de clasificación donde el 60% del inventario M.R.O corresponde a materiales de baja criticidad, el 35% corresponde a materiales de criticidad media y el 5% restante son materiales de criticidad alta.

Las diferentes metodologías de optimización de inventarios permitieron determinar los niveles de stock según datos estadísticos y predecibles sobre la demanda de cada uno de los materiales.

La disminución del tiempo administrativo y de gestión del proceso de compras y la optimización de parámetros de inventario logró una disminución del 5% del

valor total de inventario según la prueba piloto realizada, comprobando la efectividad de las metodologías.

Las plantillas de optimización determinan de forma exacta el stock de seguridad necesario para garantizar el nivel de servicio requerido en operación cuando se presentan fallas de este.

La clasificación de la totalidad de materiales en niveles de criticidad permitirán enfocar los esfuerzos de compras, auditoría y mantenimiento, para así, poder flexibilizar los actuales procesos y funciones de los diferentes colaboradores.

7. Recomendaciones

Como estrategia vital de optimización la metodología de optimización de inventarios permitirá trabajar la integración entre compras, auditoría y mantenimiento, por lo tanto, se deben reforzar los procedimientos y comunicación entre ambos departamentos.

El equipo de mantenimiento entrega las plantillas de clasificación y optimización programadas, sin embargo, una implementación total de la metodología requerirá de 3 colaboradores que se dediquen tiempo completo al análisis de la totalidad de la data, durante un tiempo aproximado de 9 meses, haciendo reuniones trimestrales de seguimiento y avance.

Se recomienda implementar las plantillas dentro de un entorno de desarrollo web que permita la visualización de datos en línea y haga más fácil su uso e interpretación entre todas las partes interesadas.

Los datos obtenidos de la metodología de optimización son la base para implementar los ciclos de reposición y la automatización del sistema de gestión de repuestos en los ERP de las compañías avícolas.

Referencias Bibliográficas

- Arocha, A. (2020). 5 normas imprescindibles para una gestión eficaz del mantenimiento industrial. Recuperado el 20 de junio de 2024 de <https://es.linkedin.com/pulse/5-normas-imprescindibles-para-una-gesti%C3%B3n-eficaz-del-arocha-d%C3%ADaz>
- Bolaños-Zuñiga, M., & Vidal-Holguin, M. (s. f.). The impact of inventory holding costs on the strategic design of supply chains. *Revista Facultad de Ingeniería*, (101).
- Borrás, P. C. (2019). *Presentación de mantenimiento preventivo*. Universidad Industrial de Santander.
- British Standards Institute. (2008). PAS 55-1: Asset management, part 1: Specifications for the optimized management of physical assets. Alfaomega Grupo Editor.
- Contreras Márquez, J. (2019). *Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento* (2ª ed.). Buenos Aires.
- Faraci, V. Jr. (2019). Spares optimization algorithm for calculating recommended spares. Citado en Contreras Márquez, J., *Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento* (2ª ed., 124 p.). Buenos Aires.
- Gasbarrino, S. (2023). Qué es la rotación de inventario, para qué sirve y cómo calcularla. Recuperado el 3 de julio de 2024 de <https://blog.hubspot.es/sales/rotacion-de-inventario>
- GCF Global. (2020). Estadística básica: ¿Qué es la probabilidad? Recuperado el 3 de julio de 2024 de <https://edu.gcfglobal.org/es/estadistica-basica/que-es-la-probabilidad/1/>
- Global Suite Solutions. (2023). ISO 31000: La norma que te ayuda a gestionar los riesgos. Recuperado el 7 de julio de 2024 de <https://www.globalsuitesolutions.com/es/que-es-la-norma-iso-31000-y-para-que-sirve/>
- International Organization for Standardization (ISO). (2009). *Risk management: Principles and guidelines* (ISO 3100:2009).

- Mecalux. (2019). Stock de seguridad: Qué es y cómo calcularlo. Recuperado el 6 de julio de 2024 de <https://www.mecalux.com.co/blog/stock-seguridad-optimizar>
- Ortiz, D. (2016). Gestión del inventario de repuestos (ISBN 978-958-46-8902-3).
- Phipps, S. (2024). ¿Qué es el modelo EOQ y la cantidad económica de pedido? Recuperado el 7 de julio de 2024 de <https://www.slimstock.com/es/blog/modelo-eoq-para-la-gestion-de-stock/>
- Real Academia Española. (n.d.). Diccionario de la lengua española (23ª ed., versión 23.3 en línea). Recuperado el 26 de junio de 2024 de <https://dle.rae.es>
- Reynolds, M. P. (2005). Production spare parts. Industrial Press Inc.
- Revista Semana. (2019). Incubadora Santander: La empresa más fuerte del sector avícola. Recuperado el 3 de julio de 2024 de <https://www.semana.com/100-empresas/articulo/incubadora-santander-la-empresa-mas-fuerte-del-sector-avicola/616762/>
- Romero, M. (2016). Optimización costo riesgo para la determinación de frecuencias de mantenimiento o de reemplazo. Recuperado el 7 de julio de 2024 de <https://es.linkedin.com/pulse/optimizaci%C3%B3n-costo-riesgo-para-la-determinaci%C3%B3n-de-o-romero-barrios>
- Simpliroute. (2022). Almacén: Qué es y cuáles son sus funciones. Recuperado el 3 de julio de 2024 de <https://simpliroute.com/es/blog/almacen-que-es-y-cuales-son-sus-funciones>
- UNSPC. (n.d.). What is the UNSPC? Recuperado el 20 de junio de 2024 de <https://www.unspsc.org/>
- Upkeep. (2023). ¿Cuáles son los cinco pilares del mantenimiento y la confiabilidad? Recuperado el 7 de julio de 2024 de <https://upkeep.com/es/learning/what-are-the-five-pillars-of-maintenance-and-reliability/>

8. Apéndices

Apéndice A

Plantilla de clasificación de inventarios M.R.O

Apéndice B

Plantilla de optimización de inventarios 1X-1Y-1Z

Apéndice C

Plantilla de optimización de inventarios 2X-2Y-2Z

Apéndice D

Plantilla de optimización de inventarios 3X-3Y-3Z

Apéndice E

Información recopilada piloto de implementación