

MODELO DE GESTIÓN DE REPUESTOS PARA LA CENTRAL DE
GENERACIÓN TÉRMICA PRIME TERMOFLORES S.A.S. E.S.P.

HUGO RAUL CALDERON MARIN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

MODELO DE GESTIÓN DE REPUESTOS PARA LA CENTRAL DE
GENERACIÓN TÉRMICA PRIME TERMOFLORES S.A.S. E.S.P.

HUGO RAUL CALDERON MARIN

Monografía para optar título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director:

Jairo Andrés Grass Arenas

Ingeniero Electrónico, Especialista en Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

A Dios, por la fuerza y sabiduría que me entrega cada día.

A mi familia por ser mi apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A Prime Termoflores S.A.S. E.S.P. por el apoyo.

A Jairo Andrés Grass Arenas, Ingeniero Electrónico Especialista en Gerencia de Mantenimiento, por la orientación, el apoyo y la confianza brindada a lo largo de los años.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. CONTEXTUALIZACIÓN	19
1.1 RESEÑA HISTÓRICA	20
1.2 ESTRATEGIA.....	22
1.3 POLÍTICA DE CALIDAD.....	22
1.4 DEPARTAMENTOS QUE INTERACTÚAN CON REPUESTOS	23
1.4.1 Departamento de Mantenimiento.....	23
1.4.2 Departamento de Operaciones	23
1.4.3 Departamento de Gestión Técnica	24
1.4.4 Departamento de Abastecimiento.....	25
2. OBJETIVOS	26
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
3. MARCO TEÓRICO.....	27
3.1 INVENTARIOS DE MATERIALES Y REPUESTOS	27
3.1.1 Definición	27
3.1.2 Tipos de inventario.....	27
3.1.3 Tipos de materiales y repuestos	28
3.1.4 Razón de ser de los inventarios.....	28
3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS INVENTARIOS.....	29
3.2.1 Clasificación ABC	29
3.2.2 Clasificación XYZ.....	31
3.3 JERARQUÍA DE INVENTARIOS.....	32

3.3.1 Análisis de criticidad de inventarios	32
3.4 MÉTODOS DE REPOSICIÓN	33
3.4.1 Método Mínimos / Máximos	33
3.4.2 Método Punto de Pedido / Cantidad de Pedido	34
3.4.3 Método Intervalo constante / Cantidad variable	36
3.4.4 Punto de pedido	37
3.4.5 Stock mínimo	37
3.4.6 Stock de seguridad	38
3.4.7 Tasa de utilización	38
3.4.8 Tiempo de entrega	39
3.4.9 Nivel de servicio	40
3.5 INDICADORES DE DESEMPEÑO	40
3.5.1 Objetivo de los indicadores	40
3.5.2 Componentes de un indicador	40
3.5.3 Indicadores clave	41
3.5.3.1 Planeación y reposición	42
3.5.3.2 Almacenamiento	43
3.6 ALMACÉN	43
3.6.1 Funciones del almacén	43
3.6.2 Cantidad y ubicación de bodegas	44
3.6.3 Diseño y organización de los almacenes	45
3.6.4 Auditorías	46
3.7 METODOLOGÍAS	47
3.7.1 Clasificación ABC	47
3.7.2 Clasificación XYZ	49
4. MODELO PROPUESTO PARA LA GESTIÓN DE REPUESTOS EN PRIME TERMOFLORES	51
4.1 MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL INVENTARIO SEGÚN LA CRITICIDAD	51

4.1.1	Asignación de criticidad a equipos.....	51
4.1.2	Asignación de criticidad a repuestos.....	51
4.1.3	Clasificación valor-criticidad.....	52
4.2	MÉTODO PARA DETERMINAR CANTIDADES DE REPUESTOS A MANTENER EN STOCK	54
4.2.1	Determinación de tasa de utilización	54
4.2.2	Asignación de estrategias de reposición.....	54
4.2.2.1	Materiales con criticidad alta (3X, 3Y y 3Z).....	55
4.2.2.2	Materiales con criticidad media (2X, 2Y y 2Z).....	56
4.2.2.3	Materiales con criticidad baja (1X, 1Y, y 1Z).....	56
4.2.3	Cálculo del tiempo de entrega.	56
4.2.4	Cálculo stock mínimo.	57
4.2.5	Cálculo del stock de seguridad.	58
4.2.6	Cálculo del punto de pedido.....	61
4.2.7	Cálculo del nivel óptimo del inventario.....	61
4.2.8	Determinación de niveles de servicio.....	62
4.3	MODELO DE GESTIÓN DE MATERIALES	62
4.3.1	Selección de repuestos.....	63
4.3.2	Selección de un nuevo equipo.....	63
4.3.3	Creación de materiales y repuestos en el sistema de información	64
4.3.4	Solicitudes de compra.....	64
4.3.5	Aprobación de ofertas.....	65
4.3.6	Envío de materiales o repuestos.....	66
4.3.7	Recepción de mercancía	67
4.4	MODELO DE CONSERVACIÓN DEL INVENTARIO	68
4.4.1	Personal competente	68
4.4.2	Equipo de almacenaje	69
4.4.3	Inspecciones y limpieza	69
4.4.4	Clasificación adecuada	70
4.4.5	Ubicación del inventario	70

4.4.6 Sistemas de identificación automática	71
4.4.7 Mantenimiento de repuestos y herramientas	72
4.4.8 Toma física de inventario	72
4.4.9 Monitorización de la obsolescencia	72
4.4.10 Plan de auditoría	73
5. CONCLUSIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	77
ANEXOS.....	80

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Valores típicos de una clasificación de materiales en mantenimiento.....	30
Tabla 2. Valores típicos de una clasificación XYZ de materiales en mantenimiento.	32
Tabla 3. Asignación de criticidad a los materiales en inventario.....	33
Tabla 4. Periodo evaluado en la clasificación ABC.....	47
Tabla 5. Modelo utilizado para clasificar inventario ABC	47
Tabla 6. Resultado de la clasificación ABC del inventario.	48
Tabla 7. Modelo utilizado para clasificar inventario XYZ.....	49
Tabla 8. Resultados de la clasificación XYZ del inventario.	50
Tabla 9. Matriz para la clasificación de la criticidad de los materiales	52
Tabla 10. Códigos para ítem en inventario bajo clasificación valor-criticidad.	53
Tabla 11. Cálculo del tiempo de entrega	57
Tabla 12. Valores mensuales de TPUM*, demanda real y desviación absoluta. ...	59
Tabla 13. N° de Desviación Absoluta Promedio (DAP) y Nivel de confianza.....	60

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Política de reposición MIN / MAX	34
Gráfico 2. Política de reposición PP/CP.....	34
Gráfico 3. Costos en función de la cantidad del pedido.	36
Gráfico 4. Política de reposición Intervalo constante / Cantidad variable	37
Gráfico 5. Patrón de demanda de un artículo determinado con demanda constante.	38
Gráfico 6. Patrón de demanda de un artículo determinado con demanda variable.	39
Gráfico 7. Clasificación del inventario ABC.....	48
Gráfico 8. Clasificación del inventario XYZ.	50

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructura organizacional de planta Prime Termoflores	22
Figura 2. Razones técnicas por las cuales existe un inventario.....	29
Figura 3. Alternativas para la ubicación del almacén.....	45
Figura 4. Características de unidades de carga paletizadas incorrectamente.	70

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

pág.

Fotografía 1. Central Térmica Prime Termoflores S.A.S. E.S.P.....	20
---	----

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Diagrama del proceso de gestión individual de repuestos.	80

GLOSARIO

CONFIABILIDAD: “probabilidad de que los equipos operen el mayor tiempo posible sin fallas o reparaciones.”¹

DEMANDA: cantidad de energía consumida por un agente comercializador o generador, medida en sus fronteras comerciales.

DESPACHO: “es la programación de la generación para cubrir la demanda esperada, de tal forma que para cada hora se utilicen los recursos de menor precio, cumpliendo con las condiciones límites que tiene el sistema como son los requisitos de reserva rodante, las inflexibilidades y las restricciones.”²

PROBABILIDAD: grado de posibilidad de que ocurra un evento no deseado y pueda producir consecuencias.³

REPUESTO CRÍTICO: es aquel que cumple una función específica en un equipo y si este repuesto sufre alguna avería, el equipo pierde su función principal para la cual fue diseñado.

¹ MORA, Gutiérrez Alberto. Mantenimiento, planeación, ejecución y control, Primera edición. C.V. México. ALFAOMEGA, 2009. ISBN 978-958-682-769-0. 19 p.

² XM. [Sitio web]. Despacho. [en línea]. Medellín: [Consulta: 11 de febrero del 2020]. Disponible en <https://www.xm.com.co/Paginas/Generacion/despacho.aspx#:~:text=El%20despacho%20es%20la%20programaci%C3%B3n,las%20inflexibilidades%20y%20las%20restricciones>

³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. Guía técnica colombiana. GTC 45. Bogotá, D.C. 2010.

RIESGO: “efecto de la incertidumbre sobre los objetivos”⁴.

⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gestión del riesgo. Principios y directrices. NTC-ISO 31000:2009. Bogotá, D.C. 2011.

RESUMEN

TÍTULO: MODELO DE GESTIÓN DE REPUESTOS PARA LA CENTRAL DE GENERACIÓN TÉRMICA PRIME TERMOFLORES S.A.S. E.S.P.*

AUTOR: HUGO RAUL CALDERON MARIN**

PALABRAS CLAVE: CENTRALES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA, OPTIMIZACIÓN DE INVENTARIOS, REPUESTOS, RENTABILIDAD DEL NEGOCIO, MANTENIMIENTO, CONFIABILIDAD.

DESCRIPCIÓN:

Esta monografía propone un método de optimización de inventario basado en las necesidades específicas y los altos niveles de confiabilidad requeridos por las centrales de generación de energía eléctrica. Este método comprende la asignación de criticidad a los repuestos de los activos teniendo en cuenta el impacto o riesgo de requerir un repuesto y no tenerlo en el inventario, la clasificación según la criticidad del repuesto y de su valor económico, asignación de estrategia de reposición de acuerdo con su clasificación, estimación de cantidades de seguridad, cantidades mínimas del inventario, cantidades óptimas de acuerdo a datos de confiabilidad de los equipos utilizando la distribución de Poisson.

En el desarrollo de la monografía se realiza la clasificación del inventario a través de la metodología ABC, metodología XYZ y posteriormente se analiza para determinar cuál es la que más se ajusta a la necesidad de las Centrales de Generación Térmica.

El modelo también incluye una gestión de materiales en donde se especifica detalladamente las consideraciones que se deben tener en cada parte del proceso de adquirir un material o repuesto desde que surge la necesidad hasta que el repuesto llega al almacén.

También se recopila información para establecer un método de conservación de repuestos en el almacén, las tareas y responsabilidades que debe ejercer el personal, las competencias requeridas, los componentes para una auditoría y los indicadores de desempeño para medir la eficiencia de la gestión.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Jairo Andrés Grass Arenas, Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

ABSTRACT

TITLE: SPARE PARTS MANAGEMENT MODEL FOR PRIME TERMOFLORES S.A.S. E.S.P. THERMAL GENERATION PLANT*

AUTHOR: HUGO RAUL CALDERON MARIN**

KEY WORDS: POWER PLANTS, INVENTORY OPTIMIZATION, SPARE PARTS, BUSINESS PROFITABILITY, MAINTENANCE, RELIABILITY.

DESCRIPTION:

This monograph proposes an inventory optimization method based on the specific needs and high levels of reliability required by electric power generation plants. This method includes assigning criticality to the spare parts of the assets, taking into account the impact or risk of requiring a spare part and not having it in the inventory, the classification according to the criticality of the spare part and its economic value, assignment of the replacement strategy according to its classification, estimation of safety quantities, minimum quantities of inventory, optimal quantities according to equipment reliability data using the Poisson distribution.

In the development of the monograph, the inventory classification is carried out through the ABC methodology, the XYZ methodology and later it is analyzed to determine which is the one that best suits the need of the Thermal Generation Plants.

The model also includes a materials management where the considerations that must be taken in each part of the process of acquiring a material or spare part are specified in detail from the moment the need arises until the spare part arrives at the warehouse.

Information is also collected to establish a method of conserving spare parts in the warehouse, the tasks and responsibilities to be carried out by the staff, the required competencies, the components for an audit and the performance indicators to measure the efficiency of the management.

* Monograph

** Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization Director: Jairo Andrés Grass Arenas. Maintenance Management Specialist.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las causas que pueden llevar a indisponer la generación de una central térmica toma gran relevancia las averías en activos críticos de las unidades, afectando el aporte energético al país cuando éste es requerido. Esto plantea para las Centrales de generación térmica un importante reto el cual consiste en velar por el aumento de la confiabilidad de los activos críticos.

Hay que mencionar que lo anterior incluye la optimización de su gestión de repuestos para no indisponer el servicio ni sacrificar las utilidades debido a sanciones incurridas por el incumplimiento del despacho, afectación del cargo por confiabilidad y lucro cesante por la no generación de los periodos indisponibles.

Para la gestión actual de repuestos de los activos críticos en Prime Termoflores S.A.S. E.S.P. se utilizan diversos métodos de gestión, los cuales son propios de cada líder de mantenimiento de la central. Utilizar diferentes métodos de gestión puede conllevar a fallas en la planificación del mantenimiento de equipos críticos y por ende a la indisponibilidad de la central térmica.

Dentro de este contexto, se realizó un análisis de los modelos de optimización de inventario existentes y se adaptó a una metodología que facilite la ejecución del mantenimiento preventivo y flexibilidad ante situaciones que requieran una repuesta rápida por parte del departamento de mantenimiento.

El modelo de gestión desarrollado tiene como principal objetivo, brindarle a la compañía la posibilidad de aumento en la confiabilidad de sus activos críticos a través de la optimización de la gestión de repuestos alineado con la estrategia del negocio y cumplir con el aporte a la matriz energética.

1. CONTEXTUALIZACIÓN

Prime Termoflores S.A.S. E.S.P. es actualmente el activo de generación con mayor capacidad instalada que posee EnfraGen, la cual es filial de Glenfarne Group LLC que es propietario y operador industrial que tiene una sede en Nueva York dedicado al desarrollo, construcción y operación de activos de energía e infraestructura en Norteamérica y Latinoamérica.

La compañía Prime Termoflores S.A.S. E.S.P. está ubicada en Barranquilla - Atlántico y tiene como objetivo comercial la generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles tales como el gas natural, el cual es suministrado a turbinas de combustión. También se recupera la energía calorífica (gases calientes) resultado del proceso de las turbinas de combustión y se genera vapor para generar energía a través de turbinas de vapor.

Anteriormente, la compañía contaba con licencias para generar energía a través del combustible líquido.

Fotografía 1. Central Térmica Prime Termoflores S.A.S. E.S.P.



Fuente: CELSIA; Venta de la térmica zona franca en Barranquilla. [en línea]. Medellín; 19 de septiembre del 2019; [Consulta: 25 de febrero del 2020]. Disponible en <https://www.celsia.com/en/sala-prensa/con-la-venta-de-la-t233rmica-zona-franca-en-barranquilla-celsia-obtiene-fondos-para-acelerar-sus-planes-de-crecimiento-y-continuar-con-su-transformaci243n>

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

Todo inicia antes_ de los años 90 cuando el país sufría de racionamientos constantes y que afectaban la calidad de vida de los colombianos y en gran medida a los sectores comerciales e industriales. Por lo tanto, el gobierno entre los años 1991 y 1992 permite a las empresas privadas invertir en el sector de energía eléctrica.

Debido a lo anterior, se crea la empresa de razón social Termoflores e inicia la construcción del ciclo simple Flores I y en 1993 entra en operación con una

capacidad instalada de 110 MW. Unos meses después se instaló un recuperador de calor y una turbina de vapor, la cual permitió aumentar la capacidad instalada a 160 MW contribuyendo a la mejora de la eficiencia de la planta.

En el año 1995 se instaló una segunda unidad de generación de ciclo simple la cual se llamó Flores II y entró en operación con una capacidad instalada de 112 MW.

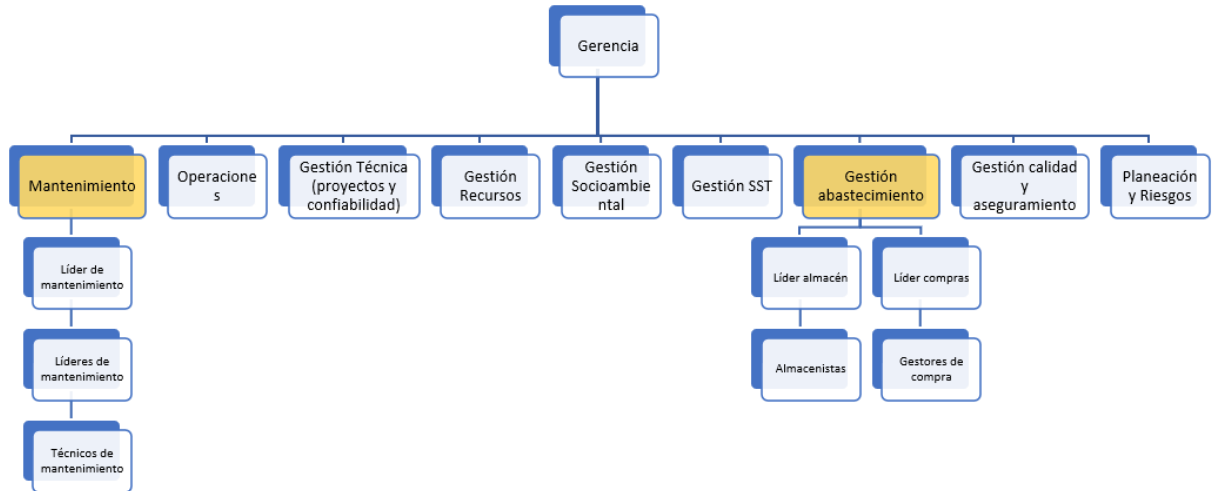
En el año 1998 se instaló una tercera unidad de generación de ciclo simple la cual se llamó Flores III y entró en operación con una capacidad instalada de 150 MW.

Luego, en 2007 Celsia S.A. compra el 100% de las acciones de Termoflores con una capacidad de 441 MW y en 2008 se expande y se pone en marcha el proyecto Flores IV, el cual absorbió a Flores II y Flores III con la instalación de dos recuperadores de calor, quemadores suplementarios y una turbina de vapor que adicionaron 169 MW al ciclo para obtener una capacidad total instalada de 610MW.

Lo anterior, posiciona a esta central como la segunda generadora térmica con mayor capacidad instalada y la más eficiente del país.

En 2019, Prime Termoflores fue adquirida por EnfraGen LLC filial de Glenfarne Group - a través de Prime Energía Colombia. EnfraGen tiene un portafolio amplio de generación de energía, la cual incluye generación de energía térmica, hidráulica y solar.

Figura 1. Estructura organizacional de planta Prime Termoflores



Fuente: elaboración propia

1.2 ESTRATEGIA

Posicionar Prime Termoflores en 5 años, como líder de Generación Térmica de respaldo en Colombia con base en sus niveles de disponibilidad, eficiencia, y confiabilidad de las Unidades de Generación, además de la satisfacción de nuestros clientes, con un capital humano comprometido y enfocado en la excelencia operacional⁵.

1.3 POLÍTICA DE CALIDAD

Proveer servicios de generación de energía eléctrica, y comercialización de energía y gas natural asegurando la productividad, disponibilidad y confiabilidad operacional, garantizando la satisfacción de los clientes y el cumplimiento de los requisitos aplicables legales y regulatorios, y la optimización y mejoramiento

⁵ PRIME TERMOFLORES. Manual del Sistema de Gestión de Calidad. [Diapositivas]. Barranquilla. 2020. 39 diapositivas.

continuo de nuestros procesos, respaldados por nuestro equipo humano profesional.⁶

1.4 DEPARTAMENTOS QUE INTERACTÚAN CON REPUESTOS

1.4.1 Departamento de Mantenimiento. El departamento es representado por el líder de mantenimiento el cual dirige el equipo y se apoya en cada líder de área respectiva. Está conformado por tres áreas, las cuales corresponden a: instrumentación y control, mantenimiento mecánico y mantenimiento eléctrico.

El departamento de mantenimiento es el encargado de solicitar al área de Abastecimiento la gestión de los repuestos, equipos y servicios requeridos con los proveedores y contratistas.

El mantenimiento es ejecutado por personal técnico, el cual posee en promedio una experiencia de 12 años desarrollando actividades preventivas (incluyendo predictivas), correctivas y de mejora en los activos de generación.

Este departamento juega un papel muy importante dentro de la compañía, ya que es el directamente encargado de mantener disponibles y confiables los sistemas y equipos que conforman las plantas de generación y así poder brindar a los colombianos energía confiable y de calidad mientras que a su vez se garantiza la sostenibilidad del negocio.

1.4.2 Departamento de Operaciones. El departamento de operaciones es representado por el Director de Operaciones, el cual se apoya directamente en un Analista de Operaciones, Analista Químico, Líderes de Sala de Control, Ingenieros

⁶ PRIME TERMOFLORES. Manual del Sistema de Gestión de Calidad. [Diapositivas]. Barranquilla. 2020. 39 diapositivas.

de Operación y Técnicos Operadores de campo encargados de cumplir con los requerimientos del Centro Nacional de Despacho (CND) a través de la operación de las unidades de generación y de los activos del Sistema de Transmisión Nacional y del Sistema de Transmisión Regional.

Los técnicos operadores de campo son los que interactúan en un 100% con el proceso en campo y reportan novedades y averías referentes a equipos y sistemas a Sala de Control. Posterior a ello, se genera la solicitud de trabajo y, en caso de corresponder a mantenimiento, se especifica el área respectiva para la atención de la solicitud de acuerdo con el registro de criticidad, el cual va ligado al riesgo por: seguridad, medio ambiente, indisponibilidad de la planta de generación e incumplimientos por desvíos no programados.

El departamento de operaciones mantiene en stock consumibles e insumos como lo son: sal, ácido sulfúrico, policloruro de aluminio, soda caustica, secuestrante de oxígeno, amina, fosfato y gases comprimidos (Hidrógeno, Nitrógeno y CO₂), los cuales son indispensables para la operación de las plantas de generación y son solicitados directamente al departamento de Abastecimiento para su adquisición.

1.4.3 Departamento de Gestión Técnica. El departamento de Gestión Técnica es representado por el Líder de Gestión Técnica. Este departamento se encarga de la estimación de la confiabilidad de los equipos y de la implementación de proyectos en la Central.

La ejecución de proyectos y/o modificaciones de sistemas o equipos, implica normalmente la compra de nuevos equipos y servicios para su posterior instalación en la central.

El departamento de gestión técnica solicita directamente al departamento de Abastecimiento la gestión de compra de equipos y contratación de servicios.

1.4.4 Departamento de Abastecimiento. El departamento de Abastecimiento tiene como función principal recibir las solicitudes de compra de los diferentes departamentos para su gestión de adquisición y logística. Este departamento se relaciona directamente con los proveedores, suministradores, fabricantes y contratistas en los diferentes países del mundo con el fin de cubrir las necesidades de la central.

Abastecimiento cubre el proceso desde su inicio hasta cuando el repuesto, material o servicio se encuentra a disposición de los solicitantes en la central.

Adicionalmente, se encargan de almacenar estos materiales en el Almacén de la central, el cual es el lugar destinado para el almacenamiento de repuestos nuevos, usados y averiados de Mantenimiento, materiales solicitados por el departamento de Gestión Técnica para la ejecución de proyectos, consumibles del departamento de Operaciones e incluso los dados de baja por inactividad o desactualización tecnológica.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de toma de decisiones que permita mejorar la confiabilidad de los activos críticos a través de la optimización de la gestión de repuestos en la central de generación térmica Prime Termoflores S.A.S. E.S.P.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer un método estándar para la evaluación de criticidad de los repuestos de activos críticos.

Crear un método que permita determinar las cantidades mínimas y de seguridad del stock de repuestos de los activos críticos teniendo en cuenta la necesidad y la valoración del riesgo.

Construir un plan de acción para contrarrestar las solicitudes, aprobaciones y recepciones erróneas de repuestos.

Determinar las causas que ocasionan la avería y deterioro de repuestos almacenados en bodega.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 INVENTARIOS DE MATERIALES Y REPUESTOS

3.1.1 Definición. De acuerdo con Contreras⁷ “un inventario es la existencia de algún bien mantenido bajo resguardo para su utilización o venta en el futuro”. Por otra parte, el concepto Inventario, la RAE⁸ lo define como un “asiento de los bienes y demás cosas pertenecientes a una persona o comunidad, hecho con orden y precisión.”

3.1.2 Tipos de inventario. Los inventarios se pueden clasificar de diferentes formas, de acuerdo con el objeto económico de la empresa y como manifiesta Ortiz⁹ “cada definición corresponderá de manera obligada a una estrategia de abastecimiento y a una estrategia de inventario las cuales deberán ser complementarias”.

Algunos tipos de inventario que menciona Ortiz¹⁰ son: rotativos, estratégicos, en tránsito, esenciales, especulativos, frecuentes, seguridad, crítico, no stock, perecederos.

Contreras¹¹ menciona que, en los sistemas de producción, los inventarios se pueden clasificar en: materias primas, productos en proceso, productos terminados y materiales MRO (mantenimiento, reparación y operaciones).

⁷ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 17 p.

⁸ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.3 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [13/10/20].

⁹ ORTIZ, Daniel. Gestión del inventario de repuestos. 2016. 14 p. ISBN 978-958-46-8902-3

¹⁰ Ibid., p. 14.

¹¹ CONTRERAS MÁRQUEZ, Op. cit., p. 17.

3.1.3 Tipos de materiales y repuestos. Los materiales según Ortiz¹², de acuerdo con el tipo de empresa se pueden clasificar en “Materia Prima, Producto Intermedio, Producto Terminado, Insumos, Repuestos, Consumibles y uso general o Administrativo”.

3.1.4 Razón de ser de los inventarios. Varios son los motivos que refuerzan la idea de tener inventarios, entre ellos la imposibilidad para asegurar el cumplimiento permanente de algunos proveedores, la debilidad en la predicción por la imprecisión de la demanda de repuestos y satisfacer las necesidades del día a día en la producción como manifiesta Ortiz¹³.

Otro factor de gran impacto, son los tiempos de entrega del proveedor en aquellos materiales que son importados o que son fabricados bajo pedido.

Mora¹⁴ considera que, en el caso de mantenimiento, cuando las máquinas fallan o requieren una intervención de mantenimiento planificado, hay riesgo de perder la funcionalidad o es necesario suspender la operación de la línea o incluso de la planta de la cual no se posee el material en stock, el cual puede ser de tipo insumo, consumible de mantenimiento o un repuesto.

Ballou¹⁵ resume las razones afirmando que hay ocasiones (según el objeto comercial de la compañía) en los que es más económico mantener en inventario

¹² ORTIZ, Daniel. Gestión del inventario de repuestos. 2016. 13 p. ISBN 978-958-46-8902-3

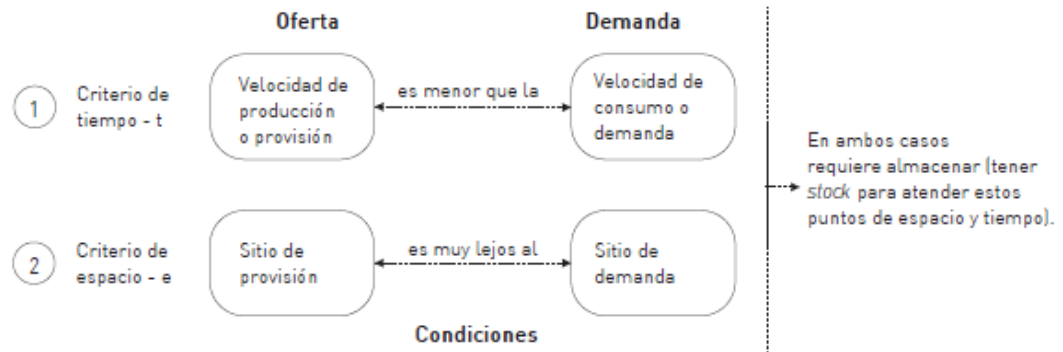
¹³ Ibid. p. 7.

¹⁴ MORA, Alberto. Inventario cero. Cuánto y cuándo pedir. 2016. 38 p. ISBN 978-958-778-069-7.

¹⁵ BALLOU, Ronald. Logística: administración de la cadena de suministro. Citado por MORA, Alberto. Inventario cero. Bogotá. 2016. p. 39.

ciertos materiales y repuestos ya que no tenerlos impacta de forma significativa en el aspecto económico.

Figura 2. Razones técnicas por las cuales existe un inventario



Fuente: MORA, Alberto. Inventario cero. Cuánto y cuándo pedir. 2016. 39p. ISBN 978-958-778-069-7.

3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS INVENTARIOS

La clasificación de los inventarios surge de la necesidad de analizar para poder establecer estrategias, enfoques y planeación del inventario.

A continuación, se describirán las técnicas más usadas:

3.2.1 Clasificación ABC. Es una clasificación muy utilizada para materias primas y productos terminados según manifiesta Ortiz¹⁶. Por otra parte, Contreras¹⁷ también afirma que su principal aplicación se encuentra en inventarios con fines comerciales, ya que permite determinar los artículos que tienen un alto valor de uso.

¹⁶ ORTIZ, Daniel. Gestión del inventario de repuestos. 2016. 15 p. ISBN 978-958-46-8902-3

¹⁷ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 73 p.

Esta clasificación según Contreras¹⁸, se basa en la definición de tres categorías de materiales, entre las que se destacan los materiales tipo A, tipo B y tipo C. Los materiales tipo A, son aquellos que poseen un alto valor de uso, los materiales tipo B representan un uso intermedio y los materiales tipo C son los que tienen un valor muy bajo de uso.

Los porcentajes que corresponden a cada tipo son definidos por el analista que realiza la clasificación.

A continuación, en la tabla 1 se muestra una valoración típica de la clasificación ABC de materiales para mantenimiento:

Tabla 1. Valores típicos de una clasificación de materiales en mantenimiento.

NIVEL DE UTILIZACIÓN	CATEGORÍA	% DEL VALOR DE USO	% DE ARTÍCULOS UTILIZADOS
ALTA	A	50	10
MEDIA	B	30	30
BAJA	C	20	60

Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 75 p.

Normalmente este tipo de clasificación no es la más importante para la gestión de inventarios en mantenimiento, debido a que el valor de esta técnica se basa en que la gran mayoría de inventarios tiene un comportamiento típico y debe seleccionarse para la clasificación un periodo de tiempo.

¹⁸ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 74 p.

3.2.2 Clasificación XYZ. Esta técnica permite clasificar los materiales en tres categorías en función del valor que tienen con respecto al valor total del inventario. Como menciona Contreras¹⁹, esta técnica es la más adecuada para poder realizar un análisis de los materiales que impactan de forma significativa en el valor del inventario.

La categoría X permite agrupar los materiales que representan un porcentaje alto en comparación con el valor total del inventario. Normalmente en mantenimiento, esta cantidad oscila entre el 5% y el 10% de la cantidad total de inventario almacenado pero que su valor económico es superior al 60%, mientras que la categoría Y agrupa valores intermedios y por último la categoría Z agrupa aproximadamente un 50% de todos los materiales almacenados en el inventario con la diferencia de que estos poseen un valor que oscila entre el 10% y el 20% de su valor total.

De acuerdo con la clasificación anterior, los porcentajes también son establecidos por el analista.

A continuación, en la tabla 2 se muestra una valoración típica de la clasificación XYZ de materiales para mantenimiento:

¹⁹ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 75 p.

Tabla 2. Valores típicos de una clasificación XYZ de materiales en mantenimiento.

VALOR	CATEGORÍA	% DEL VALOR TOTAL	% DE ARTÍCULOS
ALTO	X	60	10
MEDIO	Y	30	30
BAJO	Z	10	60

Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 77 p.

3.3 JERARQUÍA DE INVENTARIOS

3.3.1 Análisis de criticidad de inventarios. La asignación de la criticidad a un determinado material o repuesto se debe realizar como lo plantea Contreras²⁰, en función de las consecuencias de no disponer del material (ya sea un consumible o un repuesto) en el almacén cuando es requerido.

El único elemento que se considera es la pérdida de la continuidad operacional lo cual es sinónimo de pérdidas económicas.

Se deben clasificar los materiales en tres categorías en donde se agrupen teniendo en cuenta el grado de criticidad ligado al lucro cesante causado por su indisponibilidad cuando es necesitado el material.

²⁰ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 81 p.

Tabla 3. Asignación de criticidad a los materiales en inventario.

INDISPONIBILIDAD	PARALIZA LA GENERACIÓN	MEDIA (2)	ALTA (3)	ALTA (3)
	AFECTACIÓN PARCIAL	BAJA (1)	MEDIA (2)	ALTA (3)
	NO AFECTA LA GENERACIÓN	BAJA (1)	BAJA (1)	MEDIA (2)
		< 10 días	Entre 10 y 30 días	> 30 días
TIEMPO DE ENTREGA				

Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 82 p.

3.4 MÉTODOS DE REPOSICIÓN

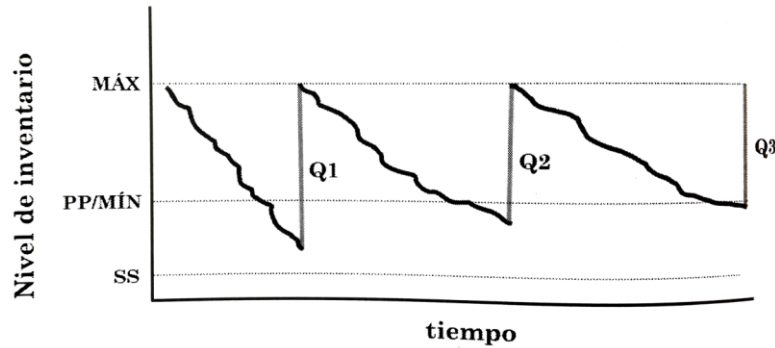
Los métodos de reposición hacen referencia al mecanismo o estrategia adoptada por cada Compañía para reponer unidades al inventario de acuerdo con la necesidad.

3.4.1 Método Mínimos / Máximos. Con base en lo mencionado por Contreras²¹ esta estrategia de reposición tiene como objetivo, detectar cuando el inventario llegó a un punto mínimo previamente establecido y reponer una cantidad variable hasta alcanzar un nivel máximo establecido.

A continuación, en el gráfico 1 se observa el comportamiento del método Mínimos / Máximos en comparación con el tiempo.

²¹ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 91 p.

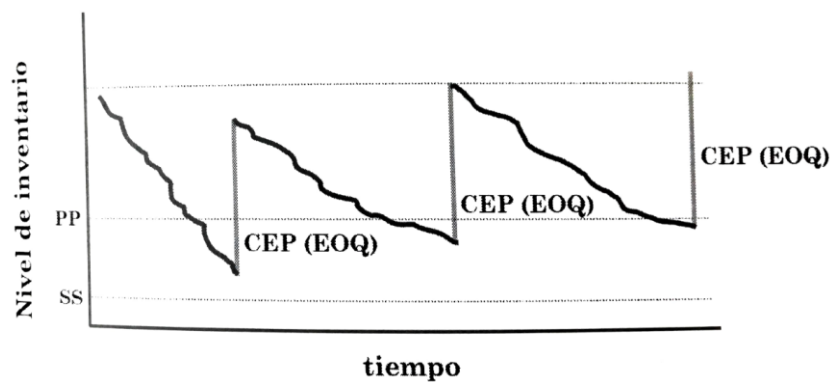
Gráfico 1. Política de reposición MIN / MAX



Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 92 p.

3.4.2 Método Punto de Pedido / Cantidad de Pedido. Este método que señala Contreras²² genera una solicitud de compras cuando el nivel del inventario cae hasta el Punto de Pedido. Las cantidades por pedir son determinadas a través de la Cantidad Económica de Pedido (CEP) con el objetivo de minimizar el costo total asociado a la decisión de compra.

Gráfico 2. Política de reposición PP/CP.



Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 93 p.

²² CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 92 p.

La cantidad económica del pedido CEP o EOQ (*Economic Order Quantity*) busca encontrar el punto en donde los costos por pedir el producto y los costos por mantenerlo en inventario son iguales. Es decir, permite calcular la cantidad de artículos que se deben comprar en función al costo del pedido y el costo de mantenerlo en stock.

Esto con el fin de disminuir como menciona Contreras²³, los costos de comprar y almacenar.

El modelo matemático es representado por la siguiente expresión:

$$CEP = EOQ = \sqrt{\frac{2 * D * A}{I * U}}$$

Donde,

D = Demanda anual para el artículo en inventario (unidades / año)

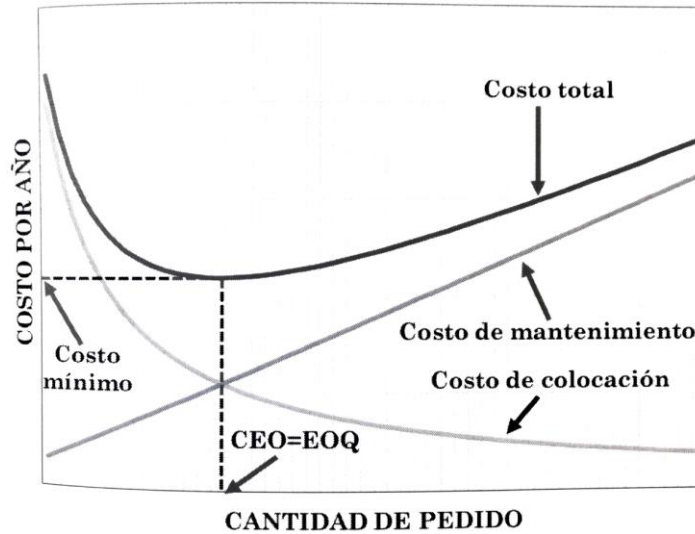
A = Costo de colocación, recepción y ubicación de un pedido

I = Costo de mantenimiento del inventario como % del valor del inventario (% / año)

U = Costo del artículo (precio unitario)

²³ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 118 p.

Gráfico 3. Costos en función de la cantidad del pedido.



Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 117 p.

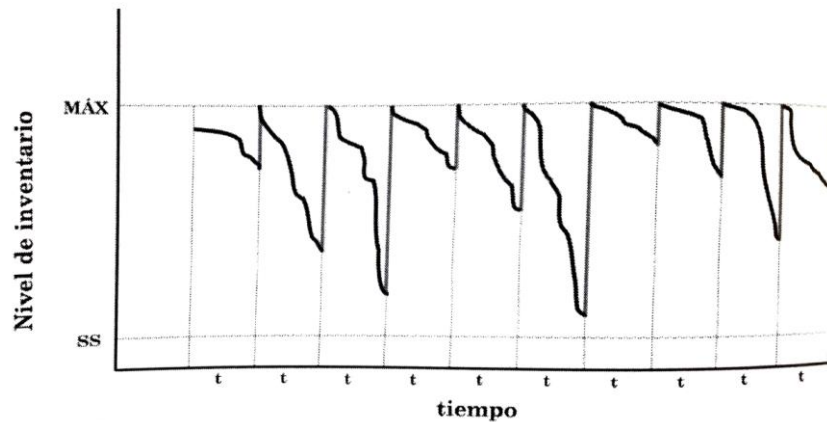
3.4.3 Método Intervalo constante / Cantidad variable. De acuerdo con lo manifestado por Contreras²⁴, este método repone las cantidades exactas consumidas por un artículo hasta el momento de la reposición del inventario.

Lo anterior, con el fin de minimizar la cantidad de compras durante el mes de artículos con alta rotación.

A continuación, en el gráfico 4, se muestra el comportamiento del método de reposición Intervalo constante / cantidad variable.

²⁴ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 93 p.

Gráfico 4. Política de reposición Intervalo constante / Cantidad variable



Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 94 p.

3.4.4 Punto de pedido. Contreras²⁵ lo define como “el nivel de inventario para el cual se coloca un pedido para asegurar que no exista rotura de stock antes de que el pedido sea recibido”.

El punto de pedido también llamado como “Punto de Reorden” o “*ReOrder Point*”

$$\text{Punto de pedido (PP)} = \text{Stock mínimo} + \text{Stock de seguridad}$$

3.4.5 Stock mínimo. Se define como el nivel de inventario que podrá satisfacer la demanda durante el tiempo de entrega. También es conocido como Stock de trabajo.

$$\text{Stock mínimo} = \text{Tiempo de entrega promedio} \times \text{Tasa de Utilización promedio}$$

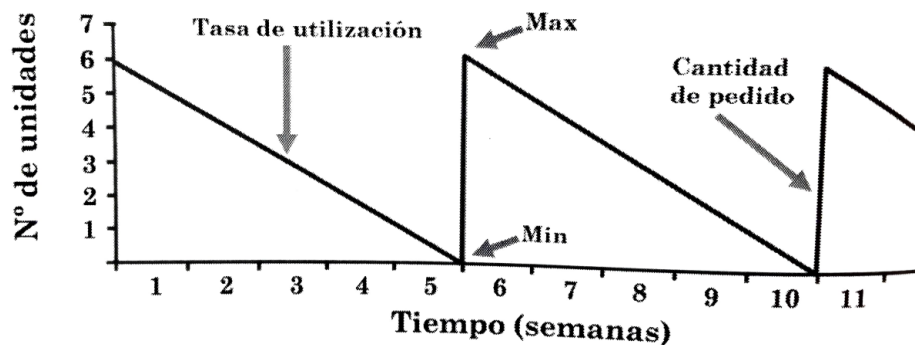
²⁵ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 94 p.

3.4.6 Stock de seguridad. Es considerado como las cantidades adicionales al stock mínimo o el “colchón o amortiguador” de las fluctuaciones de la demanda. Este valor se debe calcular de acuerdo con la criticidad de los artículos almacenados.

3.4.7 Tasa de utilización. Como menciona Contreras²⁶, se puede definir como “la cantidad de piezas utilizadas en determinado período de tiempo”.

A continuación, en el gráfico 5, se representará el caso de una demanda constante, en el ejemplo puntual el autor afirma que la tasa de utilización es 1,2 unidades por semana (6/5).

Gráfico 5. Patrón de demanda de un artículo determinado con demanda constante.



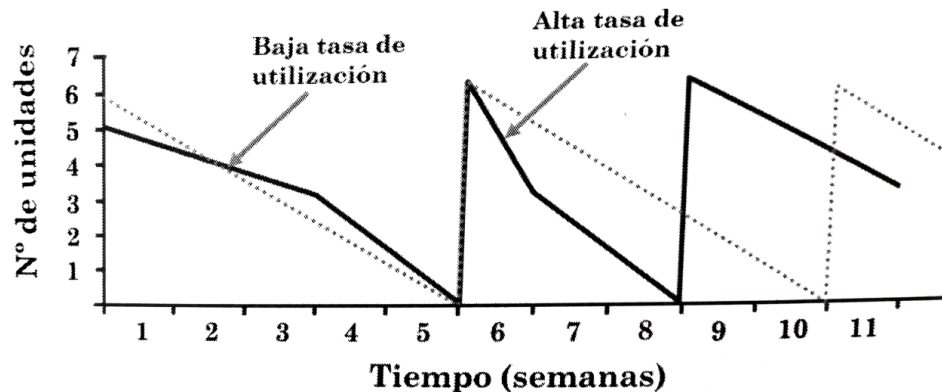
Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 96 p.

Debido a que en mantenimiento hay fluctuaciones en la demanda se utiliza el stock de seguridad para compensar la situación.

²⁶ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 95 p.

A continuación, se observa en el gráfico 6 el caso en el que la demanda es mayor o menor que el valor promedio.

Gráfico 6. Patrón de demanda de un artículo determinado con demanda variable.



Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 97 p.

3.4.8 Tiempo de entrega. Este tiempo es el que se cuenta desde que se realiza una solicitud de compras, hasta que la mercancía se encuentra disponible para el retiro en almacén.

Por otra parte, Mora²⁷ lo define con otros términos similares: Tiempo de espera o *lead time*.

Es de gran importancia para el departamento de mantenimiento conocer el tiempo de entrega de materiales, ya que entre más cercano sea, más preciso será el punto de pedido.

²⁷ MORA, Alberto. Inventario cero. Cuánto y cuándo pedir. 2016. 30 p. ISBN 978-958-778-069-7.

3.4.9 Nivel de servicio. El nivel de Servicio, como lo define Ortiz²⁸, es “el número de veces que se dispone efectivamente de un material en bodega tras su solicitud, comparado con el número de veces que se solicita”. Operacionalmente, sería el indicador más importante ya que representa la probabilidad de disponer del recurso cuando es solicitado en cualquier momento del año.

3.5 INDICADORES DE DESEMPEÑO

3.5.1 Objetivo de los indicadores. Los indicadores tienen como principal función representar el cumplimiento o efectividad de las empresas en el desarrollo de los planes y metas trazadas. Esto permitirá facilitar la toma de decisiones referentes a la gestión de inventarios y así contribuir con la sostenibilidad del negocio.

3.5.2 Componentes de un indicador. Ortiz²⁹ asegura que cada indicador y los elementos que lo componen deben estar soportados en un documento formal con la siguiente información:

- Nombre del indicador;
- Descripción del indicador;
- Ubicación en el tablero de gestión del negocio;
- Formulación matemática y definición de las variables;
- Frecuencia de medición;
- Fuentes de los datos;
- Referencia externa (benchmarking), en caso de existir;
- Rangos esperados de los resultados;
- Frecuencia para la actualización de la meta;

²⁸ ORTIZ, Daniel. Gestión del inventario de repuestos. 2016. 87 p. ISBN 978-958-46-8902-3

²⁹ Ibid., 15 p.

- Frecuencia para generación y revisión;
- Responsables por calcularlo, reportarlo y revisarlo;
- Reporte en el cual figura el indicador;
- Reunión donde se presenta para análisis;
- Fechas de medición y entrega.

3.5.3 Indicadores clave. Para evaluar la gestión, la SMRP³⁰ desarrolló ocho indicadores de inventarios de mantenimiento los cuales corresponden los siguientes pilares del conocimiento para la profesión “Mantenimiento y Confiabilidad”: pilar de gestión del negocio y gestión del trabajo.

$$\frac{\textit{Valor actual del inventario}}{\textit{Valor de sustitución de los activos}} \times 100$$

$$\frac{\textit{Valor de los artículos comprados durante un período de tiempo}}{\textit{Valor actual del inventario}}$$

$$\frac{\textit{Valor del inventario administrado por los proveedores}}{\textit{Valor total del inventario}} \times 100$$

$$\frac{\textit{N° de artículos solicitados y no disponibles en inventario}}{\textit{Cantidad total de solicitudes}} \times 100$$

³⁰ SMRP. Best practices Committee: SMRP Best Practice Metrics Glossary. Society for Maintenance and Reliability Professionals. Citado por: CONTRERAS, José. Gestión y Optimización de Inventarios para Mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 154 p.

$$\frac{\text{Valor del inventario inactivo} - \text{Valor de repuestos críticos}}{\text{Valor total del inventario} - \text{Valor de los repuestos críticos}} \times 100$$

$$\frac{\text{Nº total de transacciones en el almacén}}{\text{Nº total de empleados del almacén}} \times 100$$

$$\frac{\text{Nº total de ítems registrados en el almacén}}{\text{Nº total de empleados del almacén}} \times 100$$

$$\frac{\text{Costo total de materiales de mantenimiento}}{\text{Costo total del mantenimiento}} \times 100$$

Ortiz³¹ destaca los siguientes indicadores según el proceso:

3.5.3.1 Planeación y reposición. Al realizar una planeación de las actividades de mantenimiento y reposición oportuna del inventario se pueden alcanzar grandes avances, que se pueden medir de la siguiente forma:

$$\frac{\text{Nº de OT's por programar pendientes por materiales}}{\text{Nº total de OT's programadas}} \times 100$$

$$\frac{\text{Nº de ítems definidos con parámetros de reposición}}{\text{Nº total de ítems almacenados}} \times 100$$

³¹ ORTIZ, Daniel. Gestión del inventario de repuestos. 2016. 156 p. ISBN 978-958-46-8902-3

$$\frac{N^{\circ} \text{ de ítems comprados con carácter de urgencia}}{N^{\circ} \text{ total de ítems comprados}} \times 100$$

$$\frac{N^{\circ} \text{ de ítems con parámetros de reposición por estrategia}}{N^{\circ} \text{ total de ítems con parámetros de reposición}} \times 100$$

3.5.3.2 Almacenamiento. A continuación, se muestran algunos indicadores claves para realizar seguimiento al almacén:

Ortiz³² destaca los siguientes indicadores:

3.6 ALMACÉN

“Edificio o local donde se depositan géneros de cualquier especie, generalmente mercancías”.³³

3.6.1 Funciones del almacén. La principal función del almacén es guardar de manera adecuada los diferentes tipos de repuestos o mercancía que requiere mantener en stock en una compañía, entre las cuales se derivan las siguientes funciones como menciona Távara³⁴: mantener las materias primas protegidas de

³² ORTIZ, Daniel. Gestión del inventario de repuestos. 2016. 158 p. ISBN 978-958-46-8902-3

³³ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.3 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [11/10/20].

³⁴ TÁVARA INFANTES, Carmen Marcella. Mejora en el sistema de almacen para optimizar la gestión logística de la empresa comercial Piura. Tesis de ingeniería industrial. Piura – Perú. Universidad Nacional de Piura. Facultad de ingeniería industrial. Escuela profesional de ingeniería industrial, 2014. 37 p.

incendios, robos y deterioros, permitir al personal autorizado acceder a materiales, recibir mercancía de proveedores para posterior entrega a solicitantes. Adicionalmente, los almacenistas deben mantener actualizados los controles de entradas, salidas de mercancías y también al departamento de compras.

En mantenimiento, una función que impacta de manera representativa en el desarrollo de la gestión, como menciona Contreras³⁵ es brindar una entrega rápida de repuestos y materiales cuando sea requerido. No solamente basta con realizar la entrega, sino hacerlo en el menor tiempo posible.

3.6.2 Cantidad y ubicación de bodegas. Ortiz³⁶ manifiesta que después de haber definido la necesidad de mantener materiales en inventario, se deben definir las políticas y lineamientos acerca de la conformación de bodegas para almacenar repuestos. Esto conlleva a la realización de un análisis o determinación de cantidades de almacenes.

También manifiesta que estas bodegas deben ser acorde: al tipo de empresa, a sus estrategias de abastecimiento, a sus operaciones, a los tipos de materiales a almacenar y a la logística tanto interna como externa.

Contreras³⁷ manifiesta que en mantenimiento lo más importante que se debe considerar para decidir la ubicación del almacén es la gran cantidad de viajes o recorridos que deben realizar las personas desde y hacia el almacén.

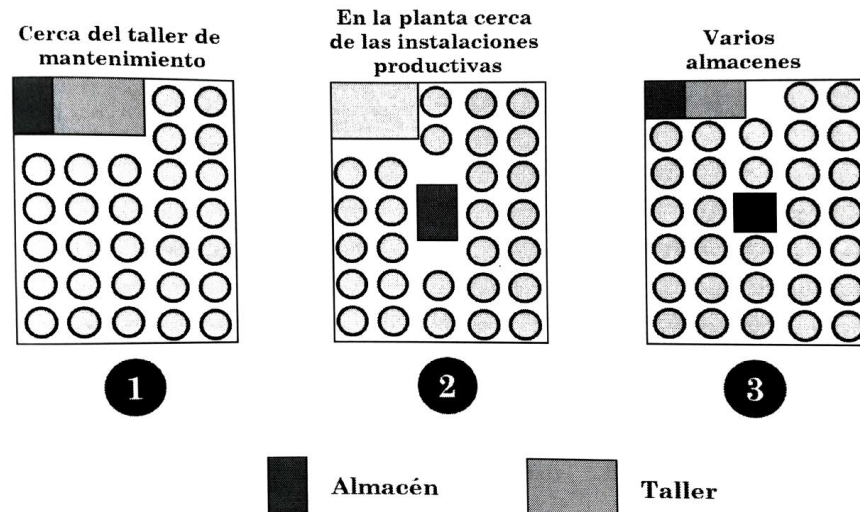
³⁵ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 167 p.

³⁶ ORTIZ, Daniel. Gestión del inventario de repuestos. 2016. 121 p. ISBN 978-958-46-8902-3

³⁷ CONTRERAS MÁRQUEZ. Op. cit., p 169.

Por ende, es muy importante que el almacén esté en una posición equidistante a las áreas de mantenimiento y los lugares donde se ejecutan los trabajos.

Figura 3. Alternativas para la ubicación del almacén.



Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 171 P.

3.6.3 Diseño y organización de los almacenes. Un almacén debe contar con áreas específicas de acuerdo con la función comercial de la compañía. Según Contreras³⁸, el almacén destinado para cubrir las necesidades del departamento de Mantenimiento debe contar con mínimo las siguientes áreas fundamentales:

-Área de almacenamiento general: en esta área se colocan la mayoría de los artículos. Por lo general están en estantería abierta o estantes modulares, cajas y gavetas.

³⁸ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 171 p.

-Mostrador y control de acceso: es un lugar que divide y representa una barrera de control de acceso al almacén, adicionalmente es donde el personal recibe los materiales y herramientas.

-Área de recepción: es vital un lugar diferente al del mostrador, en donde se reciban los materiales que entregan los proveedores al almacén y así evitar aglomeraciones en el mostrador y ralentizar los procesos que se llevan a cabo en los dos lugares.

-Área de oficina: es el lugar en donde se ubican las personas que realizan las funciones administrativas del almacén y donde se encuentran las herramientas y el equipamiento necesario para tal función.

-Área de almacenamiento en paletas: es una zona destinada al almacenamiento de equipos de gran peso y/o tamaño. Debe contar con fácil movilidad y acceso.

Contreras³⁹ menciona que debe existir iluminación suficiente en los pasillos, zonas de tránsito y ubicación de materiales y repuestos con el fin de permitir el recuento de piezas, conteo cíclico y alistamiento de las órdenes de trabajo.

3.6.4 Auditorías. Teniendo en cuenta lo mencionado por Contreras⁴⁰, es una herramienta que revisa y evalúa el proceso, desde las actividades que se ejecutan como el desempeño de las personas con el objetivo de alcanzar los resultados propuestos.

³⁹ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 169 p.

⁴⁰ Ibid., 159 p.

3.7 METODOLOGÍAS

Algunas consideraciones que se deben tener en cuenta para el análisis posterior a la clasificación del inventario de Prime Termoflores en las diferentes metodologías descritas a lo largo de este documento:

3.7.1 Clasificación ABC. Como se mencionó anteriormente, el objetivo de este método de clasificación es identificar los materiales del inventario que han tenido un mayor valor de uso en un periodo de tiempo establecido en Prime Termoflores.

Tabla 4. Periodo evaluado en la clasificación ABC.

Periodo evaluado	
Desde	1/01/2017
Hasta	1/01/2020
Total años	3

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Modelo utilizado para clasificar inventario ABC

Ítem	Código de Material	Descripción	Cantidades usadas	Unidad	Precio	Valor de uso	Valor de uso acumulado	% de valor de uso acumulado	Clasificación
Número	Código en inventario	Descripción del material	Cantidades que se usaron durante el periodo establecido	Unidad de medida		Precio unidad x cant. Usadas			Clasificación según % de valor acumulado

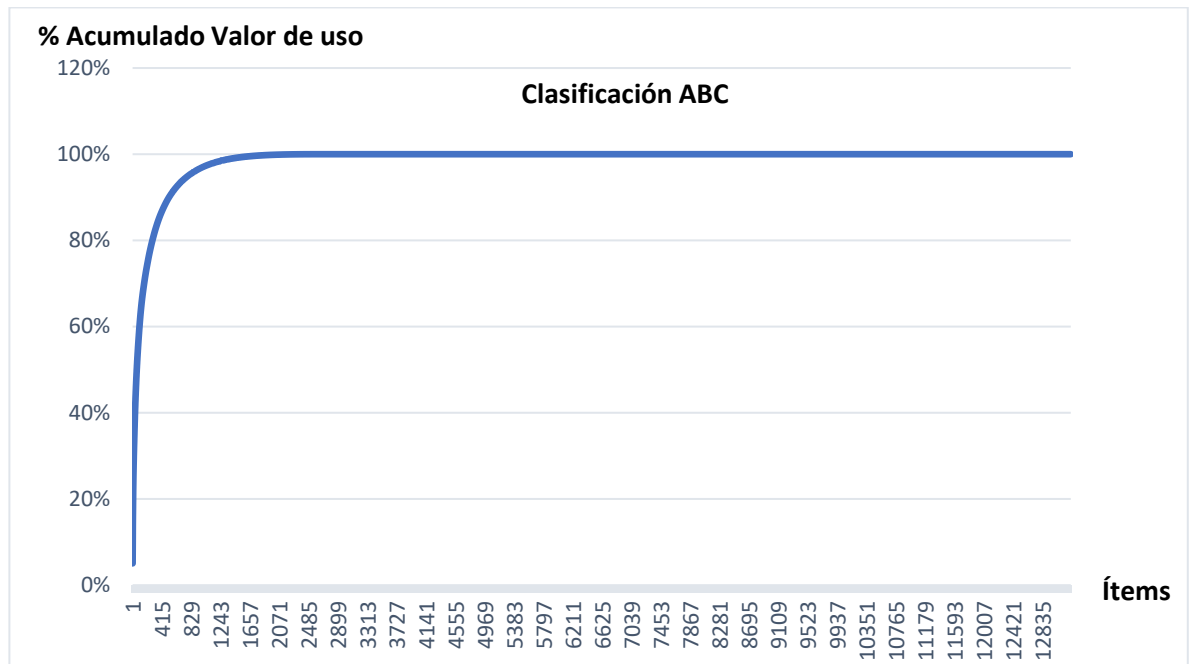
Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Optimización de inventarios [diapositivas].

En: Webinar (15 de octubre del 2020). Memorias. Clasificación de los repuestos de

mantenimiento, basada en criticidad y valor en existencia. ELITE TRAINING, 2020. 20 diapositivas.

A continuación, en el gráfico 7 se muestra el inventario clasificado según metodología ABC.

Gráfico 7. Clasificación del inventario ABC.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Resultado de la clasificación ABC del inventario.

NIVEL DE UTILIZACIÓN	CATEGORÍA	% DEL VALOR DE USO	% DE ARTICULOS UTILIZADOS
ALTA	A	50	0,446%
MEDIA	B	30	1,663%
BAJA	C	20	97,892%

Fuente: elaboración propia.

3.7.2 Clasificación XYZ. Como se mencionó anteriormente, el objetivo de este método es identificar y agrupar los materiales del inventario en función a la participación que poseen con respecto al valor total del inventario de Prime Termoflores.

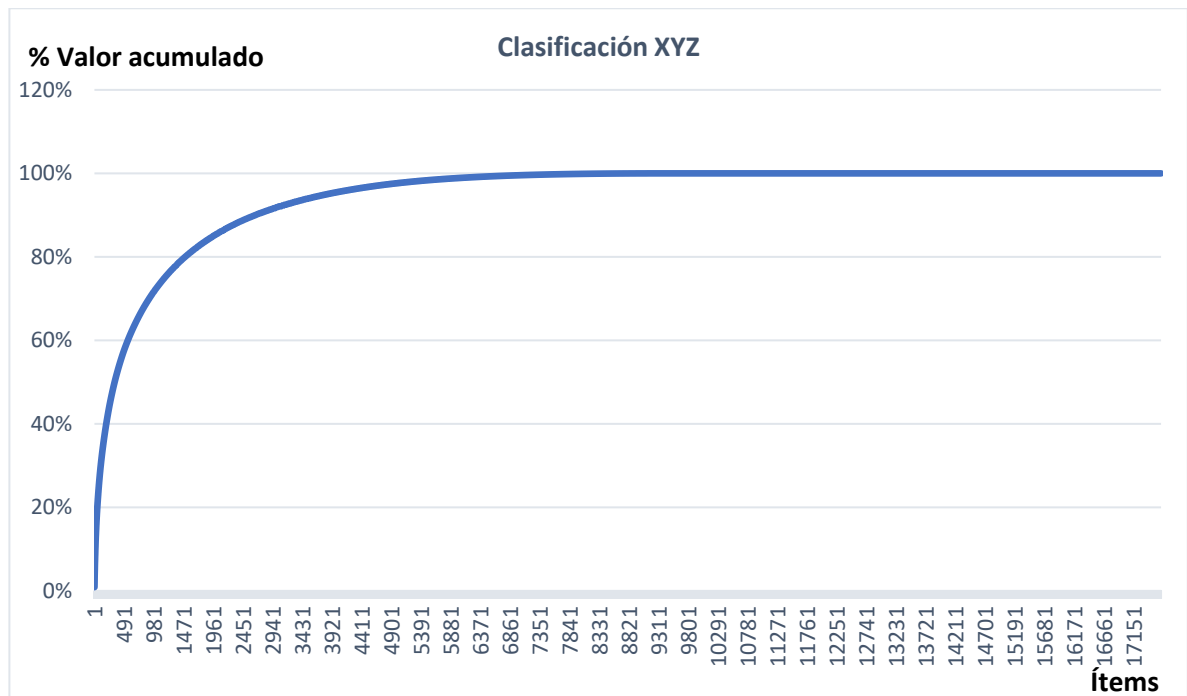
Tabla 7. Modelo utilizado para clasificar inventario XYZ.

Item	Código material	Descripción	Und	Precio und COP	Cantidad en inv	Valor total COP	Valor acumulado	% del valor acumulado	Clasificación XYZ
Ítem	Código en inventario	Descripción del material	Unidad de medida	Precio unida d	Cantidades en stock	Valor total del material en inventario			Clasificación según el % de valor acumulado

Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Optimización de inventarios [diapositivas].
En: Webinar (15 de octubre del 2020). Memorias. Clasificación de los repuestos de mantenimiento, basada en criticidad y valor en existencia. ELITE TRAINING, 2020. 20 diapositivas.

A continuación, se observa en el gráfico 8 el inventario según la metodología XYZ.

Gráfico 8. Clasificación del inventario XYZ.



Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la tabla 8 se observan los resultados de la clasificación.

Tabla 8. Resultados de la clasificación XYZ del inventario.

VALOR	CATEGORÍA	% DEL VALOR TOTAL	% DE ARTÍCULOS
ALTO	X	60	3,13%
MEDIO	Y	30	11,94%
BAJO	Z	10	84,93%

Fuente: elaboración propia.

4. MODELO PROPUESTO PARA LA GESTIÓN DE REPUESTOS EN PRIME TERMOFLORES

El modelo de gestión propuesto a lo largo de este capítulo para la compañía Prime Termoflores S.A.S. E.S.P., es afín con la estrategia, las políticas de calidad que posee la compañía y basado en las necesidades específicas identificadas en la Central.

4.1 MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL INVENTARIO SEGÚN LA CRITICIDAD

4.1.1 Asignación de criticidad a equipos. La criticidad de los equipos debe ser un insumo para implementar de forma eficiente cualquier método de optimización del inventario en el departamento de Mantenimiento. Para resaltar, la clasificación debe estar basada de acuerdo con la matriz de riesgos de la Central.

Los departamentos de la compañía que deben participar activamente en la clasificación de la criticidad de los equipos son: Operaciones, Seguridad y Salud en el Trabajo, Gestión Socioambiental y Mantenimiento.

Este método de evaluación de criticidad es aplicable tanto para activos críticos de la central como también a un conjunto de equipos a los cuales no son considerados críticos para la operación, pero que su función mejora el performance y/o eficiencia de la Planta.

4.1.2 Asignación de criticidad a repuestos. Se deberá asignar una criticidad a cada material a partir del impacto que genera su no existencia en el inventario de la Central.

Los valores asignados al tiempo de entrega en la matriz de la tabla 9 son ajustables de acuerdo con las consideraciones de los líderes de mantenimiento.

Tabla 9. Matriz para la clasificación de la criticidad de los materiales

INDISPONIBILIDAD	PARALIZA LA GENERACIÓN	MEDIA (2)	ALTA (3)	ALTA (3)
	AFECCIÓN PARCIAL	BAJA (1)	MEDIA (2)	ALTA (3)
	NO AFECCIÓN LA GENERACIÓN	BAJA (1)	BAJA (1)	MEDIA (2)
		< 10 días	Entre 10 y 30 días	> 30 días
	TIEMPO DE ENTREGA			

Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 82 p

4.1.3 Clasificación valor-criticidad. Teniendo en cuenta en la metodología de clasificación desarrollada en el capítulo anterior,

Este método, como expresa Contreras⁴¹ “combina la técnica XYZ que clasifica los materiales en función de su valor económico con la criticidad asignada”.

De acuerdo con la clasificación del inventario de Prime Termoflores realizada en el capítulo anterior bajo las metodologías ABC y XYZ, se evidencia que la metodología ABC no es la más adecuada para una gestión óptima de mantenimiento, ya que ésta solamente permite resaltar los materiales que poseen un alto valor de uso, que

⁴¹ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 82 p.

es directamente proporcional a la demanda de ese material en el periodo determinado del análisis.

La demanda de materiales o repuestos en mantenimiento es variable y por lo general, los materiales que más impactan en el costo no siempre son los que tienen una alta tasa de utilización, sino por lo contrario, los que más impactan tienen una muy baja rotación y su precio es muy elevado.

A continuación, en la tabla 10 se observan las nueve posibles categorías que puede tomar un material teniendo en cuenta su valor económico y la criticidad asociada a la consecuencia de no tener el repuesto en almacén cuando éste es requerido.

Tabla 10. Códigos para ítem en inventario bajo clasificación valor-criticidad.

CRITICIDAD	3	3Z	3Y	3X
	2	2Z	2Y	2X
	1	1Z	1Y	1X
		Z	Y	X
		VALOR		

Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Optimización de inventarios [diapositivas].
En: Webinar (15 de octubre del 2020). Memorias. Clasificación de los repuestos de mantenimiento, basada en criticidad y valor en existencia. ELITE TRAINING, 2020. 20 diapositivas.

4.2 MÉTODO PARA DETERMINAR CANTIDADES DE REPUESTOS A MANTENER EN STOCK

El manejo del stock de repuestos de la Central debe incluirse en las políticas de manejo del inventario con el fin de permitirle a los líderes de área, planeadores e ingenieros de apoyo del Departamento de Mantenimiento trabajar en pro de los objetivos propuestos, los cuales deberán establecerse y que siempre es deseable que apunten al aumento de la confiabilidad de los activos y a la optimización del stock.

Al momento de determinar cantidades a mantener en stock es importante contar con la opinión del vendedor o distribuidor del repuesto y manejarlo como una referencia, ya que otros intereses, entre ellos los comerciales pueden afectar de manera negativa las cantidades sugeridas a mantener en stock.

4.2.1 Determinación de tasa de utilización. Se debe realizar observando las cantidades consumidas de cada material en un periodo determinado. Esto con el fin de obtener un dato informativo de las tendencias de consumo que se han dado en los últimos años y así tener una referencia.

Los materiales y repuestos no deben ser comprados teniendo en cuenta solo los consumos de los periodos anteriores, ya que no es un criterio que indique si las cantidades que se utilizaron realmente suplieron la demanda. Por lo tanto, las cantidades que se compren a partir de este criterio pueden no satisfacer las necesidades futuras que se presenten.

4.2.2 Asignación de estrategias de reposición. La estrategia de reposición va ligada a la categoría o clasificación del material. Para el caso del método de clasificación valor-criticidad se sugiere las siguientes asignaciones para cada categoría:

4.2.2.1 Materiales con criticidad alta (3X, 3Y y 3Z). Estos materiales críticos para el proceso de la Central en donde su valor puede ser alto, medio o bajo, se debe considerar un método o estrategia que garantice las existencias adecuadas en el inventario para poder responder ante las fallas previstas de los equipos.

Debido al costo que representa tener un artículo de alto valor en almacén se debe ser muy preciso en la gestión para no comprar materiales de alto valor en cantidades excesivas. Sin duda alguna se afecta el flujo de caja de la Compañía y adicionalmente se generan costos de almacenamiento.

Por otra parte, el extremo opuesto al caso anterior, tener menos cantidades de las requeridas, genera un alto impacto económico en la compañía. Esto radica realmente en el tiempo de entrega que tienen estos materiales, ya que en el caso de los repuestos en los que su valor es muy bajo, el impacto de no tenerlo es económicamente alto principalmente a causa de los tiempos de entrega.

El método que mejor se adapta a esta necesidad es la de distribución de probabilidad acumulada de Poisson, ya que tiene en cuenta la tasa de fallas del equipo, el tiempo de funcionamiento durante el período de servicio de interés, la cantidad de artículos que estén funcionando, el nivel de confianza de que habrá un repuesto disponible en almacén cuando sea requerido.

Este método arroja como resultado la cantidad de repuestos recomendados para mantener en stock de acuerdo con el nivel de confianza seleccionado.

Las cantidades que se mantendrían en inventario solamente sería el stock de seguridad y una vez consumida la cantidad, se repondría de forma inmediata para mantener ese stock.

4.2.2.2 Materiales con criticidad media (2X, 2Y y 2Z). Para el inventario de materiales que tengan asignada criticidad media por su impacto en la generación y que posean costo alto, medio y bajo se recomienda el método Mínimos / Máximos el cual solicita la reposición del stock tan pronto el nivel de inventario llegue al nivel mínimo.

Este método es el más indicado para iniciar la optimización del inventario de materiales medianamente críticos, ya que se basa en las existencias que deben permanecer en stock y no tiene en cuenta la fecha periódica en la que se realiza la reposición del inventario.

4.2.2.3 Materiales con criticidad baja (1X, 1Y, y 1Z). La estrategia que mejor se adapta para la gestión de los materiales con criticidad baja es el método Intervalo constante / Cantidad variable.

Este método revisa cada determinado tiempo las cantidades a la fecha del inventario de los materiales clasificados con criticidad baja y calcula las cantidades a reponer de acuerdo con un nivel máximo a mantener en stock.

4.2.3 Cálculo del tiempo de entrega. Para estimar el tiempo de entrega de los materiales Contreras⁴² recomienda estimar el promedio del tiempo de entrega de los materiales cuando son solicitados.

Si la curva de tendencia del tiempo muestra estabilidad, se puede utilizar el promedio simple, pero en caso de mostrar un comportamiento inestable se debe utilizar el promedio móvil ponderado.

⁴² CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 98 p.

En la siguiente tabla 11 se muestra un ejemplo del cálculo del tiempo de entrega:

Tabla 11. Cálculo del tiempo de entrega

Compra N°	Tiempo de entrega (días)	
1	3	
2	6	$(3 + 6) / 2 = 4,5$
3	10	$(4,5 + 10) / 2 = 7,3$
4	13	$(7,3 + 13) / 2 = 10,2$
5	14	$(10,2 + 14) / 2 = 12$ días
Promedio simple	$46 / 5 = 9,2$ días	Promedio móvil

Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 99 p.

4.2.4 Cálculo stock mínimo. Para calcular el stock mínimo se debe tener como insumo el tiempo de entrega y una demanda establecida durante un periodo determinado.

En este caso, se realizará el cálculo a través de un ejemplo práctico:

Se requiere satisfacer el requerimiento de un artículo en donde su tiempo de entrega es de 22 días y la demanda anual es 85 unidades.

$$\text{Stock mínimo} = \text{Tiempo de entrega} \times \frac{\text{Demanda anual}}{\text{Periodo}}$$

De acuerdo con la ecuación que plantea Contreras⁴³ el stock mínimo sería:

$$\text{Stock mínimo} = 22\text{-días} \times \frac{85 \frac{\text{unidades}}{\text{año}}}{365 \frac{\text{días}}{\text{año}}}$$

$$\text{Stock mínimo} = 5,12 \text{ unidades} \approx 6 \text{ unidades.}$$

6 unidades podrán satisfacer la demanda del repuesto mientras que las condiciones de demanda y tiempo de entrega se mantengan.

Sin embargo, en mantenimiento hay muchas condiciones que pueden variar y por ese mismo motivo se debe tener un stock de seguridad.

4.2.5 Cálculo del stock de seguridad. Como plantea Contreras⁴⁴, este ítem debe calcularse de manera independiente para cada artículo, pues este depende directamente de la criticidad asignada al material, tiempo de entrega y el costo de no tener el artículo en stock.

Teniendo en cuenta lo anterior, se debe definir la tasa de utilización del material y posterior a ello la probabilidad de rotura de stock.

En el caso del ejemplo del ítem anterior, la tasa promedio de utilización expresada en meses sería: **7,08 unidades por mes.**

⁴³ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 100 p.

⁴⁴ Ibid., 101 p.

Contreras⁴⁵ recomienda calcular la variabilidad de la demanda de la siguiente forma:

$$Desv. Abs Mensual = |Tasa prom. utiliz. mensual - demanda real cada mes|$$

Tabla 12. Valores mensuales de TPUM*, demanda real y desviación absoluta.

Mes	TPUM*	Utilización real	Desviación Absoluta
Enero	7,08	5	2,08
Febrero	7,08	6	1,08
Marzo	7,08	8	0,92
Abril	7,08	9	1,92
Mayo	7,08	5	2,08
Junio	7,08	5	2,08
Julio	7,08	1	6,08
Agosto	7,08	9	1,92
Septiembre	7,08	10	2,92
Octubre	7,08	11	3,92
Noviembre	7,08	8	0,92
Diciembre	7,08	7	0,08
Sumatoria de desviaciones			26
Desviación Absoluta Promedio (DAP)			2,16666667

Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 102 p.

⁴⁵ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 101 p.

(*) TPUM significa Tiempo Promedio de Utilización Mensual.

Para calcular el Stock de Seguridad para diferentes niveles de confianza se dispone de la tabla 13.

Tabla 13. N° de Desviación Absoluta Promedio (DAP) y Nivel de confianza.

N° de DAP	Nivel de confianza (%)
0	50
1	80
2	95
3	99
4	99,9
5	99,99

Fuente: CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 102 p.

Se asumirá para la continuación del ejemplo que el nivel de confianza será de 99,9%, por lo tanto, su N° DAP según la tabla 13 será 4.

$$SS = Stock\ mínimo * \frac{N^{\circ}\ DAP\ x\ Desviación\ absoluta\ promedio}{TPUM}$$

$$SS = 6 * \frac{4 * 2,17}{7,08} = 7,35\ unidades$$

4.2.6 Cálculo del punto de pedido. Como se mencionó en el capítulo anterior, el punto de pedido se calcula sumando las cantidades de stock mínimo y stock de seguridad. El punto de pedido variará de acuerdo con el nivel de confianza seleccionado para el cálculo del stock de seguridad.

4.2.7 Cálculo del nivel óptimo del inventario. El método de cálculo utilizado para el nivel óptimo del inventario sugerido por Contreras⁴⁶ se basa en la Distribución de Poisson, en donde se debe tener como base el N° de ocurrencias en un periodo definido (en este caso sería la tasa de fallas).

Faraci⁴⁷ plantea la siguiente expresión matemática para calcular la Distribución de Poisson.

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

Donde,

λ = tasa de fallas

t = tiempo de funcionamiento durante el período de servicio de interés

C = nivel de confianza de que habrá un repuesto disponible cuando sea necesario

k = cantidad de repuestos recomendada cuando la probabilidad de Poisson acumulada $F(k; n\lambda t)$ iguala o excede el nivel de confianza preseleccionado

⁴⁶ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 124 p.

⁴⁷ FARACI, Vito Jr. "Spares Optimization Algorithm for Calculating Recommended Spares". Citado por CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 124 p.

4.2.8 Determinación de niveles de servicio. Como se mencionó en el capítulo anterior, el objetivo de determinar el nivel de servicio ofrecido por un material es con fines de conocer el resultado de la gestión del inventario o para predecir el nivel de servicio que puede tener X material en función al tiempo de entrega.

Contreras⁴⁸ afirma que el nivel de servicio está “directamente relacionado con el nivel de confianza establecido en el Stock de Seguridad y el Punto de Pedido” y un claro ejemplo que también expone es “si un artículo tuvo una demanda de 20 unidades en un mes y sólo se atendió 18 unidades, entonces el nivel de servicio fue del 90% (18/20)”.

Por lo tanto, la expresión matemática para poder calcular el nivel de servicio es:

$$\frac{(100\% - \text{nivel de confianza}) \times \text{Tiempo de entrega} \times \text{N}^\circ \text{ pedidos/año}}{365 \text{ días/año}}$$

4.3 MODELO DE GESTIÓN DE MATERIALES

Para evitar o disminuir la probabilidad de adquirir erróneamente repuestos, se requiere tener en cuenta los siguientes aspectos que deben ir de la mano con las políticas de gestión y pueden servir como insumo para la elaboración del procedimiento de adquisición de repuestos.

⁴⁸ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 106 p.

4.3.1 Selección de repuestos. El primer paso, es validar si el repuesto a crear en el sistema realmente es el adecuado para las necesidades actuales y futuras de la Central, es decir, si este hace parte de la lista de materiales vigente de ese equipo (BOM).

Esta lista de materiales debe ser construida de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

Teniendo en cuenta lo anterior, esto representa un gran reto para el departamento de Mantenimiento, el cual debe garantizar que los listados de repuestos de los equipos se encuentren actualizados y adicionalmente que esta información esté accesible de forma organizada.

4.3.2 Selección de un nuevo equipo. Si un equipo requiere ser reemplazado por obsolescencia tecnológica o rediseño debido a cambios en el proceso o un diseño inicial erróneo, se debe evaluar si éste por su naturaleza involucra de forma indirecta a otras áreas del departamento de Mantenimiento.

Lo anterior indica en que dado caso el equipo a reemplazar contenga activos o componentes de otra área se debe comunicar antes de iniciar el proceso de compra, con el fin de que las otras áreas de Mantenimiento involucradas puedan seleccionar las características y especificaciones técnicas con las que debe contar el equipo. Por ejemplo: La adquisición de una nueva válvula de control para su reemplazo por un alto deterioro de sus componentes y/o obsolescencia de repuestos involucra por lo general el reemplazo del actuador o accionamiento, posicionador o dispositivos asociados.

Esta interrelación se realiza con el objetivo de mantener modelos iguales, similares o incluso de diferentes modelos y fabricantes de los cuales ya se posean repuestos en el almacén de la Central. Estos equipos deben contar con la confiabilidad y el

nivel de servicio requerido por el proceso, así como también su facilidad para la adquisición de los repuestos.

4.3.3 Creación de materiales y repuestos en el sistema de información. Antes de realizar una solicitud de creación o registro de materiales en los datos maestros de materiales del sistema de información se debe realizar una validación en donde el objetivo sea comprobar si el código de material o repuesto existe en el sistema.

La descripción de cada repuesto que se desee catalogar en el sistema de información debe estar lo más alineado a un estándar definido para la asignación de descripciones según las características y naturaleza de estos con el fin de disminuir la probabilidad de catalogar por diferentes nombres al mismo repuesto.

Lo anterior, se podría deber a los diferentes nombres por los cuales son conocidos los repuestos o equipos en el argot industrial sumado a los anglicismos procedentes de otras lenguas.

El tener diferentes descripciones a los mismos repuestos genera una sobrepoblación de códigos en el sistema de información y entorpece la labor de seguimiento o trazabilidad en el uso del repuesto a lo largo del tiempo, la cantidad de existencias disponibles en el almacén y por ende el posible retraso a la respuesta ante un requerimiento urgente de Planta.

La labor de creación de códigos en el sistema debe ser realizada por personas con conocimiento técnico del área específica de mantenimiento a la cual corresponde el material o en su defecto una persona que cuente con capacitaciones en las diferentes ramas de conocimiento de materiales a crear.

4.3.4 Solicitudes de compra. Al crear un requerimiento de compra de materiales, es recomendable que el sistema de información tenga una casilla obligatoria en

donde el sistema permita seleccionar si el material o repuesto a comprar debe ser validado por el solicitante en la aceptación a conformidad.

4.3.5 Aprobación de ofertas. Las cotizaciones enviadas por los proveedores y/o fabricantes de los repuestos al departamento de Abastecimiento deben reenviarse de forma oportuna al solicitante específico del repuesto y al líder de área para su evaluación y aprobación técnica.

Es muy importante este proceso ya que muchas veces los elementos cotizados por el proveedor difieren de las características técnicas solicitadas.

Estos casos suceden en mayor medida cuando por error o intencionalmente el proveedor modifica uno o más caracteres del número de parte o especificaciones técnicas.

Muchas veces sucede que el repuesto descrito por el solicitante no lo poseen en stock o es discontinuado por actualizaciones tecnológicas y eso conlleva a los diferentes proveedores a ofertar productos diferentes.

La aprobación errónea puede darse cuando la información suministrada por los proveedores en las ofertas es muy general o no cuenta con las especificaciones solicitadas y se pasa por alto la validación minuciosa de cada uno de los ítems ofertados. Otro aspecto que influye es la cantidad de ítems que conlleva la oferta.

Otro factor importante que influye de forma directa en la aprobación errónea de ofertas es el conocimiento y habilidades específicas en los materiales, equipos y/o repuestos a requerir. El uso de materiales inadecuados, medidas o dimensiones incorrectas causará que el repuesto no sea compatible con los materiales existentes.

Como bien se sabe, Mantenimiento es un departamento muy amplio y que, a pesar de subdividirse en áreas, se requieren muchos conocimientos específicos en los equipos y procesos de la Central Térmica que cuenta con más de 13000 equipos instalados divididos entre activos y componentes.⁴⁹

Una de las consecuencias más catastróficas de una aprobación errónea puede ser desde grandes pérdidas económicas en términos de costo de repuestos, equipos y costos de paradas de planta no programadas hasta en algunos casos poner vidas en peligro.

Es evidente que ante una variedad de equipos ya instalados y otros por instalar en la Central Térmica se requiere de un plan de capacitación del personal que se ajuste con la curva de necesidades y se priorice las áreas de conocimiento y habilidades específicas de mantenimiento que más impacten a la seguridad de las personas, disponibilidad de la Planta y al aumento de la vida útil de los equipos.

4.3.6 Envío de materiales o repuestos. Este gran hito que en mantenimiento toma una importancia sumamente alta, ya que se sale del control del departamento y que depende netamente del proveedor. El envío erróneo puede costar mucho dinero a la Central Térmica debido al lucro cesante que podría causar la indisponibilidad del repuesto, más que todo cuando son repuestos importados y que su fabricación y envío toma varias semanas. Para válvulas de control el tiempo estimado de entrega es aproximadamente 26 semanas (más de 6 meses) con algunos fabricantes.

Una alternativa para tratar de mitigar esta situación es que el departamento de compras gestione fotografías de las placas, medidas o especificaciones relevantes

⁴⁹ Información tomada del sistema de información de la Central.

de los equipos o repuestos y se los envíe al solicitante de forma oportuna para una corroboración técnica antes del envío.

Incluso, el seguimiento se puede realizar mediante el uso de reportes vía rastreo o *tracking* como sugiere Amendola⁵⁰, para verificar la fecha estimada de entrega, origen del material, cantidades recibidas y cantidades pendientes. De acuerdo con eso, se realiza la gestión con los proveedores correspondientes para la mercancía que se encuentre con retrasos.

4.3.7 Recepción de mercancía. El proceso de recepción de mercancía ejecutado por el personal de almacén va más allá a la comparación de las cantidades ordenadas y cantidades recibidas, ésta revisión como sugiere Contreras⁵¹ debe incluir “una inspección visual de la pieza y el empaque, verificación del número de catálogo de piezas frente a la información de la orden de compra, verificación de los datos del fabricante contra datos maestros de la pieza, verificación de la ubicación apropiada de la pieza y la revisión de las hojas de certificación del proveedor.

El almacenista debe validar en el sistema de información si la aceptación de la mercancía debe ser realizada por sí mismo o si ésta requiere la aceptación a conformidad de las especificaciones técnicas por parte del solicitante, de acuerdo con Ortiz⁵² “en particular cuando son muy especializados y no existen normas claras o de amplio conocimiento”. En ambos casos se debe notificar inmediatamente al solicitante la recepción del material.

⁵⁰ AMENDOLA, Luis. Optimización y Gestión del mantenimiento. 3 ed. España. 2017. 257 p. ISBN 978-84-943897-8-8.

⁵¹ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 187 p.

⁵² ORTIZ, Daniel. Gestión del inventario de repuestos. 2016. 125 p. ISBN 978-958-46-8902-3

Amendola⁵³, recomienda que antes de aprobar a conformidad la mercancía recibida, se valide cuando sea posible el tipo de material y sus propiedades. En el caso de los metales, se puede utilizar el equipo para PMI*

Obviar la notificación de la recepción de la mercancía al usuario puede generar pérdidas económicas a la compañía muy grandes por diferentes motivos, entre ellos que el repuesto comprado sea inutilizable porque fue recibido con características, desperfectos y especificaciones técnicas muy diferentes a las solicitadas.

4.4 MODELO DE CONSERVACIÓN DEL INVENTARIO

Tener repuestos deteriorados en stock puede generar pérdidas millonarias a la compañía en el momento que haya un requerimiento de estos. Y si el tiempo de entrega que manejan las fábricas o proveedores no es inmediato, el lucro cesante y las pérdidas económicas por multas es aún más significativa.

Esta situación de origen no esperado perturba y opaca la gestión del departamento de Mantenimiento que, a pesar de validar físicamente las existencias requeridas de los repuestos en la etapa de planificación de actividades, una avería no esperada de estos repuestos puede complicar y generar una extensión de los tiempos durante la actividad de mantenimiento.

4.4.1 Personal competente. La persona que lidere el almacén y el personal que ocupe el rol de almacenista deben contar con una combinación de experiencia y

⁵³ AMENDOLA, Luis. Optimización y Gestión del mantenimiento. 3 ed. España. 2017. 257 p. ISBN 978-84-943897-8-8.

(*) PMI significa Análisis o identificación positiva de materiales (*Positive Material Identification*).

formación que les permita demostrar las competencias para llevar a cabo las tareas asignadas cumpliendo con los requisitos de seguridad⁵⁴.

Adicionalmente, el líder de almacén debe establecer lineamientos para mantener un funcionamiento seguro del sistema de almacenamiento, esto incluye paletas, contenedores, cajas, jaulas y estanterías metálicas.⁵⁵

4.4.2 Equipo de almacenaje. Es recomendable que la utilización de todos los equipos de almacenaje se realice bajo procedimientos específicos aprobados por el líder de almacén.

A su vez, el personal debe contar con las licencias, cursos o certificaciones correspondientes para su uso.

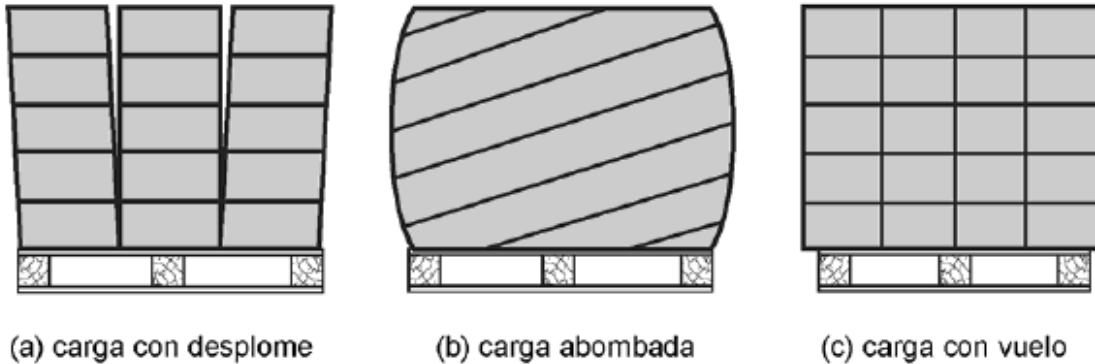
4.4.3 Inspecciones y limpieza. Se sugiere realizar inspecciones visuales semanales o de acuerdo con el intervalo establecido entre el líder de almacén y los departamentos involucrados. Es deseable realizarlo a todos los materiales almacenados o en su defecto a solo los materiales especiales, estantes y el equipo de almacenamiento en general, teniendo en cuenta la evaluación del riesgo.

Así como también la validación de las características de las unidades de carga paletizadas no afecten la colocación de estas como se muestra en la siguiente figura:

⁵⁴ ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Almacenaje en estanterías metálicas. Uso y mantenimiento del equipo de almacenamiento. UNE-EN 15635. Madrid: AENOR, 2010. 9 p.

⁵⁵ Ibid., p. 10.

Figura 4. Características de unidades de carga paletizadas incorrectamente.



Fuente: ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Almacenaje en estanterías metálicas. Uso y mantenimiento del equipo de almacenamiento. UNE-EN 15635. Madrid: AENOR, 2010. 18 p.

Es importante mencionar que la limpieza general y especializada de la infraestructura, materiales, estantes y equipo de almacenamiento es fundamental para el desarrollo de cualquier método de conservación de repuestos.

4.4.4 Clasificación adecuada. Se debe realizar una revisión minuciosa de todo el inventario, en donde Almacén solicite a los usuarios revisar a detalle las características de almacenamiento que deben tener los materiales y repuestos en stock de acuerdo con los criterios recomendados por los fabricantes y usuarios.

4.4.5 Ubicación del inventario. Se debe realizar un análisis a través del sistema de información de la compañía en donde se identifiquen los repuestos basado en la frecuencia de consumo, movimientos, la cantidad en stock, características y dimensiones físicas, protección del material, peligrosidad del material y riesgos, costo del material y protección ambiental.

De acuerdo con lo anterior, se pueden optimizar la productividad en el almacén ubicando estratégicamente los materiales. Las piezas de alta rotación deben

almacenarse en un punto más cercano en comparación con los materiales de baja rotación.

Un ejemplo práctico de un material de alta rotación pueden ser empaquetaduras y un material de baja rotación puede ser un transformador de potencial.

4.4.6 Sistemas de identificación automática. Es recomendable hacer uso de los avances tecnológicos de los últimos tiempos con el fin de implementar un sistema de identificación automática para materiales, repuestos y herramientas. Este puede ser a través de códigos de barras, identificación por radio frecuencia (RFID), bodegas automatizadas.

Este sistema también serviría para el chequeo automático de entrada y salida de materiales y el préstamo de herramientas a los colaboradores.

Para la selección del tipo de tecnología a implementar, se debe realizar un análisis costo-beneficio para evaluar su viabilidad. El retorno positivo a la inversión lo genera la disminución de costos operativos y el impacto de los errores de procesamiento al tener altas tasas de entrega de materiales y herramientas.

Como complemento para mejorar el préstamo de herramientas, se sugiere implementar equipos biométricos en donde se registre de forma automática en un software y enumere las herramientas que se van a prestar al colaborador, la cantidad, el nombre e identificación, la fecha y la hora en la que se efectúa la transacción y el almacenista que realiza la entrega.

El software también debe permitir la búsqueda de las herramientas y el nombre del colaborador que las posee en calidad de préstamo. Esto con el fin de conocer de forma ágil el nombre del poseedor, en caso tal se presente la solicitud de una actividad de mantenimiento que requiera ser atendida de forma inmediata.

4.4.7 Mantenimiento de repuestos y herramientas. Se requiere la elaboración de un plan de mantenimiento y posterior a ello, la creación en el sistema de información para los equipos almacenados como también limpieza, lubricación, comprobaciones y calibraciones metrológicas que lo requieran, entre ellos se pueden destacar algunos equipos y sus ejemplos:

4.4.8 Toma física de inventario. Es de gran valor una revisión periódica independiente del inventario con el objetivo de conocer la cantidad real y así no afectar la contabilidad de la empresa ni la producción en sí, como manifiesta Ortiz⁵⁶. El sobre costo generado por reprogramaciones de trabajos por inconsistencias de cantidades muchas veces es muy alto.

Esta toma física por lo general sería recomendable que la realice un tercero con el objetivo de evitar conflictos de interés, ajustes indebidos y adicionalmente identificar posibles mejoras a implementar en el sistema de almacenamiento.

4.4.9 Monitorización de la obsolescencia. Es necesario que cada área de Mantenimiento pueda establecer un plan de monitorización de la obsolescencia a nivel de equipos instalados en la central.

Este plan debe consistir en el contacto con el fabricante, proveedor o distribuidor autorizado para conocer el estado en el que se encuentra cada equipo instalado. Cuando el fabricante de un determinado equipo hace saber que éste pasará a ser obsoleto en X tiempo, ya sea por actualización tecnológica u otros motivos, vale la pena consultar el tiempo que continuarán fabricando y suministrando los repuestos.

⁵⁶ ORTIZ, Daniel. Gestión del inventario de repuestos. 2016. 129 p. ISBN 978-958-46-8902-3

Teniendo en cuenta lo anterior, es claro que los repuestos al cabo de un tiempo serán también obsoletos y se dejarán de producir. Lo cual indica que se deberá tener una estrategia definida para evitar que se agoten los repuestos y no haya un equipo para el reemplazo en inventario.

El otro extremo de la situación es el sobreabastecimiento de repuestos de los equipos obsoletos ya que muy probablemente los repuestos no serán consumidos.

Contreras⁵⁷ afirma que reconocer los repuestos obsoletos no es una tarea fácil para mantenimiento ya que existe resistencia a deshacerse de ellos debido a la posibilidad de necesitarlos en algún momento, generando consecuencias de una valoración irreal del inventario y así unos resultados financieros que difieren de la realidad y posiblemente pueda desencadenar decisiones gerenciales no acertadas.

4.4.10 Plan de auditoría. Se debe implementar un plan que permita identificar y evaluar las problemáticas que más impactan en los procesos internos del almacén y que posiblemente puedan generar consecuencias no deseables (pérdidas económicas) en la operación de la planta.

Como menciona Contreras⁵⁸, los aspectos que desde mantenimiento deben evaluar las auditorías son:

- Asignación de funciones y responsabilidades a los roles administrativos y operativos en almacén;
- Estandarización de equipos y repuestos (responsabilidad de mantenimiento), codificación y etiquetado (responsabilidad de almacén);

⁵⁷ CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 45 p.

⁵⁸ Ibid., p. 161.

- Programación de tareas en el almacén por turnos y su seguimiento;
- Medios de almacenaje;
- Recepción y ubicación de mercancías entregadas por el proveedor;
- Atención a solicitudes de materiales desde Ordenes de Trabajo;
- Evaluación de proveedores (mercancías incompletas, incumplimiento de fechas, artículos en mal estado, pedidos pendientes).

De forma paralela, es recomendable que exista un procedimiento de gestión que cubra por lo menos los siguientes puntos:

- Utilización del sistema de almacenaje conforme a su especificación;
- Nombrar a una persona responsable de la seguridad operacional del almacén;
- Llevar a cabo inspección y limpieza;
- Llevar a cabo mantenimiento al inventario;
- Reducción de daños y pérdidas.

5. CONCLUSIONES

-El modelo propuesto permitió seleccionar el método de clasificación de materiales más adecuado para Prime Termoflores e identificar los artículos que generan un mayor impacto en el costo total del inventario y en los cuales son más notables los efectos de una optimización.

-Con una adecuada gestión de repuestos es posible aumentar la confiabilidad de los activos, ya que brinda la posibilidad de mantener en stock la cantidad óptima de materiales y en el momento adecuado para ejecutar a tiempo las actividades de mantenimiento preventivo.

-Gestionar oportunamente los repuestos de los activos críticos permitirá disminuir las contingencias operativas y económicas que comprometen el aporte de Prime Termoflores a la matriz energética.

-Tener políticas de gestión de inventario alineadas con la estrategia del Departamento de Mantenimiento llevará a tener métodos estandarizados de gestión y consigo la posibilidad de toma de decisiones.

-Al documentar y mantener actualizados los listados de repuestos requeridos por los activos, este modelo posibilita tener intercambiabilidad de repuestos logrando ajustar las existencias de acuerdo con el riesgo y criticidad asociada.

-Este modelo de gestión de repuestos muestra la viabilidad de minimizar la inversión en el inventario sin afectar la continuidad operativa de los procesos y consigo la posibilidad de aumentar la rentabilidad de la compañía.

-Este modelo de gestión contiene indicadores de desempeño claves que permitirán medir la eficiencia de los procesos de forma individual y global, brindando criterios sólidos para tomar decisiones.

-Este modelo de gestión permitió conocer las diferentes normas internacionales para la conservación adecuada de equipos de almacenaje y a su vez los roles sugeridos para las tareas específicas de seguridad y mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Almacenaje en estanterías metálicas. Uso y mantenimiento del equipo de almacenamiento. UNE-EN 15635. Madrid: AENOR, 2010. 9 p.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Gestión de la confiabilidad. Cálculo del coste del ciclo de vida. UNE-EN 60300-3-3. Madrid: AENOR, 2004. 10 p.

AMENDOLA, Luis. Optimización y Gestión del mantenimiento. 3 ed. España. 2017. 257 p. ISBN 978-84-943897-8-8.

BALLOU, Ronald. Logística: administración de la cadena de suministro. Citado por MORA, Alberto. Inventario cero. Bogotá. 2016. 39 p.

CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019.

CELSIA; Venta de la térmica zona franca en Barranquilla. [en línea]. Medellín; 19 de septiembre del 2019; [Consulta: 25 de febrero del 2020]. Disponible en <https://www.celsia.com/en/sala-prensa/con-la-venta-de-la-t233rmica-zona-franca-en-barranquilla-celsia-obtiene-fondos-para-acelerar-sus-planos-de-crecimiento-y-continuar-con-su-transformaci243n>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gestión del riesgo. Principios y directrices. NTC-ISO 31000:2009. Bogotá, D.C. 2011.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. Guía técnica colombiana. GTC 45. Bogotá, D.C. 2010.

FARACI, Vito Jr. "Spares Optimization Algorithm for Calculating Recommended Spares". Citado por CONTRERAS MÁRQUEZ, José. Gestión y optimización de inventarios para mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 124 p.

ORTIZ, Daniel. Gestión del inventario de repuestos. 2016. ISBN 978-958-46-8902-3

MORA, Alberto. Inventario cero. Cuánto y cuándo pedir. 2016. ISBN 978-958-778-069-7. 38 p.

MORA, Gutiérrez Alberto. Mantenimiento, planeación, ejecución y control, Primera edición. C.V. México. ALFAOMEGA, 2009. ISBN 978-958-682-769-0. 19 p.

PRIME TERMOFLORES. Manual del Sistema de Gestión de Calidad. [Diapositivas]. Barranquilla. 2020. 39 diapositivas.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.3 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [11/10/20].

SMRP. Best practices Committee: SMRP Best Practice Metrics Glossary. Society for Maintenance and Reliability Professionals. Citado por: CONTRERAS, José. Gestión y Optimización de Inventarios para Mantenimiento. 2 ed. Buenos Aires: 2019. 154 p.

TÁVARA INFANTES, Carmen Marcella. Mejora en el sistema de almacén para optimizar la gestión logística de la empresa comercial Piura. Tesis de ingeniería

industrial. Piura – Perú. Universidad Nacional de Piura. Facultad de ingeniería industrial. Escuela profesional de ingeniería industrial, 2014. 37 p.

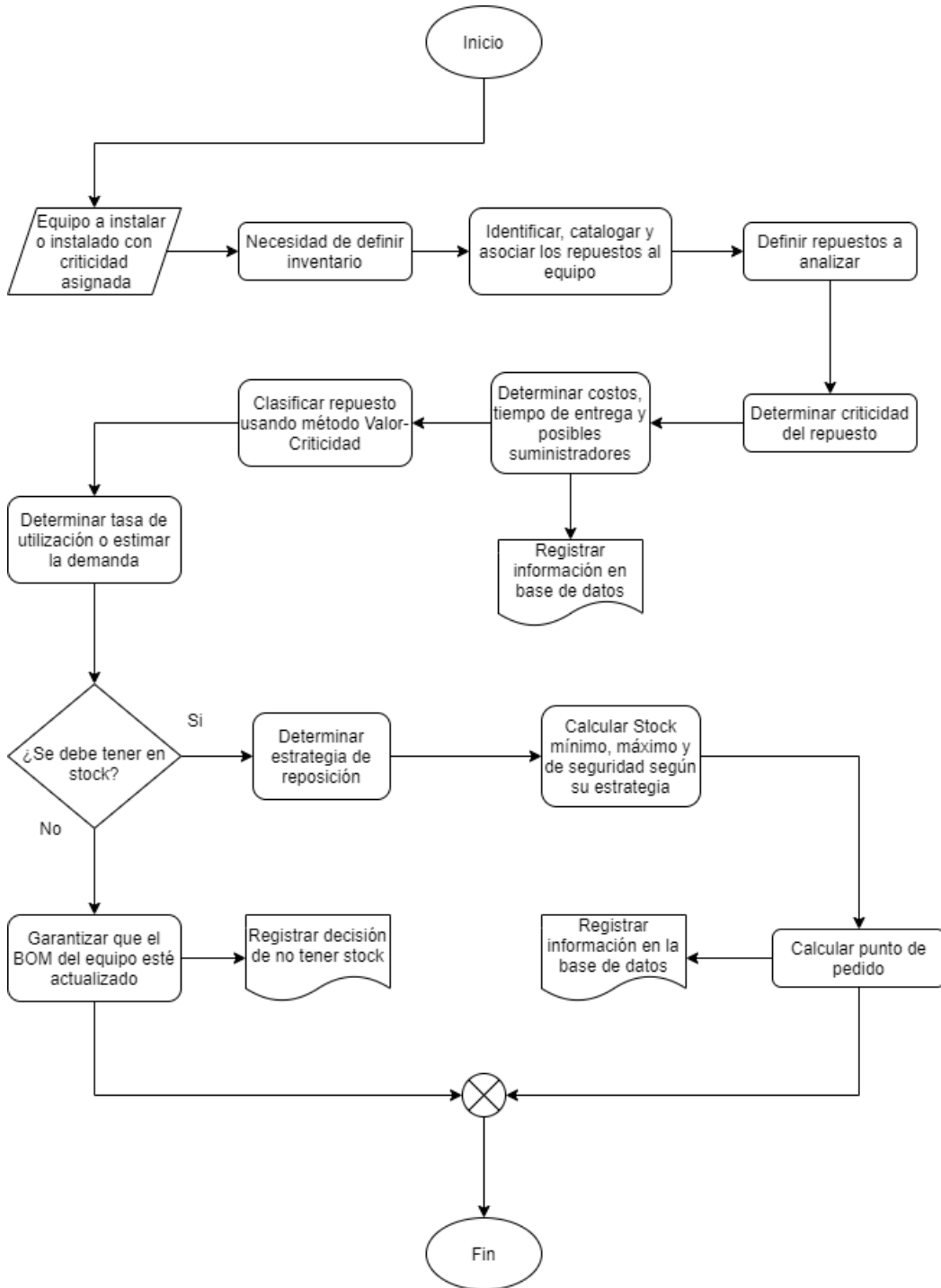
XM. [Sitio web]. Capacidad de generación. [en línea]. Medellín: [Consulta: 11 de febrero del 2020]. Disponible en <http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion.aspx?q=capacidad>

XM. [Sitio web]. Despacho. [en línea]. Medellín: [Consulta: 11 de febrero del 2020]. Disponible en <https://www.xm.com.co/Paginas/Generacion/despacho.aspx#:~:text=El%20despacho%20es%20la%20programaci%C3%B3n,las%20inflexibilidades%20y%20las%20restricciones>.

XM. [Sitio web]. Tipos de generación. [en línea]. Medellín: [Consulta: 11 de febrero del 2020]. Disponible en <https://www.xm.com.co/Paginas/Generacion/tipos.aspx>

ANEXOS

Anexo A. Diagrama del proceso de gestión individual de repuestos.



Fuente: elaboración propia.