



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Gestión Industrial

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EL ABASTECIMIENTO
DE REPUESTOS AL ÁREA DE MANTENIMIENTO EN UNA PLANTA DE MANUFACTURA**

Ing. Noé Daniel Yax Tzul

Asesorado por el M.A. Ing. Luis Gonzalo Rosales de León

Guatemala, junio 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EL ABASTECIMIENTO
DE REPUESTOS AL ÁREA DE MANTENIMIENTO EN UNA PLANTA DE MANUFACTURA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. NOÉ DANIEL YAX TZUL

ASESORADO POR M.A. ING. LUIS GONZALO ROSALES DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN GESTIÓN INDUSTRIAL

GUATEMALA, JUNIO 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Brenda Zulema Sierra Belches
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Kenneth Lubeck Corado Esquivel
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Walter Dario Caal Merida
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EL ABASTECIMIENTO DE REPUESTOS AL ÁREA DE MANTENIMIENTO EN UNA PLANTA DE MANUFACTURA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 26 de abril de 2022.



A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above the name of the author.

Ing. Noé Daniel Yax Tzul

LNG.DECANATO.OI.521.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EL ABASTECIMIENTO DE REPUESTOS AL ÁREA DE MANTENIMIENTO EN UNA PLANTA DE MANUFACTURA**, presentado por: **Ing. Noé Daniel Yax Tzul**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Gestión industrial después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, junio de 2023

AACE/gaoc



Guatemala, junio de 2023

LNG.EEP.OI.521.2023

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EL ABASTECIMIENTO DE REPUESTOS AL ÁREA DE MANTENIMIENTO EN UNA PLANTA DE MANUFACTURA”

presentado por **Ing. Noé Daniel Yax Tzul** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Gestión industrial** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**





Guatemala, 2 de diciembre de 2022

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EL ABASTECIMIENTO DE REPUESTOS AL ÁREA DE MANTENIMIENTO EN UNA PLANTA DE MANUFACTURA** del estudiante **Noé Daniel Yax Tzul** quien se identifica con número de carné **null** del programa de Maestria En Gestion Industrial.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Perez
Coordinador
Maestria En Gestion Industrial
Escuela de Estudios de Postgrado

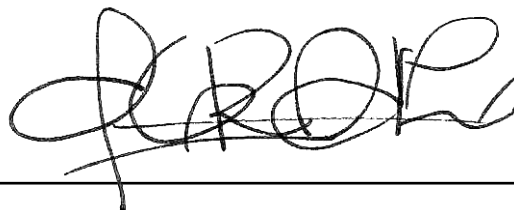
Guatemala, 2 de diciembre de 2022

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrados
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EL ABASTECIMIENTO DE REPUESTOS AL ÁREA DE MANTENIMIENTO EN UNA PLANTA DE MANUFACTURA"** del estudiante **Noé Daniel Yax Tzul** del programa de **Maestría En Gestión Industrial** identificado con número de carné 999001569.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Mtro. Ing. Luis Gonzalo Rosales De León

Colegiado No. 1541

Asesor de Tesis

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la sabiduría e inteligencia para alcanzar mis metas.
Mi esposa	Glenda de Yax por ser mi ayuda idónea en esta y en otras metas alcanzadas.
Mis hijos	Josué Daniel y Ester Abigail Yax, por la paciencia y colaboración que a su temprana edad me aportaron.
Mis padres	Gladys de Morataya y Julio Morataya, por impulsarme desde mi juventud a buscar la superación académica. Mi eterno agradecimiento por su apoyo para salir adelante.
Mi abuela	Roselia Reyes por preocuparse siempre de que tuviera lo necesario, por los consejos y por recordarme siempre las cosas importantes de la vida.
Familia	Por acompañarme y compartir estos momentos importantes.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> que permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me permitieron realizar este trabajo de graduación.
Mi asesor	M.A. Luis Gonzalo Rosales De León, por asesorarme durante el trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IV
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS	XIX
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1. Estudios previos	1
1.2. Antecedentes.....	2
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Definición de inventario	5
2.1.1. Objetivo e importancia de los inventarios	5
2.1.2. Concepto y funcionamiento de inventarios físicos.....	6
2.1.3. Tipos de inventarios	6
2.2. Coste de los inventarios.....	7
2.2.1. Coste de adquisición o de producción del producto ..	8
2.2.2. Costo de ordenar un pedido o de reparación de un lote.....	8
2.2.3. Costo de conservación.....	9
2.2.4. Costo por faltante.....	10
2.2.5. Disponibilidad de inventario	11

2.2.6.	Procedimiento metodológico para la implementación de la metodología del modelo optimización costo riesgo inventario (OCRI)	12
2.3.	Gestión de inventarios.....	13
2.3.1.	Métodos de gestión	14
2.3.1.1.	Método de pedido óptimo (método de Wilson)	14
2.3.1.2.	Método ABC	15
2.3.1.3.	Método JIT (Just in Time)	18
2.3.2.	Punto de pedido o reorden	19
2.3.3.	Mantenimiento, reparaciones e inventarios (MRO) .	20
2.3.4.	E-procurement.....	21
2.3.5.	Impacto de los repuestos en el área de mantenimiento	22
2.4.	Costo del mantenimiento.....	22
2.5.	Incidencia de la falta de repuestos en la gestión de mantenimiento.....	24
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	29
3.1.	Características del estudio	29
3.1.1.	Diseño	29
3.1.2.	Enfoque.....	30
3.1.3.	Alcance	30
3.1.4.	Unidad de análisis	30
3.2.	Variables	31
3.3.	Fases del diseño de investigación.....	36
3.3.1.	Fase 1. Revisión bibliográfica	37
3.3.2.	Fase 2. Identificación de elementos de estudio	37
3.3.3.	Fase 3. Análisis de causas de desabastecimiento..	38

3.3.4.	Fase 4. Identificación del ciclo de abastecimiento...	39
3.3.5.	Fase 5. Desarrollo del plan piloto	39
3.4.	Técnicas de análisis de información	40
3.4.1.	Diagrama de Pareto	41
3.4.2.	Diagrama de flujo	41
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	43
4.1.	Listado de repuestos críticos	43
4.2.	Causas identificadas de desabastecimiento de repuestos	46
4.3.	Propuesta del sistema de control	50
4.4.	Indicadores del sistema de control (entradas y salidas)	58
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
5.1.	¿Cuáles elementos deben asegurarse en bodega para garantizar que la planta opere de manera óptima?	61
5.2.	¿Cuáles son las causas que producen desabastecimiento en la bodega de repuestos?	62
5.3.	¿Qué modelo de gestión de inventario establecer para el control y abastecimiento de existencias en la bodega de repuestos?	63
5.4.	¿De qué manera impacta el modelo propuesto en la gestión de inventario la efectividad de la empresa de manufactura según el modelo actual?	64
5.5.	¿Qué mejoras deben realizarse al proceso actual de bodega de repuestos para asegurar la disponibilidad de repuestos críticos utilizados por el área de mantenimiento?	65
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES	69

REFERENCIAS..... 71
APÉNDICES 75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Árbol del problema	XVI
Figura 2.	Relación entre realizar un pedido y el costo de mantenimiento.....	10
Figura 3.	Diagrama metodológico para la ejecución de un OCRI	13
Figura 4.	Ejemplo de modelo de Wilson	15
Figura 5.	Representación método ABC	17
Figura 6.	Curva de costos del inventario.....	17
Figura 7.	Comparación de métodos tradicionales y método JIT	18
Figura 8.	Interpretación gráfica del punto de reorden	19
Figura 9.	Factores de incidencia en el costo de mantenimiento preventivo.....	23
Figura 10.	Correlación de factores de afectación.....	26
Figura 11.	Correlación de los tres factores de funcionamiento	27
Figura 12.	Listado de repuestos críticos por tipo	45
Figura 13.	Distribución de elementos por criticidad	45
Figura 14.	Gráfica de Pareto de elementos tipo A por tipo	46
Figura 15.	Proceso de abastecimiento de repuestos por falta de <i>stock</i>	51

TABLAS

Tabla 1.	Ejemplo clasificación A, B, C basado en valor de dinero	16
Tabla 2.	Variable de estudio pregunta auxiliar 1	31
Tabla 3.	Variables de estudio pregunta auxiliar 2.....	32

Tabla 4.	Variables de estudio pregunta auxiliar 3	33
Tabla 5.	Variables de estudio pregunta auxiliar 4	35
Tabla 6.	Requerimientos mensuales a bodega.....	36
Tabla 7.	Criterios para análisis de criticidad	43
Tabla 8.	Ejemplo de tabla de cálculo de criticidad	44
Tabla 9.	Pasos para la compra de repuestos	47
Tabla 10.	Cuestionario de identificación de causa raíz.....	48
Tabla 11.	Herramienta 5 por qué para identificación de causa raíz	49
Tabla 12.	Control de <i>stock</i> disponible y diferencias de inventario.....	52
Tabla 13.	Cuadro de inicio de sistema de control de bodega	53
Tabla 14.	Cuadro de funcionamiento de sistema de control	54
Tabla 15.	Identificación de nivel de inventario por letras de disponibilidad.....	55
Tabla 16.	Cuadro de alertas por disponibilidad.....	56
Tabla 17.	Funcionalidad del sistema de control.....	57
Tabla 18.	Ejemplo de cálculo de disponibilidad de repuesto.....	58
Tabla 19.	Indicadores de desempeño de bodega de repuestos	59
Tabla 20.	Indicador de mantenimiento por ausencia de repuestos	60

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
\geq	Mayor o igual a
\leq	Menor o igual a
Min	Minutos
%	Porcentaje
Q	Quetzales
T.E.	Tiempo de entrega
U	Unidades

GLOSARIO

ABC	Modelo de clasificación de inventarios
Avería	Incapacidad de una máquina para operar
Cíclico	Que se repite cada cierto tiempo
Correlacional	Establecer una correlación o correspondencia entre dos o más cosas.
Criticidad	Importancia ponderada por una matriz definida
Cuantitativo	Se emplea para determinar la cantidad de cada elemento.
D.M.	Disponibilidad de maquinaria
D.R.	Disponibilidad de repuestos
Disponibilidad	Porcentaje de tiempo en que está disponible un equipo o repuesto definido.
EOQ	Cantidad económica de pedido
ICS	Índice de calidad de servicio

I.R.	Índice de rotación
JIT	Just in time (justo a tiempo)
Manufactura	Obra hecha a mano o con auxilio de máquina
Mantenimiento	Actividad para preservar el estado de una máquina
Módulo	Porción de un programa de ordenador
MRO	Mantenimiento, reparaciones y operaciones
MTBF	Tiempo medio entre falla
MTTR	Tiempo medio para reparar
OCRI	Modelo optimización costo riesgo inventario.
OTIF	<i>On time in full</i> (entregas perfectas en tiempo perfecto)
Repuesto	Elemento utilizado como parte de cambio.
Pareto	Gráfico que clasifica aspectos ordenados de mayor a menor.
Perecedero	Poco durable, que ha de perecer o acabarse

Plan piloto	Estudio preliminar a pequeña escala realizado para evaluar la viabilidad del estudio.
SKUs	Número de referencia único
Stock	Existencias, mercancías guardadas en un almacén.
TME	Tiempo medio de entrega
USD	Dólares americanos

RESUMEN

A partir del problema de baja disponibilidad de repuestos e insumos en el área de bodega, que como impacto negativo tiene la baja atención del área de mantenimiento al área de producción por la falta de los elementos anteriormente citados, se realizó el listado general de repuestos e insumos a fin de agrupar por tipo de material, medida, frecuencia de uso, entre otros, esto para identificar y dimensionar el universo de elementos sobre el cual se trabajaría.

Complementado con la exploración de campo con todas aquellas personas que intervienen en el proceso de abastecimiento de compras para entendimiento de las funciones y tareas que realizan a fin de analizar el escenario de gestión que propiciaba un continuo desabastecimiento de elementos en bodega.

Al contar con el listado de elementos por trabajar, el escenario en función y con la exploración bibliográfica basada en casos ya previamente implementados, se determinó que el mejor modelo por utilizar es el que se basa en trabajo de modelo por criticidad, es decir, el modelo de gestión de inventarios ABC.

Elegir el modelo ABC llevó a realizar el análisis de criticidad para cada uno de los elementos previamente listados en la exploración del universo a fin de determinar qué elementos son los más críticos para la operación, para determinar la criticidad fue necesario definir los criterios de evaluación que

estuvieran en función a la importancia de contar o no contar con dichos elementos.

Se resume el sistema de manejo de inventarios a partir del control de entradas y salidas para finalmente apreciar las diferencias del inventario real contra las cantidades definidas como inventario máximo, mínimo y de alerta, dicho sistema también es capaz de brindar alarmas visuales que están en función a los niveles de inventario previamente citados.

Al evaluar los recursos disponibles para la implementación de este sistema basado en el método ABC siendo estos mismos limitados, se aplica dicho sistema a los elementos críticos tipo A, los cuales son los más importantes para la planta de producción en términos de seguridad, alta demanda, alta disponibilidad y alta confiabilidad.

Gracias a la política establecida con proveedores de despachos semanales (lunes) y la implementación del sistema de control se obtuvieron disponibilidades arriba del 95 % para los elementos críticos tipo A lo que asegura la operación óptima de la planta de producción desde el frente de atención a máquinas por mantenimiento preventivo y atención a averías. Esto se ve reflejado tanto en indicadores propios del área de bodega y del área de mantenimiento.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existe baja disponibilidad de elementos catalogados como críticos en el área de bodega de repuestos, esto impacta negativamente en la ejecución de trabajos asignados al área de mantenimiento, pues es una condición normal que no estén disponibles repuestos críticos y de uso frecuente, el escenario disponible para el estudio se limita solamente al almacenamiento y no al control de inventarios (entradas y salidas).

El modo de trabajo solamente se refiere a recibir y despachar repuestos sin un control definido ni históricos de consumos, si bien existe personal asignado al área no hay funciones específicas definidas para su evaluación y seguimiento.

Contexto general

Garantizar el buen funcionamiento de la maquinaria dentro del ámbito industrial es uno de los principales objetivos del área de mantenimiento, dentro de los elementos que inciden en el cumplimiento de dicho objetivo se encuentra la disponibilidad de repuestos que se utilizan para realizar tareas de mantenimiento preventivo así como atención inmediata a averías.

Al considerar el enfoque anterior es fundamental contar con un conocimiento pleno sobre cuales repuestos se deben encontrar en el área de bodega de repuestos, dado que no todos los repuestos representan el mismo nivel de impacto ante su ausencia se deben definir ciertos niveles de criticidad para enfocar recursos que permitan asegurar las disponibilidades óptimas

basadas en puntos clave de gestión tales como costo, nivel de impacto, atención de proveedores, entre otros.

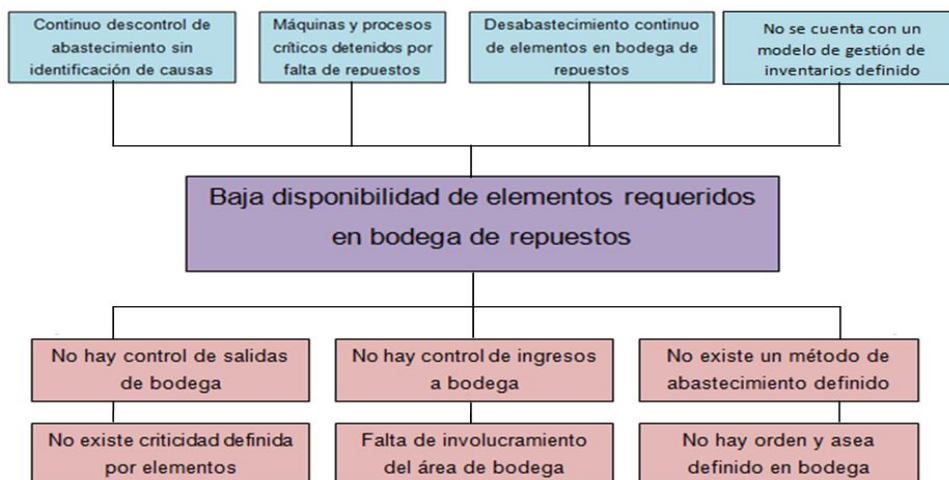
Descripción del problema

Existe un bajo porcentaje (menor a 60 %) de cumplimiento de los trabajos de mantenimiento programado, altos tiempos de reparación (entre 24 y 48 horas) y constantes reprogramaciones de trabajos, esto como consecuencia de la falta de repuestos disponibles en bodega, lo anterior es derivado de no contar con un sistema definido de control de salidas e ingresos de repuestos que aseguren la disponibilidad del *stock* definido.

Por medio del siguiente esquema se logra identificar el problema central y las posibles causas y las consecuencias del problema de estudio:

Figura 1.

Árbol del problema



Nota. En la imagen se presenta el problema principal, las causas y efectos de este. Elaboración propia, realizado con Word.

Con el planteamiento anteriormente descrito, se observan las consecuencias tales como descontrol de abastecimiento de la bodega de repuestos con implicación en las máquinas y procesos críticos como efecto de no tener un sistema de gestión de inventarios definido, la formulación del problema gira en torno al problema central citado, este es la baja disponibilidad de repuestos en bodega, dicho planteamiento así como las preguntas que llevarán a encontrar la solución propuesta con enfoque en los efectos.

Formulación del problema

Determinación y corrección de los factores que inciden en la falta de disponibilidad de repuestos e insumos en una bodega de repuestos y generan atrasos en trabajos solicitados al área de mantenimiento, mediante el diseño de un sistema de gestión de inventarios.

Pregunta central

¿Qué mejoras deben realizarse al proceso actual de bodega de repuestos para asegurar la disponibilidad de repuestos catalogados como críticos, utilizados por el área de mantenimiento?

Preguntas auxiliares

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuáles elementos deben asegurarse en la bodega de repuestos para garantizar que la planta opere de manera óptima?

- ¿Cuáles son las causas que producen desabastecimiento en la bodega de repuestos?
- ¿Qué modelo de gestión de inventario se de establecer para el control y abastecimiento de existencias en la bodega de repuestos?
- ¿De qué manera impacta el modelo propuesto en la gestión de inventario la efectividad de la empresa de manufactura según el modelo actual?

Delimitación del problema

Durante el periodo establecido se realizará el diseño propuesto, el cual abarca de abril 2022 a octubre 2022. El proceso de diseño basado en datos observados se llevará a cabo en una planta dedicada a la manufactura de sanitarios y lavamanos en el municipio de San Miguel Petapa, ciudad de Guatemala.

La delimitación del problema se restringe a que la política de manejo de inventarios de la compañía no hace parte de la investigación, pues esta ya se encuentra definida y solo se busca acoplarse sin afectarla, para el diseño propuesto se realizará un proceso de validación en campo por medio de un plan piloto.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de gestión de inventarios de repuestos a fin de identificar e implementar mejoras y así asegurar la disponibilidad definida para los repuestos catalogados como críticos y que son utilizados por el área de mantenimiento.

Específicos

1. Determinar los repuestos catalogados como críticos que se deben asegurar en bodega con el fin de garantizar la disponibilidad de las máquinas para una operación de planta segura, eficiente y con altos niveles de producción.
2. Identificar cuáles son las causas raíz que producen el constante desabastecimiento de repuestos en bodega y que resultan en el incumplimiento de trabajos asignados al área de mantenimiento.
3. Definir el sistema de control de existencias (entradas y salidas) de la bodega de repuestos.
4. Contrastar la efectividad y mejora obtenida con la implementación del modelo propuesto con respecto al escenario sin sistema de control de inventarios.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Puesto que el enfoque fue mixto, el trabajo se consideró cualitativo debido a que se utilizaron métodos de observación y recolección de datos de calificación del estado de la bodega de repuestos. También es cuantitativo debido a que se manipularon variables numéricas que influyeron en el desarrollo del estudio y posterior evaluación de este.

De modo que se realizó un diseño experimental, se manipularon variables independientes (cantidad de repuestos) y variables dependientes (disponibilidad de máquina) que tienen impacto final en el desempeño directo del área de mantenimiento, esto fue representado e interpretado en indicadores de cumplimiento del escenario inicial encontrado.

El alcance fue correlacional porque se tuvo como primer recurso la observación directa y cuestionarios para descubrir cuáles eran los puntos débiles de la gestión y se llegó a concretar que el diseño del sistema de gestión tiene como consecuencia un aumento en la disponibilidad del 90 % para repuestos críticos en la prueba realizada, la correlación se dio entre las variables dependiente e independiente para evaluar el desempeño del diseño propuesto.

Se tuvo en cuenta el manejo de variables independientes que en primera instancia no fueron afectadas puesto que se encontraban bajo observación, sin embargo en el desarrollo experimental se evaluó la disponibilidad de repuestos con el control de entradas y salidas en funcionamiento. Durante el desarrollo de la investigación se involucraron variables que se aplicaron en el desarrollo del

trabajo, tanto del tipo cuantitativo como cualitativo, tales como la disponibilidad de repuestos, tiempo medio para reparación, índices de rotación entre otras.

La revisión bibliográfica se realizó en la fase 1 a fin de contar con un punto de partida para la investigación, en la fase 2 se realizó la identificación de los elementos de estudio como medio de dimensionamiento del tamaño de lote con el que se trabajaría así como la clasificación, identificación y obtención de la criticidad, el análisis de causas de desabastecimiento se realizó en la fase 3 para comprender el proceso de abastecimiento, su funcionalidad así como el papel de cada participante dentro de dicho proceso, en la fase 4 se identificó el ciclo de abastecimiento a fin de analizar y determinar las causas de desabastecimiento, los pasos que comprende el ciclo con la finalidad de determinar el nivel de cumplimiento y su aporte al ciclo completo de abastecimiento exitoso, para comprobar el éxito del modelo diseñado se desarrolló un plan piloto para verificar y contrastar la funcionalidad del método propuesto con el plan piloto y la realidad operativa de la bodega.

La población utilizada para desarrollar dicho sistema se conformó por los repuestos e insumos utilizados por el área de mantenimiento en la planta de producción, de la cual se utilizó una población de 301 elementos de los cuales se depuró por nivel de criticidad y se aplicó el modelo propuesto a 62 elementos tipo A como plan piloto.

Las técnicas de análisis utilizadas de tipo cualitativo para el diseño del sistema de gestión de abastecimiento en función fueron por medio de diagramas de flujo y se complementó con el uso del diagrama de Pareto.

INTRODUCCIÓN

Gestionar inventarios dentro del ambiente industrial con foco de servicio aplicado al área de mantenimiento es de vital importancia, ya que tanto repuestos como insumos son importantes para la ejecución de trabajos propios del área de mantenimiento como medio para responder a la atención de tareas de mantenimiento preventivo y solución de averías.

Para el desarrollo de la presente investigación se abarcó diversidad de estudios previos como punto de referencia para construir el diseño al considerar el entorno y las condiciones actuales a mejorar, durante el desarrollo de la investigación se plantea el diseño, enfoque y alcance aplicado a las unidades estudiadas limitados principalmente a los repuestos catalogados como críticos, las variables estudiadas se correlacionan con las preguntas de investigación a medida que se desarrolla la solución propuesta desde el punto de vista cualitativo dado que se recurre a la observación directa de las funciones de los involucrados durante el proceso y desde la perspectiva cuantitativa, ya que se definieron criterios con ponderación numérica para definir niveles de criticidad e importancia.

Al considerar el entorno situacional en el cual se desarrolla dicho diseño se observa una serie de recursos limitados que llevan a definir a que elementos de bodega se deben destinar los recursos disponibles de manera prioritaria sobre otros, lo anterior se basa conceptualmente en lo definido por el método de control de inventarios ABC al considerar los beneficios y oportunidades de mejora propios del contexto del estudio.

El modelo de gestión propuesto desde el punto de vista de aseguramiento de disponibilidad se basa en un monitoreo de entradas y salidas que concluye en un sistema de control que permite abastecer oportunamente aquellos elementos que llegan a niveles de *stock* mínimos y así asegurar la operación óptima de la planta de y que finalmente se percibe en la mejora de resultados de indicadores propios de cada área, así como en la competitividad de la compañía.

1. MARCO REFERENCIAL

Con la finalidad de brindar al lector los conocimientos referenciales que sirvieron para el planteamiento y formulación del tema de investigación, se presenta el siguiente marco referencial.

1.1. Estudios previos

Para obtener los datos que construyen la toma de decisiones sobre los métodos de control de abastecimiento de repuestos es necesario realizar inventarios para cruzar las existencias reales contra las necesidades definidas.

Según Meana (2017) indica que “el objetivo del inventario es confirmar o verificar el tipo de existencias de que se dispone en la empresa mediante un recuento físico de los materiales existentes” (p.8). A esto se le conoce como cuadro de inventarios.

Muchos de los procesos que se utilizan e implementan en el control de diversos procesos en la industria parten de la experiencia o las necesidades que se presentan a diario, uno de los problemas típicos, por ejemplo, es la existencia de excesos y de faltantes de inventarios.

Además, Vidal (2017) menciona que “siempre se tiene demasiado de lo que no se vende o consume, y muchos agotados de los productos que más rotan. Lo interesante de este problema es que ocurre prácticamente en cualquier empresa del sector industrial” (p.15).

1.2. Antecedentes

Ocasionalmente se puede considerar un sobre abastecimiento de repuestos en bodega como un método seguro de disponibilidad, sin embargo, esto puede implicar también exceso de capital de trabajo congelado en un espacio físico que no tiene un correcto análisis de evaluación de rotación con respecto a la demanda real, “se debe considerar el impacto de las decisiones de inventarios en las decisiones estratégicas de las organizaciones; así como la administración eficaz de las operaciones de producción” (Guerrero, 2017, p.6).

Como factor común se puede considerar que informalmente los inventarios son el resultado de experiencias y necesidades evidenciadas en el tiempo. Contreras (2018) afirma que “los inventarios no realizados con metodología son el resultado de necesidades de mantenimiento programado reactivo, la disponibilidad de dichos repuestos está en función a como son gestionados y mantenidos los equipos de planta” (p. 30).

La trascendencia de la gestión de inventario de repuestos se logra percibir cuando va más allá de tener un control de entradas y salidas, según O’Hanlon (2017) asegura que la gestión debe tener una estructura organizacional que elimine el desperdicio de la productividad de mantenimiento, procesos estándar de trabajo de inventarios (recepción, emisión y devolución) e indicadores clave de resultados (KPI) para medir el nivel de servicio para mantenimiento, la evolución de los sistemas de mantenimiento se evidencia cuando se aprecia una alta disponibilidad con el menor costo de inventario.

Dentro de la gestión integral diaria en la industria toma mayor relevancia la administración de los activos visto desde el mantenimiento de maquinaria para asegurar la confiabilidad de esta, por lo tanto, es relevante dar la prioridad

de mejorar continuamente a las áreas transversales tal como la bodega de repuestos.

Al considerar el aporte de Gómez (2008) donde se desarrolla un modelo para determinar políticas de inventarios de repuestos con conceptos de riesgo y confiabilidad de equipos, sin embargo, este requiere ser actualizado y complementado a la luz de todas las estrategias de mantenimiento.

Todo sistema de gestión de inventarios dentro del contexto de repuestos con orientación hacia la confiabilidad y conceptos basados en riesgos, debe ser definido con políticas dinámicas en el tiempo y que sean capaces de adaptarse a las necesidades del día a día.

2. MARCO TEÓRICO

Se considera relevante la administración de inventarios y su relación directa entre la atención esperada por el cliente y el inventario; es de vital importancia para la compañía que busca la mejora continua en materia de inventarios, el uso de un sistema estructurado de inventarios que ayuda a dar soporte a procesos y tomar decisiones claves a diario, “las operaciones básicas en un almacén son las de recepción, manipulación de depósitos, preparación de pedidos, clasificación para grupos y transporte” (Serra, 2007, p. 2). A esto se le conoce como gestión de inventarios.

2.1. Definición de inventario

En cuanto a la definición de inventarios, López (2022) dicta que son “las existencias de todo artículo o recurso usado por la organización de cualquiera en manera de materias primas y artículos en proceso, artículos terminados, partes o componentes, suministros y otros aprovisionamientos” (p.89). Esto hace parte del capital de trabajo congelado en un espacio físico.

2.1.1. Objetivo e importancia de los inventarios

Resulta común encontrar compañías manufactureras donde el enfoque de gestión se restringe y enfoca en la producción en volumen y en menores recursos en las áreas transversales o de servicio tal como una bodega de repuestos e insumos. “Es necesario que las empresas lleven algún control de sus inventarios para asegurar la continuidad del proceso productivo, un control excesivo tendría un coste excesivo” (Guevara, 2020, p.119). Para las

compañías en vías de mejora continua en los procesos de producción es de igual importancia prestar atención a las áreas de servicio y de cadena de suministros.

2.1.2. Concepto y funcionamiento de inventarios físicos

Conceptualizar el término de inventario en un entorno relativamente nuevo se potencializa a través de métodos de control implementados en las compañías que lo adoptan, a partir de la práctica diaria se logra una mejor implantación cultural, por lo que se menciona el termino inventario contable al tener como resultado un control establecido sobre entradas y salida, “la importancia del inventario físico radica en permitir verificar que lo anotado efectivamente exista y confirmar que la rotación de los productos, que es la rapidez con la que se venden o circulan los bienes” (Guevara, 2020, p. 10). De esta manera se puede concretar la razón de ser sobre el funcionamiento correcto de un sistema de inventarios.

2.1.3. Tipos de inventarios

Existen diversos tipos de inventario cada uno con diferentes niveles de complejidad según el tipo de inventario que se gestiona, los inventarios de materia prima. Aramendia (2021) menciona que “los materiales a partir de los cuales se fabrica el producto final de la empresa son las materias primas” (p.121). En cuanto a la definición de elemento de materia prima, este autor explica que una de las formas para diferenciar dicho material que se encuentra del segmento de materia prima es caracterizarlo solamente como el material que se transforma en un producto.

“Inventario de trabajos en curso son los materiales pasados de su etapa de materias primas por algún proceso de fabricación, pero que no son productos finales, son productos en proceso de trabajo” (Aramendia, 2021, p. 159).

En cuanto a los productos terminados de cualquier proceso productivo que tiene como resultado una generación de bienes para el comercio, Horngren (2007) explica que los inventarios de bienes terminados son aquellos que se encuentran almacenados listos para la venta pero que aún no se han vendido.

La teoría de inventarios aplicada al área específica de mantenimiento se puede comprender a partir de que “los inventarios MRO se refiere a los suministros de mantenimiento, reparaciones y operación que se consumen durante el proceso de producción y que generalmente no forman parte del producto” (Aramendia, 2021, p.160).

Dentro de los diversos tipos de inventarios existen diferentes maneras y formas de gestión acorde a la necesidad particular de la industria en la que se encuentre en desarrollo, la metodología a utilizar será en función al tipo de inventario, no es lo mismo gestionar materia prima perecedera que repuestos de una bodega de mantenimiento.

2.2. Coste de los inventarios

Almacén de repuestos significa activos que pueden ser traducidos a capital de trabajo almacenado en un espacio físico o activos que se utilizan de manera regular, ya sea para una fábrica de manufactura o para una tienda de repuestos, “hablar de gestión de inventarios de almacén de repuestos dentro del área de mantenimiento es sinónimo de toma de decisiones correctas en

tiempo, cantidad y variedad de almacenamiento” (Contreras, 2018, p.55). A esto se le conoce como gestión integral de inventarios orientado hacia una bodega de repuestos e insumos que tiene como cliente interno al área de mantenimiento.

Los costos juegan un papel importante en los sistemas y modelos de gestión de inventarios, comúnmente se conocen los costos relacionados con el inventario los cuales son:

2.2.1. Coste de adquisición o de producción del producto

En cuanto a estos costos de atribución, según Valverde (2014) menciona que el costo de este tipo es igual al costo monetario tangible de adquirir o producir una determinada unidad de proceso y que esta, al ser masificada, es directamente proporcional al valor del capital de trabajo que se encuentra paralizado en un determinado espacio físico, a mayor volumen de unidades de proceso almacenadas, mayor será el capital de trabajo almacenado en un espacio físico y el cual debe estar disponible para su uso.

2.2.2. Costo de ordenar un pedido o de reparación de un lote

Según Valverde (2014), “es la adquisición de un lote de un producto dado, que se ordena al suministrador, o a la preparación o ajustes que se realiza en el proceso productivo cada vez que se vaya a elaborar un lote del producto dado (p. 125).

Los costos asociados al ordenamiento de un pedido generalmente se asocian al valor de un producto adquirido, sin embargo, esto va más allá al analizar los costos integrales. Según Valverde (2014) “el costo de ordenar un

pedido incluye el gasto ocasionado por el tiempo empleado por el personal encargado de confeccionar y procesar las ordenes de producción (p. 126).

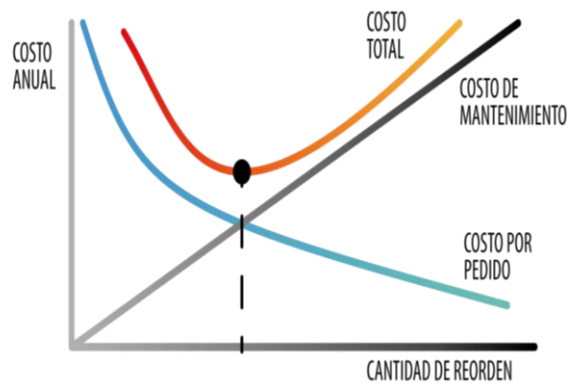
“El costo de preparación de un lote incluye la mano de obra y los gastos generales requeridos para preparar las máquinas, o el área productiva en que elabora el producto” (Valverde, 2014, p.130). Indiferentemente del tipo de inventario que se desea gestionar y dentro del análisis particular de costos se debe contemplar costos que normalmente no se asocian a la gestión, es decir, el costo de pedido no solamente es el valor neto del producto por abastecer.

2.2.3. Costo de conservación

En cuanto al concepto citado, Valverde (2014) asegura que “dicho costo es relacionado con la estancia de un determinado producto en inventario durante un periodo dato, dicho costo esta generalmente asociado con costos de almacenamiento físico de productos y costos de oportunidad (p. 89). El costo debe evaluarse como un todo y no solo parcialmente.

Figura 2.

Relación entre realizar un pedido y el costo de mantenimiento



Nota. La figura muestra la relación que se da entre pedido y costo de mantenimiento. Obtenido de Evidence (2021). *Costos de inventarios.* (<https://www.evidencetec.com/recursos/conocimiento/costos-de-inventarios>), consultado el 20 de enero del 2023. Dominio público.

2.2.4. Costo por faltante

Durante un evento de desabastecimiento de repuestos, lo normal es solo considerar el costo de faltante como el valor de incumplimiento sin considerar los costos que implica no tener dicho repuesto, por ejemplo, se puede citar el costo de una máquina parada, el costo de producción no entregada, Valverde (2014) afirma lo siguiente:

El costo por faltante es el costo en que se incurre por no satisfacer la demanda en el momento que se presenta. Cuando no se tiene a la mano un artículo y un cliente se va insatisfecho, se ha perdido una venta, a menos que el cliente acepte esperar hasta que se disponga nuevamente del artículo. (p. 75)

Referenciando el párrafo anterior se observa que el cliente final como usuario último del bien producido se va insatisfecho y se produce un ingreso monetario perdido, para fines de bodegas de repuesto la indisponibilidad o no entrega de un repuesto crítico necesario para habilitar una máquina detenida implica costos asociados a no producir un bien para entrega al cliente final.

2.2.5. Disponibilidad de inventario

Un correcto desarrollo y gestión del inventario pasa por analizar el balance entre la disponibilidad del producto y la existencia de este en el almacén, Fernández (2017) le llama a esta actividad conflicto básico entre disponibilidad e inventario, el cual debe ser resuelto inmediatamente y de manera dinámica como resultado de un control establecido de conteo, entradas y salidas en tiempo real que permita identificar instantáneamente diferencias entre existencias reales y las definidas, la definición de Fernández (2017) lleva a conocer que:

El problema fundamental entre disponibilidad de las existencias y el tamaño existencia o no del inventario dependerá, en gran medida, de la demanda de dicho producto o materia prima, algunos empresarios piensan que es preferible mantener un elevado tamaño de inventario, a pesar de que ello le suponga elevados costes de mantenimiento y almacenamiento de dichas materias o producto. (p. 115)

Gestionar correctamente el abastecimiento de repuestos en una bodega y su disponibilidad debe ir de la mano con los análisis de demanda diaria, semanal, mensual y anual, este tipo de información en el tiempo ayuda a tener

un escenario muy acertado sobre el comportamiento de los elementos en cuestión.

2.2.6. Procedimiento metodológico para la implementación de la metodología del modelo optimización costo riesgo inventario (OCRI)

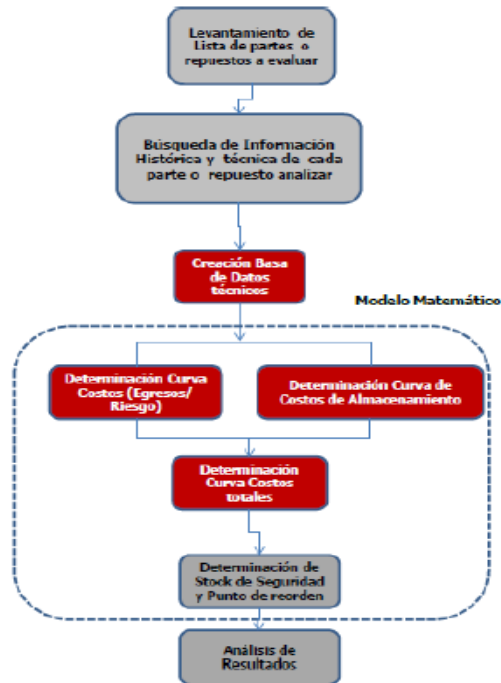
“OCRI tiene como objetivo principal estimar la demanda de repuestos con base en la frecuencia de falla de los equipos, los planes de mantenimiento, y el número de equipos que utilizan esta parte o repuesto” (Medina, 2013, p.85). Para el presente trabajo de investigación se puede tomar en consideración dicha metodología, pues esta tiene como foco al área de mantenimiento y su rol de atención a clientes finales como lo es el área de producción y las distintas áreas que la componen.

Según Medina (2013) manifiesta que “OCRI considera las consecuencias de no tener el repuesto según los conocimientos de las logísticas con el suplidor y las probabilidades de reparación de repuesto, así como la consideración necesaria de los costos de compra y almacenamiento” (p. 85).

Dentro de las metodologías planteadas para una gestión correcta basada en demanda es el método OCRI, esta metodología ayuda a tener un escenario basado en el análisis integral desde el punto de vista de trabajos atendidos por el área de mantenimiento y las consecuencias ante el incumplimiento de este por la falta de repuestos.

Figura 3.

Diagrama metodológico para la ejecución de un OCRI



Nota. La figura 3 describe los pasos del desarrollo OCRI en 5 etapas básicas. Obtenido de Medina, (s.f.) *Propuesta de modelo matemático para la implementación de la metodología de confiabilidad optimización de costos de riesgo de inventarios.*

Dichas etapas deben ser gestionadas a cabalidad una luego de otra sin dejar vacíos entre estas para tener éxito durante la implementación.

2.3. Gestión de inventarios

Como herramientas de gestión de inventarios se comprenden sistemas definidos en función a la necesidad del usuario, la programación y la planificación de inventarios normalmente gira en torno al periodo de realización de pedidos y a la cantidad de pedido por realizar.

Existen diversas formas de gestionar un inventario apoyado a través de métodos definidos, establecidos y comprobados, dichos métodos son conocidos como métodos de gestión de inventarios.

2.3.1. Métodos de gestión

Dentro de la gestión de inventarios existen diversas maneras de toma de decisiones, esta toma de decisiones debe ser elaborada bajo criterios que cumplan con la característica primordial de la satisfacción del cliente. “Es importante enfatizar en que las tomas de decisiones elaboradas no deben verse como un conjunto rígido de procedimientos” (Amaya, 2004, p.94). Los modelos de gestión de inventarios tienen implícitamente una metodología establecida que aseguran el éxito en la ejecución.

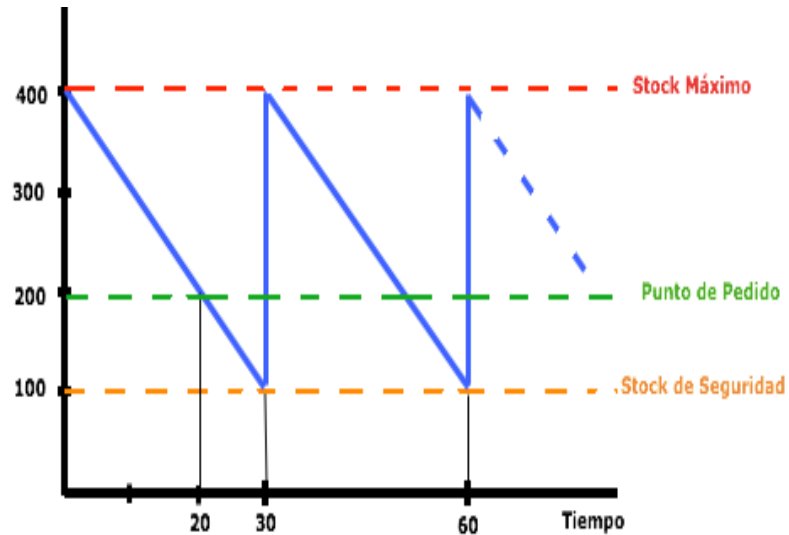
Según Cruz (2017) “un inventario, sea cual sea la naturaleza de lo que consiste, consiste en un listado ordenado y valorado de productos de la empresa” (p. 3). En esta definición se mencionan dos factores importantes: orden y valorización. Dos factores de suma importancia en el levantamiento de una política de control.

2.3.1.1. Método de pedido óptimo (método de Wilson)

Según Parra (2020), “El objeto del modelo es determinar el tamaño del lote a comprar o fabricar, los supuestos en los que se apoya el modelo no son muy realistas, es difícil que se produzcan en la práctica en su forma pura” (p. 136). Tal como menciona el texto, de todos los métodos posibles por utilizar, este es el menos recomendado, dado el alto nivel de incertidumbre y principalmente al considerar que dicho trabajo de investigación se centra en elementos catalogados como críticos.

Figura 4.

Ejemplo de modelo de Wilson



Nota. La figura muestra cómo está estructurado el modelo Wilson. Obtenido de Parra (2020). *Gestión de stocks.*

2.3.1.2. Método ABC

Importancia relativa es la base de funcionamiento del método ABC, clasifica por niveles de importancia según los tipos de existencias de un almacén basado en lo conocido como criticidad ponderada, normalmente existe variedad de productos y no se pueden destinar los mismos recursos de tiempo, dinero, espacio a cada uno de los elementos existentes.

Según Guerrero (2017), “Son estos motivos los que justifican la aplicación de un sistema de clasificación ABC cuya filosofía implica que en muchas ocasiones cuesta más el control del inventario que lo que cuesta el producto que se está controlando” (p. 165).

Tabla 1.

Ejemplo clasificación A, B, C basado en valor de dinero

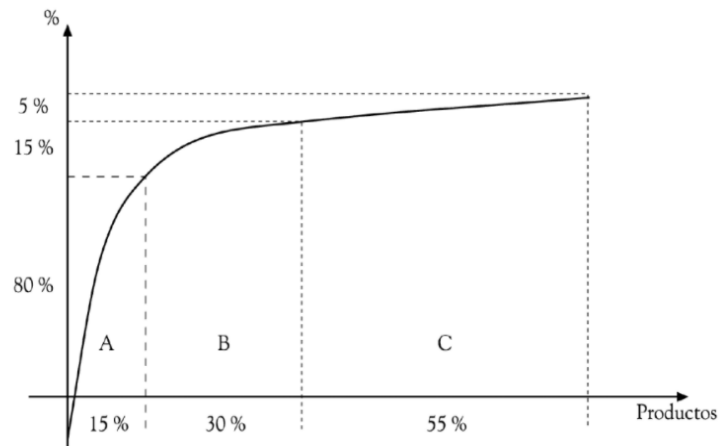
Código	Valor Total	Porcentaje del valor total	Porcentaje acumulado	Clasificación ABC
3	\$ 984,654,000.00	42.4288 %	42.4288 %	A
9	\$ 810,000,000.00	34.9029 %	77.3317 %	
5	\$ 247,000,000.00	10.6432 %	87.9749 %	B
1	\$ 150,000,000.00	6.4635 %	94.4384 %	
10	\$ 128,965,000.00	5.5571 %	99.9955 %	
8	\$ 74,513.00	0.0032 %	99.9988 %	
6	\$ 14,782.00	0.0006 %	99.9994 %	C
2	\$ 8,000.00	0.0003 %	99.9997 %	
4	\$ 4,112.00	0.0002 %	99.9999 %	
7	\$ 2,106.00	0.0001 %	100.0000 %	
TOTAL	\$ 2,320,722,513.00	100 %		

Nota. La tabla presenta los elementos que deben considerarse en una clasificación A, B, C. Elaboración propia, realizado con Excel.

“El método ABC es el método que más se ajusta a un sistema de gestión de inventarios desde el punto de vista de criticidad de los elementos de una bodega independientemente del tipo de elemento y criterio” (Guerrero, 2017, p.165).

Figura 5.

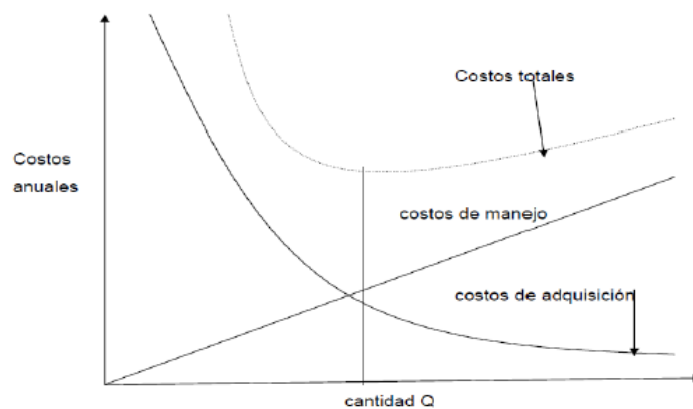
Representación método ABC



Nota. La figura presenta una representación de lo que es el método ABC. Obtenido de Míguez y Bastos (2006). *Introducción a la Gestión de Stocks*.

Figura 6.

Curva de costos del inventario



Nota. En la figura se observa la representación de la curva que resulta del costo de inventario. Obtenido de Paz (2007). *Los inventarios en las empresas manufactureras*.

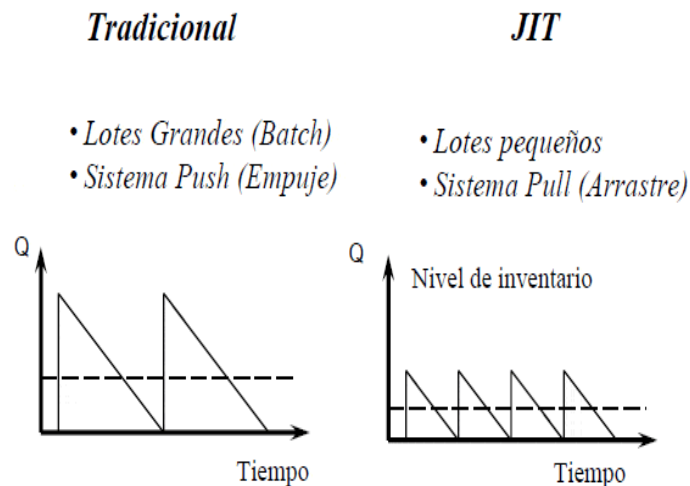
2.3.1.3. Método JIT (Just intime)

Asegurar el correcto funcionamiento de una bodega de repuestos implica contar con un sistema de gestión robusto, desde el punto de vista de tomar lo mejor de cada método disponible, en el caso de método JIT el mayor beneficio es el bajo capital de inversión pues se trabaja estrictamente con lo que se necesita en el momento que se necesita.

Dicho método se fundamenta en que una compañía no fabrica producto alguno hasta el momento en que el cliente realiza un pedido con seguridad de recepción. “El inventario JIT es el nivel de existencias mínimo para mantener el funcionamiento de la producción y del aprovisionamiento de la empresa eficazmente” (Vásquez, 2016, p. 216). Este es el aspecto más característico del método JIT.

Figura 7.

Comparación de métodos tradicionales y método JIT



Nota. La figura muestra la comparación entre un método tradicional y el JIT. Obtenido de Gestión de operaciones (s.f.) Gestión de operaciones.

<https://www.gestiondeoperaciones.net/gestion-de-calidad/que-es-just-in-time-jit-o-justo-a-tiempo/>

Vásquez (2016) menciona que:

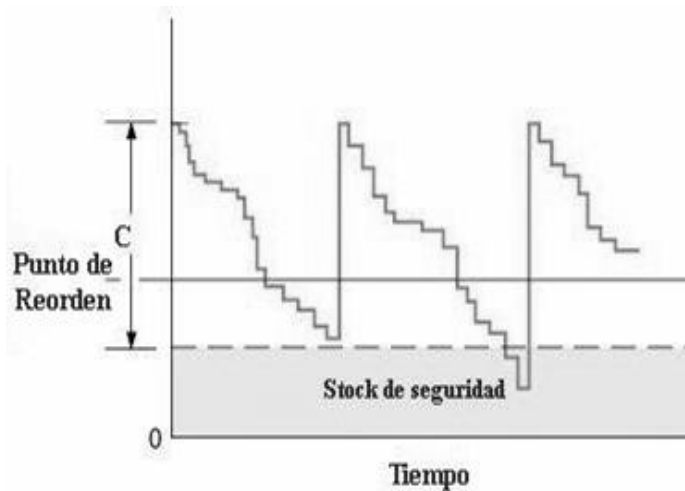
La finalidad del sistema JIT es destinar el mínimo de recursos a la gestión de inventarios, reducir los plazos de producción y de entrega a los clientes, así como disponer de un sistema de calidad que identifique rápidamente los problemas que surgen en el aprovisionamiento y en la producción. (p. 216)

2.3.2. Punto de pedido o reorden

“En un sistema de punto de pedido, se rastrea el inventario restante de un artículo cada vez que se hace un retiro de este, para saber si ha llegado al momento de hacer un nuevo pedido” (Krajewski, 2008, p.98).

Figura 8.

Interpretación gráfica del punto de reorden



Nota. La figura presenta la cantidad mínima de existencia de un artículo, de modo que cuando el stock llegue a esa cantidad, el artículo debe reordenarse. Obtenido de Lifeder (s.f.) Punto de reorden.

Identificar y abordar los factores de mayor relevancia que explican e impactan negativamente la gestión es la labor principal del administrador de inventarios entre otras. Según Guevara (2020) expone que “el comportamiento del inventario de un artículo está condicionado por la demanda de dicho artículo. Además, las características de la demanda influyen de forma decisiva en la importancia relativa de los distintos tipos de inventario” (p. 85).

Considerar el valor de cada elemento en la bodega implica un primer criterio basado en la adquisición pagada a un proveedor, “el valor unitario de un artículo mantenido en inventario es, en el caso de un artículo suministrado por un proveedor externo, simplemente el precio pagado por el artículo a su proveedor (Guevara, 2020, p. 90).

Gestión de inventarios como un tema de múltiples variables, tanto directas, como indirectas del proceso, las principales que hacen una bodega de tipo integral son las mencionadas en el apartado anterior, las cuales nos aseguran que un control integral asegura una mejor gestión, Guevara (2020) menciona que “la gestión del *stock* influye en el servicio al cliente. Si parte de la demanda queda insatisfecha, probablemente los consumidores busquen ese mismo producto en la competencia, nivel de servicio es sinónimo de satisfacción que proporciona la empresa” (p. 95).

2.3.3. Mantenimiento, reparaciones e inventarios (MRO)

Comprender los diferentes tipos de inventario implica una correcta selección de recursos para gestionar de manera correcta una bodega, sin embargo, es aún más importante saber cuál es el destino de la bodega que se utilizará a fin de diseñar un plan de conocimiento pleno sobre qué y cómo se debe gestionar la bodega en cuestión.

Según Heizer (2013), “Los inventarios MRO se refieren a los artículos de mantenimiento, reparación y operaciones, necesarios para mantener productivos la maquinaria y los procesos” (p. 69).

“Aun cuando la demanda del inventario MRO suele ser una función de los programas de mantenimiento, es necesario prever las demandas no programadas de MRO. El inventario de bienes terminados maneja productos completados en espera del embarque” (Heizer, 2013, p.85), en ocasiones dentro de la gestión MRO el no conocer las demandas a mediano y largo plazo serán causa de quiebres, no solo de ejecución de trabajos de mantenimiento, sino de fabricación de bienes terminados.

Una gestión integral con vocación de servicio será aquella que tenga conciencia sobre los impactos de la no gestión de inventarios, principalmente cuando se sabe que dichos repuestos tienen niveles de criticidad asignados.

2.3.4. E-procurement

Gestión diaria administrativa refiere al personal y áreas transversales al servicio de mantenimiento que tienen como misión importante la optimización de procesos mediante mejora continua con el constante avance de la tecnología, al respecto se encuentra una definición de gestión tecnológica enfocada en gestión MRO.

Según Mora (2017), “E-procurement es la automatización de procesos internos y externos relacionados con el requerimiento, compra, suministro, pago y control de productos, utilizando Internet como medio principal en la comunicación cliente proveedor” (p. 58). Dicha actualización tecnológica de gestión de inventarios es un claro ejemplo de las herramientas prácticas y

sencillas disponibles hoy en día. Conforme avanzan las ayudas tecnológicas no solamente se habla de almacenamiento de base de datos, adicional se cuenta con la gestión integrada de procesos que se generan de manera automática sin la dependencia de una persona en horario laboral.

2.3.5. Impacto de los repuestos en el área de mantenimiento

Como cadena de apoyo se sabe de aquellos proveedores internos de servicios transversales, que tienen como principal misión facilitar lo necesario al área de mantenimiento para el buen funcionamiento en atención a los clientes internos que generalmente es el área de producción en el sector de industria.

Debe existir una alineación estratégica de criterios o política para el manejo de dichas áreas transversales están en función a la misión, visión y estrategia definida por la organización, para el caso del proceso de implementación de manejo de inventarios. En cuanto a los sistemas de planificación y control, Chapman (2006) menciona que generalmente se selecciona y diseña un sistema con base en cómo debe funcionar la organización, aunque esto algunas veces es muy diferente de cómo funciona en realidad.

2.4. Costo del mantenimiento

Costear el mantenimiento en sus diferentes tipos (preventivo, predictivo, correctivo) generalmente se asocia solo al costo del repuesto, sin embargo los costos integrales para una mejor gestión son medidos en otros frentes tales como costos de paro de maquinaria por mantenimiento preventivo, costo de mano de obra, costo de producción detenida por máquina parada, costo de mano de obra por ejecución de mantenimiento, costo de parada repentina

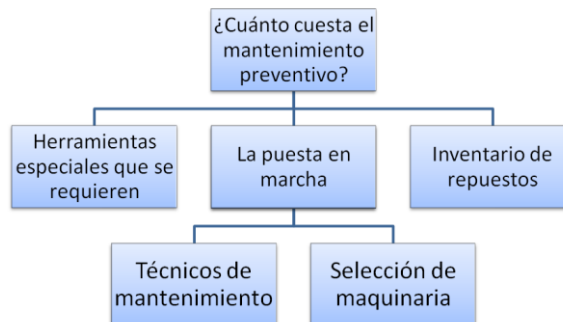
(avería), la unificación conceptual del mantenimiento preventivo la explica España (2020) como:

El objetivo del mantenimiento preventivo es anticipar y prever los fallos de equipos y máquinas, usando para ello una serie de datos, partiendo de esta base, se desarrolla el programa con frecuencias basadas en el uso del equipo para realizar las actividades que se consideren importantes llevar a cabo para evitar fallos. Es necesario definir el alcance del plan de mantenimiento preventivo, ya sea por equipos críticos, por un departamento o línea de producción. (p. 135)

Una pregunta importante que hay que hacerse es ¿Cuánto cuesta el mantenimiento preventivo?, por lo tanto, antes de iniciar el plan de mantenimiento preventivo, es necesario saber cuál será su costo, y considerar los aspectos posibles.

Figura 9.

Factores de incidencia en el costo de mantenimiento preventivo



Nota. La figura presenta los elementos que influyen en el costo de mantenimiento preventivo. Obtenido de España (2020). *Técnicas y procedimientos de limpieza con utilización de maquinaria.*

Según España (2020), “conforme se incrementa el mantenimiento preventivo, se aumenta el número de repuestos a almacenar (lubricantes, filtros, sellos y otros elementos), por lo que se debe asegurar que el *stock* sea el necesario para cada equipo” (p. 156).

El inventario es uno de los activos más importantes que poseen muchas compañías porque es el mayor rubro del activo corriente que se convierte en la base de las empresas comerciales e industriales, y su costo se puede medir de diversas formas. Al evaluar el desempeño de una organización, una de las primeras preguntas debe ser: ¿cómo valoran ellos su inventario? (Meigs, 2002, pp.285)

Como objetivo prioritario de una gestión de inventario se comprende no solamente en contar con una bodega abastecida y con alta disponibilidad de repuestos, también radica en el hecho de racionalizar el costo de dicho inventario en el tiempo.

2.5. Incidencia de la falta de repuestos en la gestión de mantenimiento

Como factor común y de ejecución sencilla en cualquier sistema de control de entradas y salidas se considera la medición del nivel de impacto como medio para dimensionar que pasaría si falta determinado repuesto.

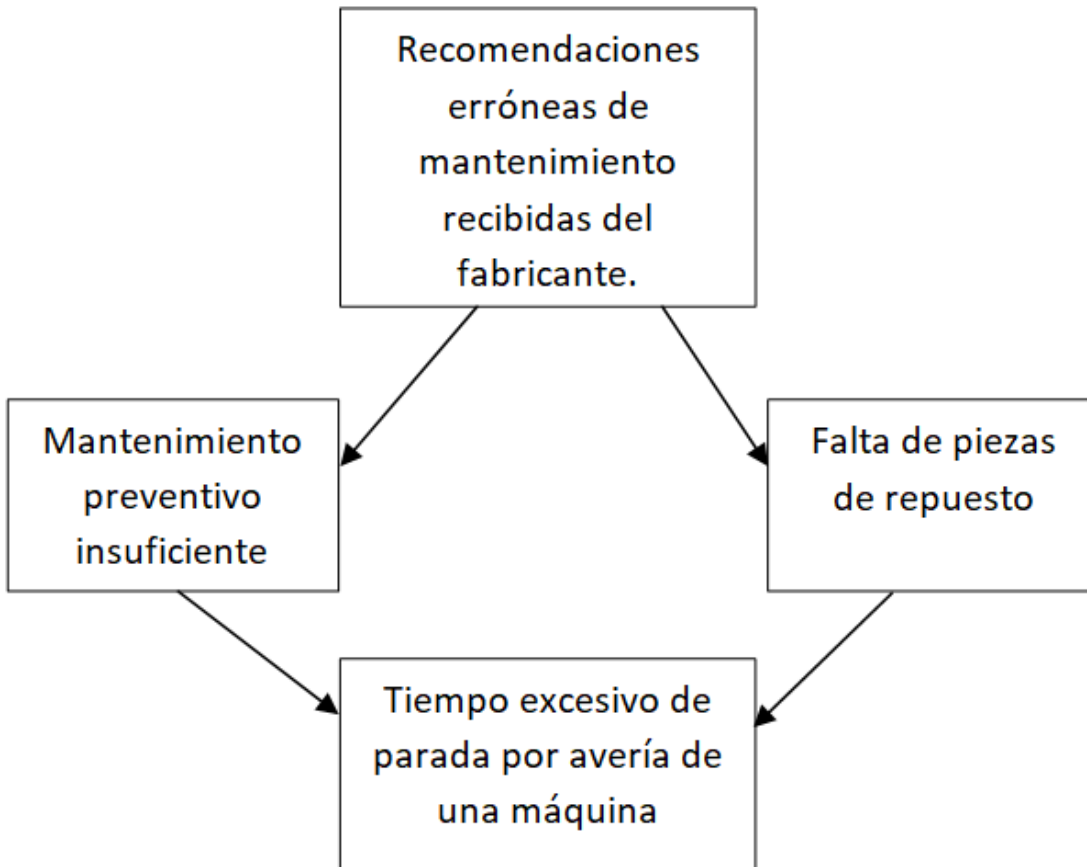
Según Gaya (2013)

Dentro de la identificación de los factores que contribuyen al problema de largos tiempos de paro ante una avería atendida por mantenimiento van desde errores de diseño del equipo hasta organización deficiente del trabajo. Al introducir cada uno de estos factores, se unen por medio de una flecha y se evidencia la relación directa con el problema. Además de un factor puntual de causa podemos observar la correlación con cada uno de los factores. (Gaya, 2013, p. 123)

En cuanto a los factores que inciden en los trabajos de mantenimiento, Gaya (2013) explica que un factor potencial es la no disponibilidad de repuestos para la ejecución de dichos trabajos.

Figura 10.

Correlación de factores de afectación

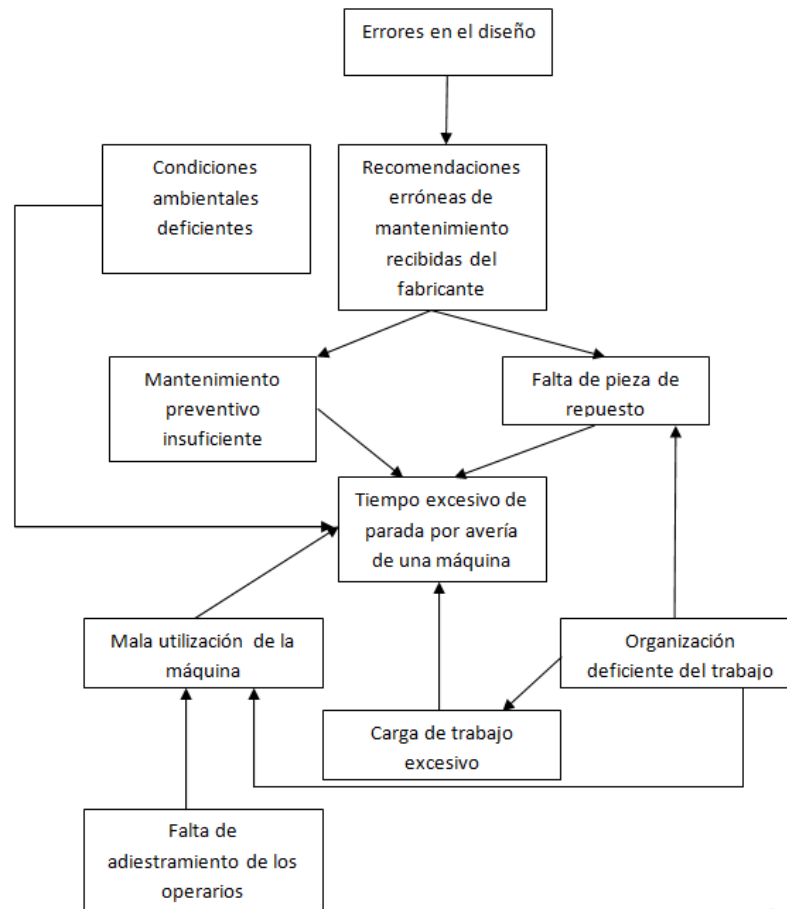


Nota. La figura presenta los factores de afectación y la relación entre estos. Obtenido de Gaya (2013) *Técnicas de mejora de la calidad*.

Según Gaya (2013), “el primer factor no es causa directa del problema, sino que la causa de otros dos factores, mantenimiento preventivo insuficiente y falta de piezas de repuesto que si inciden directamente en los tiempos de parada de averías” (p. 130). Los paros por averías de maquinaria industrial de manera general resultan de la mezcla de diversos factores y responsabilidades compartidas entre diversas áreas tales como mantenimiento y producción.

Figura 11.

Correlación de los tres factores de funcionamiento



Nota. En la figura se presenta la adecuación de los factores por tomar en cuenta en el funcionamiento. Obtenido de Gaya (2013) *Técnicas de mejora de la calidad*.

Otros autores han asegurado lo siguiente:

En el caso de las piezas de repuesto es preferible que se disponga de ellas con una cierta antelación. Si no se dispone de ellas a tiempo, se puede retrasar el arranque después de un paro de mantenimiento. Las

piezas que se necesitan para la puesta en marcha y los arranques son las mismas que para el mantenimiento normal, por lo que es mejor tenerlas disponibles con antelación. (Garcia, 2018, p. 880)

Correlacionar los tiempos de parada por avería o por mantenimiento y la incidencia directa en lo rápido o lento que puede demorar en realizar un trabajo, implica apreciar que con un correcto abastecimiento los tiempos de paro por desabastecimiento de repuestos pueden llegar a ser nulo o mínimo.

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Para resolver la problemática que se presenta por la baja disponibilidad de repuestos en la bodega, fue viable utilizar herramientas de análisis, control y monitoreo que se utilizan en procesos logísticos para abastecimiento estratégico, se diseñó un sistema que permitiera controlar la variable principal que es la disponibilidad de repuestos catalogados como críticos en la bodega de repuestos a partir de los requerimientos que se presentaban en la bodega y que son propios de la industria manufacturera en la cual se realizó dicho planteamiento, esto con el fin de obtener una referencia que se acerque lo mayormente posible a la realidad ideal y comparar el resultado de dicha implementación.

3.1. Características del estudio

Derivado del entorno situacional bajo el cual se desarrolló la investigación, se tuvo un estudio de tipo experimental con un enfoque mixto, así como el alcance correlacional con el que se analizó la unidad de análisis restringida a elementos catalogados como críticos de tipo A.

3.1.1. Diseño

Al considerar el diseño adoptado que fue de tipo experimental, pues se trabajó en torno a la información de los requerimientos de repuestos a bodega al manipular la variable principal que es la disponibilidad de repuestos y se complementó el análisis comparativo con su estado original sin ninguna manipulación; además, fue de tipo transversal, pues se estudió el

comportamiento de aquellas áreas que se ven afectadas cuando se impacta negativamente la disponibilidad de dichos repuestos.

3.1.2. Enfoque

Dado que el enfoque del estudio propuesto fue mixto, se utilizaron métodos de observación y recolección de datos numéricos del estado actual para validar el uso de las herramientas de gestión y su efectividad aplicada al escenario actual, se tuvo al alcance métodos de evaluación tanto cuantitativos como cualitativos que permitieron apreciar la diferencias entre diferentes escenarios.

3.1.3. Alcance

Se planteó un alcance de tipo correlacional dado que se recurrió a la observación directa y se realizaron cuestionarios para describir la operación en función de la bodega de repuestos, lo anterior como medio de detección de causa raíz de desabastecimiento, se complementó con el tipo correlacional ya que se estableció una relación para determinar si al momento de aplicar el sistema de control propuesto se mejora la disponibilidad.

3.1.4. Unidad de análisis

La población en estudio será la gestión de inventario de los repuestos determinados como críticos en la bodega de repuestos del área de mantenimiento, esto corresponde a 62 elementos de la totalidad de repuestos que maneja dicha bodega, es decir, se tomará una población de tipo universo, los datos por analizar serán tomados de mayo – agosto 2022.

3.2. Variables

Pregunta auxiliar 1. ¿Cuáles repuestos deben asegurarse para garantizar que la planta opere de manera óptima?

Tabla 2.

Variable de estudio pregunta auxiliar 1

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Disponibilidad de repuestos críticos	Porcentaje de veces que un repuesto crítico tipo A es necesario y se encuentra disponible en bodega.	Se medirá al calcular el número de veces que se solicita un repuesto y este se encuentra físicamente en bodega. D.R. (%) = # veces repuesto solicitado / # veces repuesto entregado

Nota. La tabla presentó los aspectos para dar respuesta a la pregunta auxiliar 1. Elaboración propia, realizado con Word.

Al haber considerado la criticidad de los repuestos y el resultado unificado de diversos criterios tales como costo, nivel de despacho, impacto de ausencia y facilidad de abastecimiento se determinaron aquellos repuestos que deben asegurarse de manera prioritaria en bodega para garantizar una operación óptima de planta en términos de seguridad y altos niveles de producción.

Pregunta auxiliar 2: ¿Cuáles son las causas que producen desabastecimiento en la bodega de repuestos?

Dentro de las variables de estudios que se identificaron y que tuvieron incidencia directa en el desabastecimiento de repuestos se encuentra el tiempo de entrega el cual a su vez tiene un 90 % de afectación directa de parte del proveedor y el 10 % restante del tiempo es atribuido a procesos internos de requerimientos de compras, por otro lado, esto se puede ver minimizado al definir un *stock* de seguridad que permita soportar tiempos de entrega relativamente largos.

Tabla 3.

Variables de estudio pregunta auxiliar 2

Variable	Definición teórica	Definición operativa y fórmula de cálculo
Tiempo de entrega	Tiempo en el cual se demora en llegar un pedido a planta	Se medirá mediante una hoja de Excel con el registro del día del pedido y día de entrega. T.E (días).= Fecha pedido-fecha entrega
<i>Stock</i> de seguridad	La cantidad mínima de repuestos que deben estar presentes en bodega.	Se medirá al realizar un inventario mensual de la cantidad de repuestos críticos existentes en bodega. Cantidad de repuestos

Nota. Elementos para dar respuesta a la pregunta auxiliar 2. Elaboración propia, realizado con Excel.

Pregunta auxiliar 3: ¿Qué modelo de gestión de inventario establecer para el control y abastecimiento de existencias en la bodega de repuestos?

Tabla 4.

Variables de estudio pregunta auxiliar 3

Variable	Definición teórica	Definición operativa y fórmula de cálculo
Disponibilidad de repuestos (%)	Es el porcentaje de veces que un repuesto necesario se encuentra disponible en bodega.	Se medirá al calcular el número de veces que se solicita un repuesto y este se encuentra físicamente en bodega. D.R.=Repuestos disponibles/ <i>Stock</i> definido
Tiempo de entrega (días)	Tiempo en el cual se demora en llegar un pedido a planta	Se medirá mediante una hoja de Excel con el registro del día del pedido y día de entrega. T.E.= Fecha pedido-fecha entrega
<i>Stock</i> de seguridad (cantidad de repuestos)	La cantidad mínima de repuestos que deben estar presentes en bodega.	Se medirá al realizar un inventario mensual de la cantidad de repuestos críticos existentes en bodega.
Capital en inventario (USD)	Cantidad de dinero equivalente a repuestos a los repuestos guardados en la bodega.	Se medirá mediante el costo individual por la cantidad de repuestos en bodega.

Nota. Elementos para dar respuesta a la pregunta auxiliar 3. Elaboración propia, realizado con Excel.

Para elaborar un modelo de gestión de inventarios basado en repuestos críticos y al considerar diversos criterios unificados se consideró la disponibilidad de repuestos requerida, esto basado en tiempos de entrega los cuales se buscaban disminuir como efecto negativo mediante el acorde *stock* de seguridad definido sin mayor afectación al capital de trabajo.

Pregunta auxiliar 4: ¿De qué manera impacta el modelo propuesto en la gestión de inventario la efectividad de la empresa de manufactura según el modelo actual?

Al aplicar el modelo de gestión de inventarios los resultados se vieron principalmente impactados positivamente en la disponibilidad de repuestos críticos tipo A definidos por el *stock* de seguridad.

Los tiempos de reparación disminuyeron como efecto de tener mayor disponibilidad de repuestos críticos y por lo tanto la disponibilidad de maquinaria fue aumentada, esto alineado a los objetivos planteados de asegurar una operación óptima de la planta de producción desde la perspectiva de seguridad, alta demanda de producción y alta disponibilidad requerida a fin de contar con tiempo programado de paro para realizar mantenimiento preventivo.

Tabla 5.*Variables de estudio pregunta auxiliar 4*

Variable	Definición teórica	Definición operativa y fórmula de cálculo
Disponibilidad de repuestos críticos (%)	Porcentaje de veces que un repuesto crítico tipo A es necesario y se encuentra disponible en bodega.	Se medirá al calcular el número de veces que se solicita un repuesto y este se encuentra físicamente en bodega. D.R.= # veces repuesto solicitado / # veces repuesto entregado
Tiempo para reparación (horas)	Es el tiempo que un técnico de mantenimiento emplea para reparar una avería.	Se medirá al contar el tiempo de paro por reparación que utiliza un técnico por cada trabajo realizado T.R.=Hora inicio-hora final, (min)
Disponibilidad de maquinaria (%)	Porcentaje del tiempo programado que la máquina estuvo detenida por una avería o mantenimiento basado en tiempo.	Se medirá al calcular el porcentaje de tiempo que la maquina estuvo operativa contra el tiempo que la máquina estuvo detenida por trabajos de mantenimiento D.M= Tiempo de operación/Tiempo programado
Stock de seguridad (cantidad de repuestos)	La cantidad mínima de repuestos que deben estar presentes en bodega.	Se medirá al realizar un inventario mensual de la cantidad de repuestos críticos existentes en bodega.

Nota. Elementos para dar respuesta a la pregunta auxiliar 4. Elaboración propia, realizado con Excel.

Como la variable inicial de estudio se consideró los repuestos e insumos que son mayormente solicitados a bodega, para realizar esta medición se tomaron datos en condiciones iguales para cada uno de los escenarios y se llenó la tabla V para documentar los resultados.

Dichos resultados fueron la base de estudio para posteriormente clasificar y depurar los requerimientos reales a bodega de repuestos durante el tiempo de toma de datos.

Tabla 6.

Requerimientos mensuales a bodega

Descripción	Meses de muestra			Cantidad de pedido mensual		
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Promedio	Máximo	Mínimo
Repuesto 1						
Repuesto 2						
Repuesto 3						

Nota. La tabla presenta los resultados base para la depuración real. Elaboración propia, realizado con Excel.

El cumplimiento durante el proceso de llenar la tabla VI fue clave puesto que de dichos resultados se procedió a determinar las cantidades de stock mínimos a considerar dentro de la bodega de repuesto.

3.3. Fases del diseño de investigación

Se describirán a continuación cinco fases por medio de las cuales se realizó el estudio, desde el inicio de las actividades, variables analizadas,

escenarios y dificultades encontradas para finalmente llegar al modelo propuesto de gestión a fin de satisfacer los objetivos planteados.

3.3.1. Fase 1. Revisión bibliográfica

Previo al planteamiento del problema presentado se realizó la búsqueda, revisión y consideración de fuentes bibliográficas, tanto primarias, como secundarias y terciarias, según el punto y nivel de aportación a la investigación presentada, la revisión bibliográfica abarcó desde los conocimientos básicos utilizados hasta casos prácticos que se han realizado y de los cuales se obtienen aportes y criterios para diseñar el sistema propuesto.

Al referir el diseño propuesto a las bibliografías revisadas, estas sirvieron como fundamento para construir la solución propuesta al escenario del problema planteado particularmente en el área de manufactura industrial con foco directo en el área de bodega de repuestos que sirve al área de mantenimiento.

3.3.2. Fase 2. Identificación de elementos de estudio

Previo al planteamiento del diseño propuesto se realizó la revisión e identificación de repuestos e insumos presentes en el área de bodega, adicional se procedió a recopilar el listado de elementos que no se encontraban físicamente en bodega pero que históricamente se han utilizado y demandado al área de bodega.

Durante la etapa de recopilación de elementos tanto existentes en bodega como aquellos que deberían de estar presentes, se procedió a

clasificarlos según criterios de uso establecidos, dicha clasificación fue agrupada por tipo de insumo, material de fabricación y medida.

Como resultado de la recopilación y clasificación obtenida para un total de 301 elementos, se procedió a definir 4 aspectos claves los cuales fueron: nivel de impacto por ausencia, nivel de despacho histórico por parte de la bodega, facilidad de abastecimiento y el costo unitario, para cada aspecto se definieron niveles de ponderación del 1 al 3 y por medio de la herramienta Excel se procedió a realizar el cálculo matemático por multiplicación.

Al haber obtenido el valor de criticidad para cada elemento, se procedió a definir los tres grandes niveles de criticidad y agrupar los 302 elementos, la criticidad tipo A corresponde a elementos con ponderación por encima de 36 puntos, la criticidad tipo B corresponde a elementos con ponderación entre 12 y 27 puntos y la criticidad tipo C para elementos con ponderación por debajo de 12 puntos, sobre el grupo de elementos con criticidad tipo A se realizó el planteamiento de solución propuesto.

3.3.3. Fase 3. Análisis de causas de desabastecimiento

Para el desarrollo de esta fase fue necesario involucrar a todas las personas que participan directa e indirectamente en el proceso del tema de investigación, se abarcó desde los responsables definidos en bodega de repuestos, al pasar por el personal del área de compras y llegar al cliente interno final que para fines de este trabajo es el área de mantenimiento.

Con la orientación hacia el escenario y proceso en función se realiza una lluvia de ideas con las personas involucradas sobre el escenario de desabastecimiento presentado, adicional es complementado con un

cuestionario a fin de determinar aquellas labores críticas que impactan en la bodega y se determinaron las causas que potencializan el desabastecimiento de repuestos en bodega.

Al finalizar el análisis de causas de desabastecimiento se identificaron las acciones pertinentes para cada causa detectada y la misma fue incorporada a la solución propuesta a fin de cumplir con el criterio de que pueda ser medible el desempeño en el tiempo.

3.3.4. Fase 4. Identificación del ciclo de abastecimiento

Debido a que el abastecimiento en la bodega de repuestos depende de otros procesos con involucramiento directo de personal operativo asignado a los mismos, esta fase se enfatizó en identificar los pasos que componen el ciclo de adquisición de repuestos e insumos con él involucramiento del personal existente así como la incidencia dentro de dicho proceso, la finalidad de dicha identificación radicó en poder determinar el nivel de cumplimiento de las etapas del proceso así como su aporte al ciclo completo de abastecimiento y determinar el nivel de impacto ante el no cumplimiento de cada etapa del proceso.

3.3.5. Fase 5. Desarrollo del plan piloto

Se observó el proceso de compras en función, se complementó con el análisis de causas de desabastecimiento y se identificó el ciclo de abastecimiento con cada responsable involucrado a fin de plantear un diseño de gestión de inventarios personalizado para las necesidades de la planta de manufactura en términos de criticidad ponderada.

Posterior al haber obtenido el listado de repuestos críticos segmentados tipo A, se le aplicó el plan piloto propuesto, lo que permitió verificar y contrastar la funcionalidad del método propuesto con el plan piloto y la realidad operativa de la bodega.

La funcionalidad de dicho plan piloto tuvo un comportamiento dinámico favorable que evidenció que el *stock* y el capital de trabajo invertido están en función a la demanda definida a partir del muestreo tomado en los meses anteriores, adicional a lo anterior también se logró evidenciar que los diferentes niveles de *stock* definidos aportaron un sistema de monitoreo de diferentes niveles con alarmas visuales utilizadas en Excel a fin de una fácil identificación de niveles de alerta según las cantidades disponibles reales en el área de bodega de repuestos.

3.4. Técnicas de análisis de información

En relación con las técnicas de análisis que se aplicaron, se llevó a cabo la observación en sitio de manera directa, y se complementó a las herramientas estadísticas en función a las entradas y salidas de bodega con los datos disponibles y ejecución de trabajos en campo, las herramientas que fueron utilizadas para el análisis de información corresponden al diagrama de Pareto y diagramas de flujo.

Posterior a la toma de datos y con el entendimiento del comportamiento dinámico de las solicitudes al área de bodega de repuestos, se analizaron las posibles herramientas que aportarían a complementar un mejor entendimiento sobre cuáles eran aquellos elementos que en primera instancia se deberían concentrar recursos y aplicar el modelo de solución propuesto.

3.4.1. Diagrama de Pareto

Corresponde a un gráfico que organiza los valores deseados y a su vez están separados por barras con una organización de mayor a menor y de izquierda a derecha respectivamente.

Al considerar la cantidad de elementos presentes en la bodega, se hizo necesario agrupar por características que permitieran reducir la cantidad de elementos a ordenar según la herramienta de Pareto.

El diagrama de Pareto nos permitió definir por tipo cuales son aquellos que son más críticos para el proceso y se determinó que el 80 % del total de elementos críticos corresponde a insumos, accesorios y repuestos varios, a dichos elementos se le aplicó la solución propuesta puesto que se debe asegurar en primer lugar a estos elementos por su criticidad.

3.4.2. Diagrama de flujo

Herramienta utilizada para la representación gráfica secuencial del proceso de abastecimiento a la bodega de repuestos, con esta herramienta se realizó la identificación del proceso, así como las tareas que conforman cada etapa del proceso.

Centrar el estudio de la solución propuesta implicó principal atención en la disponibilidad de repuestos en el área de bodega como variable principal, al tener un proceso lineal en serie se logró determinar que cada tarea del proceso debe ser cumplida puesto que no realizar una tarea implica detener todo el proceso de abastecimiento ya que una etapa depende de la otra en un orden secuencial, el proceso de abastecimiento nace desde la detección de la

necesidad del repuesto pasa por la generación del pedido y concluye con la llegada y reabastecimiento en bodega.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos planteados en la investigación en este capítulo se presentan los principales resultados de la investigación, se inicia por el diagnóstico de la situación actual del área de bodega de repuestos e insumos, se definen las herramientas necesarias para la gestión y se complementa al proponer un método para la sistematización de abastecimiento que tenga como resultado la correcta disponibilidad según su nivel de criticidad y se vea reflejado en mejora de niveles de atención de trabajos asignados al área de mantenimiento.

4.1. Listado de repuestos críticos

Los diferentes tipos de elementos por utilizar se clasifican en repuestos e insumos, la diferencia entre uno y otro es que los repuestos son utilizados en máquinas específicas, mientras que los insumos son utilizados en todas las máquinas, los criterios utilizados para determinar la criticidad son:

Tabla 7.

Criterios para análisis de criticidad

Ponderación	Impacto	Nivel de Despacho	Facilidad de abastecimiento	Costo
1	Bajo	> =90 %	3 Proveedores	<= Q100
2	Medio	70% - 90 %	2 Proveedores	Q100 - Q 1000
3	Alto	<= 70 %	1 Proveedor	>= Q1000

Nota. Se presentan los elementos para el análisis. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los criterios para el análisis de criticidad han sido tomados al considerar 4 diferentes aspectos, estos mismos aspectos se operan matemáticamente por medio de una multiplicación y así obtener la criticidad ponderada.

Tabla 8.

Ejemplo de tabla de cálculo de criticidad

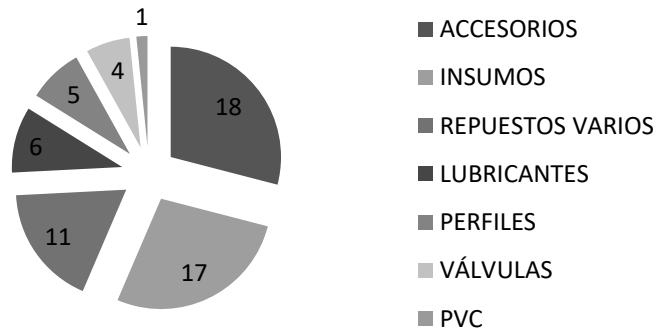
Descripción	Impacto	Nivel de Despacho	Facilidad de abastecimiento	Costo	Criticidad obtenida
Acople rápido hembra 1/4"	3	3	3	3	81
Acople automático 1/4"	3	3	3	3	81
Eurol Lithium complex EP2 400 gr	3	3	3	3	81
NCH VOLTZ	3	3	3	3	81

Nota. En la tabla se presenta un modelo para cálculo de criticidad. Elaboración propia, realizado con Excel.

Posterior a la evaluación de criticidad obtenida del total de los elementos de la bodega (301 elementos) se procede a ordenar de mayor a menor ponderación de criticidad cada uno de los elementos, los datos de repuestos críticos son:

Figura 12.

Listado de repuestos críticos por tipo

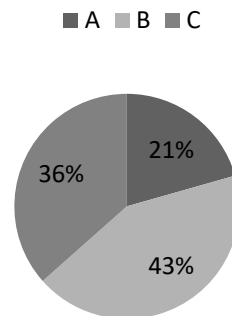


Nota. La figura presenta una clasificación de repuesto. Elaboración propia, realizado con Excel.

Con la agrupación de elementos por tipo se hace más fácil la interpretación de la distribución de cuántos elementos pertenecen a determinado tipo de agrupación. El análisis resumen de criticidad para 301 elementos indica la siguiente distribución porcentual de elementos:

Figura 13.

Distribución de elementos por criticidad

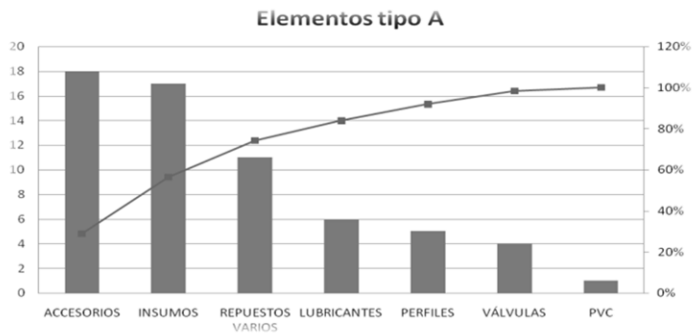


Nota. La figura presenta los porcentajes en los que se distribuyeron los elementos. Elaboración propia, realizado con Excel.

El análisis de criticidad refleja que la segmentación por tipos de repuestos corresponde a un 21 % del tipo A, 43 % del tipo B y 36 % del tipo C.

Figura 14.

Gráfica de Pareto de elementos tipo A por tipo



Nota. Se presentan los elementos tipo A. Elaboración propia, realizado con Excel

Involucrar los tres grupos principales por criticidad tales como accesorios, insumos y repuestos varios, se determina que estos elementos deben ser involucrados en el sistema de solución planteado a fin de llevar los índices de abastecimiento a los niveles definidos de disponibilidad que permitan la operación óptima de la planta en términos de seguridad, alta demanda de producción, confiabilidad y disponibilidad de los equipos de producción.

4.2. Causas identificadas de desabastecimiento de repuestos

Posterior a realizar un recorrido por el proceso de adquisición de repuestos se identifican los pasos descritos en la tabla 15 que permitan identificar tareas.

Tabla 9.

Pasos para la compra de repuestos

No. de paso	Acción	Responsable
1	Identificación de necesidad de compra por falta de repuesto	Bodeguero
2	Pedido al área de compras	Supervisor de mantenimiento
3	Proceso de cotización	Comprador local
4	Emisión de orden de compra a proveedor elegido	Comprador local
5	Despacho de repuestos pedidos	Proveedor
6	Recepción de pedido	Bodeguero
7	Ingreso a bodega de repuestos	Bodeguero

Nota. La tabla presenta los pasos que se deben realizar para la compra de repuestos. Elaboración propia, realizado con Excel.

Al revisar el proceso de compras, se observa que existe un responsable con una tarea asignada durante el proceso, se observa que las tareas por ser de tipo secuencial en serie tienen incidencia y dependencia directa una de otra, como complemento a dicha identificación del proceso se realiza el cuestionario sobre sus funciones y el cumplimiento de estas mismas a fin de identificar oportunidades de mejora y controles que permitan asegurar el cumplimiento de cada tarea a fin de un abastecimiento exitoso de elementos a la bodega de repuestos.

Tabla 10.*Cuestionario de identificación de causa raíz*

BODEGUERO	Respues ta	AFECT A
¿Identifica la falta de repuestos de manera preventiva o reactiva?	Reactiva	SI
BODEGUERO	Respues ta	AFECT A
¿Existe un medio de monitoreo de entradas y salidas de repuestos?	No	SI
¿Registra las salidas de repuestos de bodega?	No	SI
¿Registra las entradas de pedidos a bodega?	No	SI
¿Existe un listado de repuestos críticos que tengan una mayor atención?	No	SI
¿Los repuestos están ordenador por criticidad, tipo o alguna otra característica?	No	SI
¿Los repuestos se encuentran identificados?	No	SI
¿Existe una frecuencia de abastecimiento de repuestos?	No	NO
¿Se anticipa a realizar pedidos para evitar el desabastecimiento?	No	NO
SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO		
¿Con que porcentaje promedio encuentra el repuesto requerido en bodega?	40%	NO
¿Afecta la ejecución de trabajos la baja disponibilidad de repuestos?	Si	NO
¿Existe un listado de repuestos críticos que tengan una mayor atención?	No	SI
¿Con que frecuencia realiza pedidos al área de compras?	Diario	NO
COMPRADOR LOCAL		
¿Con que frecuencia recibe pedidos para compra de repuestos?	Diario	NO
¿Existe una base de datos de proveedores registrados?	Si	NO
¿Cuál es el tiempo promedio desde la compra hasta la llegada del repuesto?	Semanal	NO
¿Cuál es el tiempo promedio para obtener una cotización?	2 a 3 días	NO
¿Cuál es el tiempo de emisión de orden de compra?	5 minutos	NO

Nota. En la tabla se presenta el cuestionario para identificar la causa raíz. Elaboración propia, realizado con Excel.

Al finalizar el cuestionario de aquellas personas y procesos que tienen incidencia directa en la bodega de repuestos y su entorno para fines de abastecimiento, se identifican las repuestas que si tienen afectación. La identificación de causa raíz se realiza por medio de la herramienta de los 5 porqués.

Tabla 11.

Herramienta 5 por qué para identificación de causa raíz

Pregunta	Respuesta
¿Por qué hay desabastecimiento de repuestos en la bodega?	Por qué no se identifica la falta de manera preventiva.
¿Por qué no Identifica la falta de repuestos de manera preventiva?	No existe un medio de control de entradas y salidas.
¿Por qué no existe un medio de control de entradas y salidas?	No hay un listado de repuestos definidos.
¿Por qué no hay un listado de repuestos definidos?	No se realizó desde que comenzó a funcionar la bodega de repuestos.
¿Por qué no se realizó el listado desde que comenzó a funcionar la bodega de repuestos?	No existe un sistema de gestión definido.

Nota. En la tabla se presentan los 5 porqué para identificar la causa raíz. Elaboración propia, realizado con Excel.

4.3. Propuesta del sistema de control

Con el diseño del sistema de control de entradas y salidas propuesto se establecen metas, inventario de repuestos a sostener en bodega, criticidad de repuestos para focalizar la atención, indicadores que logren medir el desempeño del sistema, aporte al cumplimiento de trabajos asignados al área de mantenimiento, cumplimientos a los planes de producción como consecuencia de tener máquinas operativas confiables.

Un sistema de control de entradas y salidas de bodega de repuestos debe producir resultados sobresalientes en tornos a aseguramiento de disponibilidad en función al tipo de elemento, personal involucrado en el sistema de abastecimiento, anticipación temprana ante posibles desabastecimientos, análisis de comportamiento de repuestos (rotación) y respuesta ágil ante posibles desabastecimientos de repuestos críticos.

Para obtener los resultados deseados, el área de bodega debe considerar los siguientes elementos clave del proceso de solicitud, despacho y control de entrada y salida de repuestos. El control definido de entradas y salidas debe contar con información de fácil y accesible consulta, principalmente el listado de repuestos con la criticidad asignada, espacio físico ordenada para cada repuesto e historiales de salidas e ingresos.

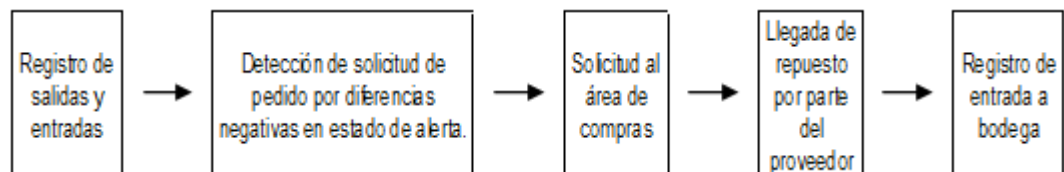
Esta información es manejada y controlada por la persona encargada de bodega y tiene la responsabilidad de cuantificar las existencias y realizar los pedidos oportunamente para que el inventario sea abastecido y no ocurra falta de disponibilidad de estos.

De manera complementaria el registro de datos devuelve la información de los movimientos diarios de bodega debe ser registrada en una hoja de cálculo de Excel que a su vez será alimentada desde un dispositivo electrónico (tableta electrónica o celular) y esta misma será actualizada en tiempo real para conocer entradas, salidas y *stock* de repuestos disponibles.

El sistema de registro de entradas y salidas permitirá realizar de manera casi automática el pedido al área de compras para asegurar que el tiempo de llegada de repuestos a planta sea el mínimo posible.

Figura 15.

Proceso de abastecimiento de repuestos por falta de stock.



Nota. La figura presenta los pasos por realizar en el proceso de abastecimiento. Elaboración propia, realizado con Excel.

El sistema de control de entradas y salidas abarca aspectos tales como un *stock* definido, el cual se refiere al *stock* que debe de existir en bodega y el cual ha sido determinado por trazabilidad de cinco meses con el registro de solicitudes al área de bodega, sin importar si estas han sido entregas exitosas o no.

De igual manera el *stock* de reabastecimiento: corresponde al *stock* con el cual se debe realizar el pedido de abastecimiento para asegurar el *stock* definido, el *stock* de reabastecimiento será igual al 90 % del *stock* definido para

los repuestos críticos tipo A. El *stock* de alerta se refiere al *stock* cuando este corresponde al 80 % del *stock* definido para los repuestos críticos tipo A.

Complementar los criterios de abastecimiento con el *stock* en peligro se refiere al *stock* en el cual los elementos se encuentran a menos del 50 % del *stock* definido.

Se define como inventario de existencias al inventario que se realizó de manera inicial a la implementación del sistema para conocer el estado de los elementos críticos tipo A.

Dentro de los aspectos claves de gestión se encuentran los ingresos que se refiere a la cantidad de elementos que ingresan a la bodega como abastecimiento al *stock* definido.

Tabla 12.

Control de stock disponible y diferencias de inventario

Descripción	Stock definido mensual	Stock al 90 %	Stock al 80 %	Stock al 50 %	Existencias (inventario) 17 agosto	Diferencia
Acople rápido hembra 1/4"	13	12	10	6	4	-9
Acople automático 1/4"	18	17	14	9	10	-8
Eurol Lithium complex EP2 400 gr	12	11	9	6	11	-1
NCH VOLTZ	10	9	8	5	10	0

Nota. En la tabla se presenta el stock disponible y las diferencia que hay de inventario. Elaboración propia, realizado con Excel.

El sistema de control de entradas y salidas consta de dos elementos básicos de registro para ejecutar el control, ingresos y salidas de bodega y como tercer factor determinante para el abastecimiento se encuentran las existencias.

Para la puesta en marcha del sistema de gestión para abastecimiento de la bodega se toma como condición inicial realizar el inventario físico, el cual nos da la diferencia de existencias contra el *stock* definido, dicha diferencia se debe abastecer para iniciar con la cantidad correcta del *stock* definido y comenzar a evaluar el desempeño de dicho sistema.

El cuadro de inicio de sistema de control evidencia que ante el inventario inicial realizado surge la necesidad de realizar un abastecimiento de cuadro inicial, dicho abastecimiento cumple el objetivo de iniciar el sistema con el *stock* definido mensual y cero diferencias de inventario, es decir, el *stock* definido mensual es igual a las existencias.

Tabla 13.

Cuadro de inicio de sistema de control de bodega

Descripción	Stock mensual	Stock al 90%	Stock al 80%	Stock al 50%	Existencias (inventario) 17 agosto	19/08/2022 1er Abastecimiento	Existencia
Acople rápido hembra 1/4"	13	12	10	6	4	9	13

Continuación de la tabla 13.

Descripción	Stock mensual	Stock al 90%	Stock al 80%	Stock al 50%	Existencias (inventario) 17 agosto	19/08/2022 1er Abastecimiento	Existencia
Acople automático 1/4"	18	17	14	9	10	8	18
Eurol Lithium complex EP2 400 gr	12	11	9	6	11	1	12
NCH VOLTZ	10	9	8	5	10	0	10

Nota. La tabla presenta los elementos por tomar en cuenta en el inicio de control de bodega. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 14.

Cuadro de funcionamiento de sistema de control

Descripción	Existencia inicial	22-ago	23-ago	24-ago	25-ago	26-ago	Salidas	Ingresos	Existencia real
Acople rápido hembra 1/4"	13	1	1		1		3	0	10
Acople automático 1/4"	18	1		1	1		3	0	15
Eurol Lithium complex EP2 400 gr	12		1	1	1		3	0	9
NCH VOLTZ	10	1				1	2	0	8

Nota. La tabla contiene los elementos que se deben considerar en el sistema de control. Elaboración propia, realizado con Excel.

El funcionamiento del sistema de control para existencias comienza a funcionar desde el momento en que se registran movimientos de salidas, pues la bodega tiene un estado inicial del 100 % de existencias.

En la primera semana de funcionamiento del sistema se registran salidas de bodega sin embargo no se registra ningún ingreso puesto que la bodega inicia a operar con el total de abastecimiento por referencia a fin de asegurar una disponibilidad optima inicial de operaciones de la bodega en términos del sistema de gestión de inventarios propuesto e implementado.

Dentro de los sistemas de control definidos para diferentes procesos existen los semáforos de control, que son controles visuales utilizados para indicar en qué punto de la operación se encuentran las variables a controlar, para fines de este trabajo de investigación se utilizan tres colores.

Tabla 15.

Identificación de nivel de inventario por letras de disponibilidad

Concepto	Criterio
Existencias por encima del 90 %	A
Existencias entre el 80 % y 90 %	B
Existencias por debajo 80 %	C

Nota. La tabla presenta los elementos para identificar el nivel de inventario. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 16.*Cuadro de alertas por disponibilidad*

Descripción	Existencia inicial	22-ago	23-ago	24-ago	25-ago	26-ago	Salidas	Ingresos Existencia inicial	Estado	29-ago	30-ago	31-ago	1-sep	2-sep	Salidas	Ingresos	Existencia	Estado
Acople rápido hembra 1/4"	1 3	1	1	1		3		1 0	B		1	1		2	5	1 3	A	
Acople automático 1/4"	1 8	1		1	1	3		1 5	B	1	1	1		3	3	1 5	B	
Eurol Lithium complex EP2 400 gr	1 2		1	1	1	3		9	B	1	1		1	3	0	6	C	
NCH VOLTZ	1 0	1				1	2	8	B	1		1		2	2	8	B	
Bujes eje central 08- 3306-13	7	1	1	1		1	4	3	C	1	1			2	4	5	B	

Nota. La tabla presenta las alertas de acuerdo con la disponibilidad. Elaboración propia, realizado con Excel.

La herramienta utilizada para el registro es el programa de Excel, a través de programación y con el registro de entradas y salidas que realiza el bodeguero, el semáforo de colores se actualiza y está en función al nivel de existencias.

La política de proveedores definida por la organización indica que los proveedores deberán despachar de manera semanal, por tal razón el control se realiza de manera diaria y finalmente se abastece con frecuencias semanales, los despachos de bodega se realizan solamente durante los días hábiles de la semana, al aplicar dicha política se observa que al finalizar una semana puede existir riesgo de desabastecimiento, sin embargo la entrega de parte de

proveedores con repuestos críticos se realiza todos los días lunes a primera hora laboral.

Tabla 17.

Funcionalidad del sistema de control

Descripción	Existen	Estado	29-ago	30-ago	31-ago	1-sep	2-sep	Salidas	Ingres	Existen	Estado	5-sep	6-sep	7-sep	8-sep	9-sep	Salidas	Ingres	Existen	Estado	
Acople rápido hembra 1/4"	10	B			1	1		2	5	3	A								2	5	A
Acople automático 1/4"	15	B	1	1		1		3	3	5	B								3	8	A
Eurol Lithium complex EP2 400 gr	9	B	1	1			1	3	0	6	C								6	2	A
NCH VOLTZ	8	B		1		1		2	2	8	B								2	0	A
Bujes eje central 08-3306-13	3	C	1	1				2	4	5	B								2	7	A
NCH Premalube Extreme	2	C	1		1		1	3	4	1	C								3	2	A

Nota. En la tabla se presenta la descripción de la funcionalidad del sistema de control. Elaboración propia, realizado con Excel.

El efecto del sistema de control de inventarios, pedido puntual al finalizar la semana (viernes) y el abastecimiento puntual al inicio de la semana (lunes), refleja inicios de operación de la bodega con inventario abastecido semana a semana, para el caso del sistema implementado se observa que a partir de la tercera semana se observan ya existencias iguales a los *stocks* definidos.

4.4. Indicadores del sistema de control (entradas y salidas)

El sistema de control de entradas y salidas para asegurar la gestión de disponibilidad deberá ser medido con indicadores primarios de bodega y como consecuencia también en indicadores propios del área de mantenimiento como punto de afectación primaria.

Tabla 18.

Ejemplo de cálculo de disponibilidad de repuesto

Concepto	Dato
Repuesto crítico:	acople rápido hembra 1/4"
Stock definido mensual:	13 unidades
Existencia en bodega:	9 unidades disponibles
Disponibilidad de repuesto:	69 %

Nota. Por disponibilidad de repuestos se hace referencia al porcentaje de repuestos existentes en contraste con el *stock* definido. Elaboración propia, realizado con Excel.

Del modelo de cálculo definido para la disponibilidad de repuesto se observa que hay un 69 % de disponibilidad del repuesto según el *stock* definido y la disponibilidad en bodega según el inventario.

Tiempo medio para reparar (MTTR) se refiere al tiempo para realizar una reparación por avería, una avería se define como la incapacidad de una máquina de realizar un trabajo para el cual fue adquirido, en tiempo, calidad y velocidad, los factores que influyen en el tiempo para realizar una reparación corresponden básicamente a tres condiciones de proceso.

Capacidad de atención del técnico que se refiere a que el técnico debe contar con el conocimiento y experiencia para solucionar los problemas en

máquinas, el conocimiento limitado o abundante hace que el tiempo de reparación sea directamente proporcional.

Repuestos o insumos necesarios para realizar las reparaciones o trabajos asignados durante la intervención del técnico, el no contar con estos impedirá la realización del trabajo y el tiempo de demora es desde que se detecta la ausencia hasta que llega a la planta lo requerido para retomar el trabajo y finalizarlo, al considerar el repuesto necesario se debe complementar que toda vez el técnico tenga las herramientas estén disponibles, buen estado y sean las correcta el técnico tendrá la facilidad de realizar la reparación.

A su vez la ausencia de repuestos e insumos genera colateralmente paros en la producción debido a la indisponibilidad de operación de las máquinas.

Tabla 19.

Indicadores de desempeño de bodega de repuestos

Indicador	Factor de medición
Disponibilidad	Disponibilidad de repuestos en bodega
IR	Índice de rotación
TME	Tiempo medio de entrega
ICS	Índice de calidad de servicio

Nota. En la tabla se presentan los aspectos que indican el desempeño de la bodega de repuestos. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 20.

Indicador de mantenimiento por ausencia de repuestos

Indicador	Factor de medición
MTTR	Tiempo medio para reparar

Nota. En la tabla se presenta el indicador de mantenimiento. Elaboración propia, realizado con Excel.

Complementar un sistema de gestión de inventarios robusto implica dentro de otros puntos de control, la constante evaluación de efectividad, para tal efecto se debe considerar el sistema de evaluación mediante indicadores objetivos de funcionamiento.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego de finalizar el estudio teórico como base conceptual y herramienta para el planteamiento de la solución que buscó diseñar un sistema de gestión de inventarios aplicado a una bodega de repuestos de una planta de manufactura.

5.1. ¿Cuáles elementos deben asegurarse en bodega para garantizar que la planta opere de manera óptima?

Sostener la operación óptima de la planta de manufactura desde el punto de vista de productividad y confiabilidad de maquinaria, sobre la cual se basó el modelo de gestión propuesto, implicó dentro de las diversas tareas adicionales a una correcta operación, el aseguramiento de la disponibilidad de estas.

Cómo la disponibilidad de la planta de manufactura se vio afectada dentro de otros factores, por paros imprevistos llamados averías es fundamental que el tiempo de reparación para normalizar el funcionamiento de la maquinaria y asegurar la continuidad de la operación sea el menor posible. Para que esto se dé, y que el equipo humano del área de mantenimiento pueda realizar su intervención de la mejor forma posible resultó imperativo contar con los elementos catalogados como críticos en el área de bodega de repuestos, los cuales han sido clasificados como críticos en función a criterios como costo, impacto, nivel de despacho asociado a la demanda, y facilidad de despacho.

Al unificar los criterios previamente citados en la tabla 7 y según lo plasmado en la tabla 8 para cada repuesto o insumo mediante el cálculo

matemático de multiplicación resultó la criticidad calculada que para fines del presente diseño propuesto se definió como repuesto crítico aquel que tiene una criticidad resultante por encima de 81 puntos.

Los repuestos e insumos que cumplen esta condición se encuentran detallados en la tabla 21. Como se observa, de los 301 artículos listados, 62 fueron catalogados como tipo A, equivalente al 21 %, y según el requerimiento de cantidad, estos son los que deben contar con existencias en la bodega.

Es importante indicar que la disponibilidad de repuestos e insumos es una condición que no solo es necesaria para la atención de averías, llega a ser aún más estratégica para la Compañía en la aplicación del mantenimiento preventivo.

5.2. ¿Cuáles son las causas que producen desabastecimiento en la bodega de repuestos?

Dentro de los constantes desabastecimientos que ocurren en el área de bodega se logró identificar que en primera instancia no se contaba con una definición clara de criterios que permita calificar y catalogar los repuestos e insumos según su importancia y esto mismo conlleva a la falta de un listado que permita detallar con suficiente información qué elementos son los que debía contar con inventario disponible para atender cualquier trabajo requerido en planta; esta información debe incluir por ejemplo descripción, unidad de medida, precio, país de origen, nombre del proveedor, tiempo de entrega, entre otros datos.

Como segundo aspecto y que agravó la problemática de desabastecimiento, está la falta de un sistema de gestión de inventarios basado

en el control diario de entradas y salidas, definición de un nivel de *stock* mínimo y de seguridad aplicado a un listado de elementos definido según su criticidad.

A todo lo anterior se le sumo que dentro del proceso de abastecimiento no se tenía definido un área administradora que determine quién es la o las personas responsables y sus tareas, así como los procedimientos a seguir para recibir y entregar materiales, solicitar compra de repuestos o insumos, o cualquier otra situación que se presente; esto en relación a lo descrito en la tabla 10 y depurado con análisis metodológico mediante la herramienta de los 5 porqué según lo descrito en la tabla 11.

Que se presenten las causas anteriormente descritas de forma individual o en conjunto resultaba en el incumplimiento de los trabajos asignados al área de mantenimiento, al impactar desfavorablemente los resultados de la planta y su nivel de competitividad y pone en evidencia la necesidad que se tiene de plantear un modelo de gestión de optimice la gestión de esta bodega.

5.3. ¿Qué modelo de gestión de inventario establecer para el control y abastecimiento de existencias en la bodega de repuestos?

Ante la necesidad identificada, el modelo de gestión orientado hacia el control de inventarios en la bodega debe de contar con un sistema que ponga en evidencia en tiempo real los cambios en las existencias para cada elemento crítico dentro de bodega, para luego comparar este valor con el mínimo de seguridad establecido, calcular el nivel de inventario y finalmente en función del incumplimiento de esta condición de *stock* emitir de forma inmediata una alerta por desabastecimiento que active el proceso de compra correspondiente y así recuperar los niveles de inventario deseado tal como lo muestra la tabla 17 que sirve como ejemplo para lo descrito anteriormente.

Al evaluar las necesidades requeridas en el escenario actual y al considerar que las demandas de repuestos en el área de bodega pueden variar mes a mes según la realidad de la planta, es importante focalizar los recursos destinados para dicho control prioritariamente a repuestos críticos, los cuales se determinaron mediante los criterios mencionados en la sección anterior.

Desde el punto de vista conceptual, el método que mejor se acoplo para este control y aseguramiento de repuestos críticos es el método ABC, el cual indica y guía a focalizar recursos en primer lugar en los más críticos. Este método clasifica por niveles de importancia relativa los distintos tipos de materiales de un almacén, conocido también como criticidad ponderada; como normalmente existen diferentes artículos y no se pueden destinar los mismos recursos de tiempo, dinero, espacio, entre otros, el modelo busca la gestión por priorización.

5.4. ¿De qué manera impacta el modelo propuesto en la gestión de inventario la efectividad de la empresa de manufactura según el modelo actual?

Favorecer la efectividad de la empresa es el propósito final de la implementación de cualquier sistema de gestión, en este caso la correcta gestión de inventarios en la bodega de repuestos e insumos generó impactos positivos en varios frentes.

Iniciando desde lo particular, el primer aspecto favorecido fue la máquina al tener una mejora en su disponibilidad, esto como resultado de reducir el tiempo de paro al contar con los repuestos e insumos que se requieren para la atención rápida de una avería. En este mismo punto, y considerando que para la maquinaria siempre serán mejores las intervenciones programadas, el

asegurar las cantidades mínimas en la bodega implicó también una mejora en la confiabilidad de la máquina como efecto de una mejor ejecución del mantenimiento preventivo.

Partiendo de lo anterior y ahora desde el punto de vista de la continuidad del proceso, es claro que una reducción en los tiempos de atención de los paros no programados en las máquinas implicó consecuencias positivas en el flujo de producto, situación que en la mayoría de los casos favorece indicadores de seguridad, productividad, calidad y costo, y por ende al final de la cadena de valor, el cumplimiento de los pedidos a los clientes en cantidad y oportunidad medido por ejemplo desde indicadores como el OTIF (On time in full).

Por último, y desde el aspecto más global, el mayor impacto fue para la empresa, puesto que este sistema de gestión de inventarios en la bodega logró mejores resultados en los indicadores que miden su desempeño (KPI's) y todas estas mejoras se consolidaron en un mayor nivel de competitividad.

5.5. ¿Qué mejoras deben realizarse al proceso actual de bodega de repuestos para asegurar la disponibilidad de repuestos críticos utilizados por el área de mantenimiento?

De acuerdo con las observaciones realizadas al proceso actual de la bodega de repuestos, las mejoras realizadas se focalizaron primero, a lo que se requirió para seguir el modelo ABC; segundo, al control de los movimientos que se dio en los inventarios de los repuestos e insumos dentro de la bodega; y tercero, a la administración que se debe hacer del proceso completo para que en el largo plazo se mantenga el sistema que fue implementado.

En lo que corresponde a lo definido por el modelo ABC, se determinaron los criterios que mejor se acoplaron a las políticas de la compañía, requerimientos del proceso productivo y condiciones existentes para el abastecimiento de repuestos e insumos. Seguido de esto, se realizó la evaluación de criticidad a todos los elementos que utiliza el área de mantenimiento a fin de depurarlos y definir aquellos que prioritariamente debían estar en la bodega.

Luego de la priorización y de asegurar dicho abastecimiento, la siguiente mejora fue monitorear los elementos que ingresan y salen de bodega, y así conocer diariamente y en tiempo real la cantidad disponible de los artículos catalogados como críticos tipo A. Como complemento se implementó un control por letras de indicación que sirva de alerta por bajo nivel de inventario y sea el punto de inicio por falta de *stock* del proceso planteado en la figura 14.

Como todo lo anterior requirió de una adecuada administración y un proceso de seguimiento periódico que permitiera medir la efectividad del sistema y cuantificar el beneficio global luego de su implementación, con indicadores como los relacionados en la tabla 19. Indicadores de desempeño de bodega de repuestos y tabla 20. Indicadores de mantenimiento por ausencia de repuestos; se definieron los roles, responsables y tareas dentro del proceso, así como los acuerdos que guiarán las relaciones cliente/proveedor entre el área de mantenimiento, bodega, área de compras y proveedores.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que la mejor manera de asegurar un inventario definido de repuestos, principalmente para aquellos catalogados como críticos es a través de un sistema de gestión basado en el monitoreo y control de entradas, salidas y abastecimiento.
2. Contar con un listado de elementos fue determinante para iniciar el proceso de gestión con foco en aseguramiento de disponibilidad, dicho listado fue realizado para obtener la mayor información de cada elemento, medida, material, demanda, costo, criticidad entre otros, esto permitió agrupar e identificar los espacios físicos disponibles de bodega.
3. En consecuencia de la exploración y consideración del escenario bajo el cual se busca diseñar la solución, se apreció que factores tales como la falta de seguimiento a las funciones específicas así como la falta de claridad de los procesos definidos, resultaban en el desabastecimiento constante de elementos en el área de bodega.
4. Para monitorear las existencias en la bodega de repuestos se determinó que la mejor herramienta a utilizar es Excel debido a la facilidad de manejo y rapidez de cálculo en tiempo real de los datos, que permitió conocer la cantidad puntual de *stock* disponible, salidas y entradas de bodega, al mismo tiempo que la disponibilidad por cada elemento.
5. Luego de asegurar la disponibilidad de repuestos en bodega de uso para el área de mantenimiento se mejoró el servicio al cliente final

(producción) a través de la disminución de tiempo perdido por falta de repuesto o insumo para atención inmediata y programada.

RECOMENDACIONES

1. El área de compras debe involucrar a los proveedores dentro de la implementación del sistema de gestión de inventarios a los que proporcionan los repuestos e insumos con criticidad A, de tal forma que conjuntamente se puedan explorar y negociar otras alternativas de abastecimiento que representen para beneficios para ambas partes.
2. El área de compras debe considerar manejar el modelo de repuestos a consignación y manejo por volumen, sistema de apartados, entre otros que faciliten y tengan por objetivo asegurar disponibilidad de elementos en bodega.
3. El área gerencial debe implementar el uso de un software dedicado para el control de inventarios capaz de soportar la carga de datos, trazabilidad por cada elemento, así como aporte de información para el análisis de comportamiento de demanda a fin de implementar proyectos de mejora.
4. Que la administración de la bodega realice la implementación de un sistema de tal forma que todos los interesados puedan consultar los niveles de disponibilidad para cada elemento de bodega de tal forma que la información sea alcanzable y accesible a niveles de consulta a las partes interesadas.
5. La gerencia de la localidad debe estandarizar los procesos de gestión de inventarios mediante la implementación de normas definidas y

reconocidas a nivel mundial que permitan asegurar el cumplimiento de dicho proceso, que sea medible y auditable.

REFERENCIAS

1. Amaya J. (2004). *Toma de decisiones Gerenciales*. Santo Tomas.
2. Aramendia G. (2021). *Logística y operaciones en e-Commerce*. Elearning S.L.
3. Bharadwaj, U., Silberschmidt, V., & Wintle, J. (2011). A risk based approach to asset integrity management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18 (4) 417-431.
<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/13552511211281570/full/html>
4. Contreras, J. (2018). *Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento*. SRL.
5. España E. (2021). *Técnicas y procedimientos de limpieza con utilización de maquinaria*. Editorial Learning.
https://www.editorialelearning.com/catalogo/media/iverve/uploadpdf/1526033425_MF1088_1_demo.pdf
6. Gaya, C. (2013). *Técnicas de mejora de la calidad*. Cuadernos.
7. Gomez, A. J. (2008). *Modelo para determinar políticas de inventario basado en los conceptos de riesgo y confiabilidad de equipos*. [Tesis de maestría. Universidad del Norte]. Archivo digital.

<https://manlgar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/172/15172020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

8. Guerrero H. (2017). *Inventarios, manejo y control*. ECOE.
9. Horngren, C. (2012). *Contabilidad de costos un enfoque gerencial*. Pearson.
10. Kennedy, W. J., Wayne Patterson, J., & Fredendall, L. D. (2002). An overview of recent literature on spare parts inventories. *International Journal of Production Economics*, 76(2), 201-215
11. Krajewski L. (2015). *Administración de operaciones*. Pearson.
12. López A. (2013). *Gestión de Inventarios*. Prezi. <https://prezi.com/skuvsr2igvys/gestion-de-inventarios/>
13. Meana P. (2017). *Gestión de Inventarios UF0476*. Paraninfo.
14. Meigs, R. (2002). *Contabilidad, la base para la toma de decisiones comerciales*. McGraw Hill.
15. Medina, R. (13 de mayo de 2013). *Propuesta de modelo matemático para la implementación de metodología de confiabilidad optimización costo riesgo de inventarios*. IASCA <http://iasca.net/wordpress/wp-content/uploads/2014/12/ARTICULO-PROPUESTA-MODELO-MATEMATICO-OCRI.pdf>
16. Mora A. (2017). *Gestión logística integral*. ECOE

17. Parra F. (2020). *Gestión de stocks*. ESIC.
18. Reyero B. (2016). *Gestión de pedidos y stock*. Ideaspropias.
19. Serra D. (2007). *Logística Empresarial en el nuevo milenio*. Gestión 2000.
20. Somarin, A.R., Chen, S., Asian, S., Wang, D. (2017). A heuristic stock allocation rule for repairable service parts. *International Journal of Production Economics*. (1) 84, 131-140.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092552731630336X>
21. Valverde R. (2014). *Modelos y sistemas de inventarios*. Formación empresarial.
22. Vasquez, B. (2009). *Cómo crear tu nueva empresa. Para sobrevivir en la crisis*. Paraninfo.
23. Vidal C. (2017). *Fundamentos de control y gestión de inventarios*. Universidad del Valle-Programa Editorial.

APÉNDICES

Es importante resaltar que en esta sección se muestra el ejemplo de los resultados de la criticidad obtenida para elementos dentro de la bodega, de esta misma tabla se extraen los tipo A en los cuales se enfoco el estudio presente.

Apéndice 1.

Criticidad obtenida para todos los elementos de bodega

Descripción	Impacto	Nivel de Despacho	Facilidad de abastecimiento	Costo	Criticidad
Acople rápido hembra 1/4"	3	3	3	3	81
Acople automático 1/4"	3	3	3	3	81
Eurol Lithium complex EP2 400 gr	3	3	3	3	81
NCH VOLTZ	3	3	3	3	81
Bujes eje central 08-3306-13	3	3	3	3	81
NCH Premalube Extreme	3	3	3	2	54
Varilla Lisa de acero inoxidable 1/2"	3	3	3	2	54
Diafragmas 08-1022-57	3	3	3	2	54
Empaques block central 04-3592-52	3	3	3	2	54
Válvula de bola metálica 1/4" rosca hembra	3	3	2	3	54
Válvula de bola metálica 3/4" rosca hembra	3	3	2	3	54
Válvula de bola metálica 1" rosca hembra	3	3	2	3	54
Fitting macho 1/4" x 1/4"	3	3	2	3	54
Acople rápido macho 1/4"	3	2	3	3	54
Abrazaderas alta presión TITAN 2"	3	3	2	3	54
Abrazaderas alta presión TITAN 1 1/4"	3	3	2	3	54
Abrazaderas alta presión TITAN 1"	3	3	2	3	54

Nota. El apéndice presenta los datos que reflejan la criticidad que se obtuvo. Elaboración propia, realizado con Excel.