



Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología de las 5Q's para los equipos de carga del área de empaque de la empresa Cemex-Colombia.

Cristian Camilo Rodríguez
Jhon Fredy Peña Aguirre

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.
Ibagué, Colombia

2023

Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología de las 5Q's para los equipos de carga del área de empaque de la empresa Cemex-Colombia.

Cristian Camilo Rodríguez
Jhon Fredy Peña Aguirre

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Director:

Ingeniero MSc. Juan Carlos Rico B.

Línea de Investigación:

Productividad

Grupo de Investigación:

Ciencias Naturales, Exactas y Aplicadas

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ibagué, Colombia

2023

Dedicatoria

A nuestros padres por toda una vida de dedicación, porque reconocemos el esfuerzo físico, emocional y económico para formarnos personal y profesionalmente. A nuestros hermanos y demás familiares que siempre tuvieron una palabra de ánimo y nos brindaron su apoyo. Y a nuestras parejas por su amor, paciencia y compañía que hicieron cada etapa más amena y cada logro más feliz.

C.C. Rodríguez y J. F. Peña

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Dios, quien nos ha dado vida, salud, sabiduría y disciplina para culminar con éxitos nuestra carrera profesional. A la Universidad Antonio Nariño, institución que nos abrió sus puertas y nos brindó una educación íntegra y de calidad. Al Ingeniero Juan Carlos Rico B. por su oportuna asesoría y amable disponibilidad. A nuestros compañeros que estuvieron siempre presentes y quienes con orgullo de ahora en adelante llamaremos colegas.

Resumen

Esta propuesta de mantenimiento está basada en la metodología de las 5Q'S, la cual se aplicó a los equipos de carga del área de empaque de la empresa Cemex – Caracolito, Colombia. Se realizó un diagnóstico inicial de los 5 montacargas y 2 minicargadores, donde se determinó que las principales fallas de estos equipos son daños en el ventilador, fuga de aceite por mangueras, daños en las llantas y los rines y advertencia de mal funcionamiento en las carretillas elevadoras. Se realizó una hoja de vida de cada equipo con el historial de fallas y un registro de los tiempos productivos y de parada para calcular indicadores de gestión de mantenimiento que permitan cuantificar el desempeño de las máquinas y la efectividad del mantenimiento. Se propuso un plan estratégico de mantenimiento preventiva basado en la metodología L.E.M, las cuales contemplan actividades de lubricación, mecánicas y eléctricas para equipo. Además, se realizaron formatos que incluyen la programación periódica de inspecciones, la gestión de piezas de repuestos y la recolección de información importante para el cálculo de los indicadores como número de fallas, tiempos muertos, tiempo de operación, costos de mantenimiento previstos y reales.

Palabras clave: Mantenimiento preventivo, equipos de carga, confiabilidad, rentabilidad y planeación.

Abstract

This maintenance proposal is based on the 5Q'S methodology, which was applied to the loading equipment of the packaging area of the Cemex company - Caracolito, Colombia. An initial diagnosis was carried out on the 5 forklifts and 2 skid steer loaders, where it was determined that the main failures of these equipment are damage to the fan, oil leaks through hoses, damage to the tires and rims and a warning of malfunctions in the forklifts. elevators. A resume was made for each piece of equipment with the history of failures and a record of productive and downtime to calculate maintenance management indicators that allow quantifying the performance of the machines and the effectiveness of maintenance. A strategic preventive maintenance plan was proposed based on the L.E.M methodology, which includes lubrication, mechanical and electrical activities for equipment. In addition, formats were created that include the periodic scheduling of inspections, the management of spare parts and the collection of important information for the calculation of indicators such as number of failures, downtime, operation time, planned and actual maintenance costs.

Keywords: Preventive maintenance, loading equipment, reliability, profitability and planning.

Contenido

Resumen	v
Lista de Figuras	ix
Lista de Tablas	x
Lista de Anexos	xi
Introducción.....	1
1. Objetivos.....	2
1.1. Objetivo General.....	2
1.2. Objetivos Específicos.....	2
2. Justificación.....	3
2.1. Planteamiento Del Problema	3
3. Marco Teórico	4
3.1. Antecedentes	4
3.2. Metodología De Mantenimiento 5Q´s	5
3.3. Mantenimiento Preventivo	6
3.3.1. Ventajas operativas del Sistema de Mantenimiento Preventivo	7
3.3.2. Ventajas Económicas del Mantenimiento Preventivo	7
3.4. Maquinaria De Carga.....	7
3.5. Indicadores De Gestión de Mantenimiento	11
3.5.1. Disponibilidad.....	11
3.5.2. Confiabilidad- MTBF — Mean Time Between Failures	12
3.5.3. Mantenibilidad	12
3.5.4. Otros indicadores de gestión	13
3.6. Marco Contextual.....	14
3.6.1. Reseña Histórica.....	14
3.6.2. Ubicación	14

3.6.3. Misión	15
3.6.4. Visión.....	15
3.6.5. Productos.....	16
4. Resultados.....	17
4.1. Evaluación y diagnóstico de los equipos.....	17
4.1.1. Descripción del proceso.....	17
4.1.2. Identificación de maquinaria y equipos.....	18
4.1.3. Análisis de criticidad y jerarquización	19
4.2. Plan estratégico de mantenimiento preventivo.....	21
4.2.1. Planificación y programación	21
4.2.2. Mantenimiento preventivo por sistema L.E.M.....	24
4.2.3. Uso de tecnologías de diagnóstico	24
4.2.4. Indicadores de gestión de mantenimiento.....	25
4.3.1. Actividades de lubricación	30
4.3.2. Actividades eléctricas.....	31
4.3.3. Actividades mecánicas.....	32
Conclusiones	37
Recomendaciones.....	38
Anexos	39
Referencias	44

Lista de Figuras

Figura 1. Metodología 5Qs.....	6
Figura 2. Mlnicargador Bobcat	9
Figura 3. Montacargas Linde	10
Figura 4. Manlift.....	11
Figura 5. Reseña histórica tomada de (Cemex, 2023)	14
Figura 6. Ubicación Planta Caracolito	15
Figura 7. Diagrama de flujo producción de cemento (Torres, 2012).....	18

Lista de Tablas

Tabla 1. Identificación de equipos área de empaque	19
Tabla 2. Matriz de criticidad y jerarquización	20
Tabla 3. Formato orden de trabajo mantenimiento preventivo	22
Tabla 4. Hoja de vida equipos.....	23
Tabla 5. Gestión de repuestos	23
Tabla 6. Actividades de lubricación.....	31
Tabla 7. Actividades eléctricas.....	32
Tabla 8. Actividades mecánicas.....	33
Tabla 9. Repuestos preventivos Montacargas 50.000 h	39
Tabla 10. Preguntas para análisis de criticidad.....	41
Tabla 11. Tabla de costos mantenimiento minicargador BOBCAT S185	42
Tabla 12. Costos de mantenimiento minicargador Caterpillar	43

Lista de Anexos

Anexo 1. Lista de repuestos preventivos montacargas

Anexo 2. Preguntas para análisis de criticidad

Anexo 3. Tabla de costos mantenimiento minicargador BOBCAT S185

Anexo 4. Tabla de costos mantenimiento minicargador CATERPILLAR

Introducción

Cemex-Colombia es una empresa global dedicada a la industria de materiales de construcción. Después de más de un siglo de desarrollo de mercado, se ha posicionado exitosamente como una de las empresas más importantes de la industria internacional, operando en América, Europa, África, Medio Oriente y Asia. Hoy, la compañía cuenta con 56 fábricas en todo el mundo, y los pilares de su estrategia son la innovación y la sostenibilidad, proporcionando productos y servicios de alta calidad. (Cemex, 2023)

El foco de este trabajo es la empresa Cemex Columbia, específicamente la planta de cemento Caracolito, ubicada a 3.5 kilómetros de Buenos Aires - Payandé, Ibagué, Tolima. Aquí se describe y analiza la situación actual en el campo del embalaje de la empresa, así como se ofrecen recomendaciones para un programa de mantenimiento preventivo para montacargas y equipos minicargadores.

Actualmente, la empresa no cuenta con un programa de mantenimiento diseñado para mantener el control de los equipos y ayudar a anticipar posibles fallos y averías. Siguiendo esta idea, este trabajo se centrará en proponer un modelo de mantenimiento. Las instalaciones están disponibles y apoyan las diversas actividades logísticas de la empresa.

Aplicar un adecuado plan de mantenimiento ayudará a reducir los costos de mantenimiento y los tiempos de inactividad, que pueden provocar fallas repetidas en los equipos y afectar el desarrollo del proceso de carga y distribución. El objetivo de esta propuesta es realizar un análisis general de las fallas eléctricas, mecánicas, hidráulicas y neumáticas más comunes de los equipos de carga en el área de empaque; con el propósito de elaborar un plan de mantenimiento preventivo que permita reducir el tiempo de espera y evitar afectaciones en la producción, tiempo y eficiencia.

1.Objetivos

1.1. Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento basado en la metodología 5Q's para los equipos del área de empaque de la empresa Cemex, con la finalidad de minimizar los tiempos muertos y paradas innecesarias en el proceso.

1.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el estado actual de los equipos del área de empaque con el fin de identificar los problemas y fallas más comunes.
- Establecer un plan estratégico de mantenimiento que incluya la programación de inspecciones, mantenimiento preventivo y la gestión de piezas de repuesto.
- Elaborar fichas técnicas de los equipos donde se encuentre los registros y frecuencia de mantenimiento, con el fin de realizar seguimiento y trazabilidad.

2. Justificación

Para la empresa es de vital importancia que todos los equipos del área de empaque estén disponibles y operativos con el fin de que la cadena de procesos siempre se encuentre en funcionamiento y no se generen paradas innecesarias que corten el flujo de las operaciones, por este motivo se plantea un plan de mantenimiento preventivo que ayuda a organizar y establecer un orden al mantenimiento que se realizan a los equipos con el fin de disminuir los tiempos muertos generados por fallas que representan un costo elevado para la compañía.

2.1. Planteamiento Del Problema

Cemex Colombia es una empresa líder en la fabricación y distribución de materiales para la construcción con más de 100 años de experiencia y presencia en más de 50 países, esto genera que la empresa tenga un grado de compromiso mayor al momento de cumplir a sus clientes, por este motivo la compañía decidió realizar una inversión en compra de maquinaria que ayude a fortalecer esta cadena de distribución; pero actualmente carece de un plan de mantenimiento para los nuevos equipos montacargas que hacen parte del área de empaque, debido a que este servicio se contrataba con un proveedor externo que se encargaba de suministrar la maquinaria y realizar el debido mantenimiento, el cual no era realizado de una manera correcta y eficiente puesto que las maquinas no estaban del todo operativas y se presentaban demoras en las reparaciones afectando el despacho del producto, generando retrasos en el cumplimiento de las entregas e inconformidades con los clientes.

Con lo anterior, se propone un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología de las 5Q's para los equipos de carga del área de empaque de la planta Caracolí de la empresa Cemex- Colombia, como herramienta de optimización logística, técnica y económica.

3.Marco Teórico

3.1. Antecedentes

El mantenimiento preventivo es una herramienta importante en todas las industrias y para todos los equipos; ya que permite planificar acciones antes de que se produzcan averías en los equipos. Específicamente, para equipos como montacargas, un programa de mantenimiento preventivo eficiente es clave para garantizar la operatividad de la empresa, gestionando el tiempo de inactividad para que no afecte a la producción.

En concordancia, se presenta a continuación una compilación de autores cuyo propósito ha sido la implementación de programas de mantenimiento preventivo para equipos de carga y que servirá de base y referencia para el presente trabajo.

Garrido, 2003 y Mora, 2009 en sus libros sobre mantenimiento, destacan la importancia de las actividades de mantenimiento enfocados en una perspectiva ingenieril, estadística e investigativa; así mismo, implementan una metodología multinivel basada en la planeación, ejecución, coordinación y control, para realizar de forma efectiva actividades y labores de mantenimiento que incentiven el mejoramiento en la producción. (Garrido, 2003) (Mora, 2009)

En el repositorio de la Universidad Tecnológica de Bolívar, se encontraron dos trabajos de grado cuyo objetivo fue la realización de planes de mantenimiento preventivo para equipos de maquinaria pesada y montacargas respectivamente. En el 2010, Hernández de la Espriella realizó el plan de mantenimiento preventivo de los montacargas de la empresa SEATECH INTERNATIONAL INC; mostrando la importancia de los montacargas en la línea de producción de la empresa y resaltando su sobrecarga horaria (18 a 24 h), lo cual dejaba muy poco tiempo para su mantenimiento y disminuía la durabilidad de las partes y operación del mismo. Con la implementación de dicho proyecto, se dio un giro al tipo de mantenimiento realizado en empresa, de correctivo a preventivo, ayudando a disminuir los tiempos muertos y los costos de repuestos

de los montacargas (Hernández de la Espriella, 2010). Por otra parte, en el 2012, Bravo y Castro, presentaron un plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada de la empresa INSER SAS, con el fin de minimizar los mantenimientos correctivos y maximizar la disponibilidad de los equipos productores; la metodología usada se basó en el cumplimiento de tres objetivos básicos: Disminuir al máximo posible los tiempos de paralización, aumentar la vida útil de los equipos y disminuir el costo de Producción. (Bravo & Castro, 2012)

En el 2017, la Revista de la Invención Técnica, Flores, Pérez y Carballo, presentaron en su artículo sobre “Sistema de ayuda a la gestión del mantenimiento de maquinaria y vehículos en un Distrito de Riego”, dentro de las metodologías y modelos aplicables al diseño de gestión y planes de mantenimiento, El método propuesto por García Monsalve, González-S., Cortés-M. (2009) denominado 5Q, consta de cinco fases: a) Diagnóstico (la organización evalúa y asigna recursos para el mantenimiento); b) diseño (definición adecuada de estrategias apropiadas: preventiva, correctiva, predictiva o una combinación de las anteriores); c) Implementación (ejecución de estrategias y documentos, incluyendo desarrollo de procedimientos e instructivos) d) Medición (definición de indicadores de gestión, eficiencia y costos) e) Mejora (evaluación y ajuste global). (Flores, Pérez, & Carballo, 2017)

Finalmente, cabe mencionar que en el 2021, Gonzáles y Andrade, estudiantes de la Universidad Antonio Nariño, diseñaron un Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en la Metodología 5qs para los Equipos y Maquinaria de la Planta de Trituración Esgamo S.A.S; en este trabajo se logró identificar y prevenir posibles fallas de los equipos de maquinaria pesada, se calcularon indicadores de gestión de mantenimiento y se realizaron las fichas técnicas de los equipos, desarrollando un plan de mantenimiento a corto, mediano y largo plazo. (González & Andrade, 2021)

3.2. Metodología De Mantenimiento 5Q's

El método, denominado "5QS", implica el diseño e implementación de un plan de mantenimiento integral. Su enfoque principal está en la ejecución de técnicas de organización, gestión, planificación y mantenimiento. El objetivo es garantizar la fiabilidad y rentabilidad de los equipos e instalaciones y reducir los costes de intervención, tiempo no productivo y aumentar la productividad. Estos aspectos deben ser tenidos en cuenta por todo el personal de mantenimiento.

Cabe destacar que, al gestionar un plan de mantenimiento, el cálculo de indicadores juega un papel clave para lograr medir la efectividad de la implementación del plan. (García-Monsalve, G., González-S., H., & Cortés-M., 2009)

Esta metodología se construye a partir de las respuestas dadas a los cinco interrogantes planteados en cada una de sus fases como se observa en la figura 1.

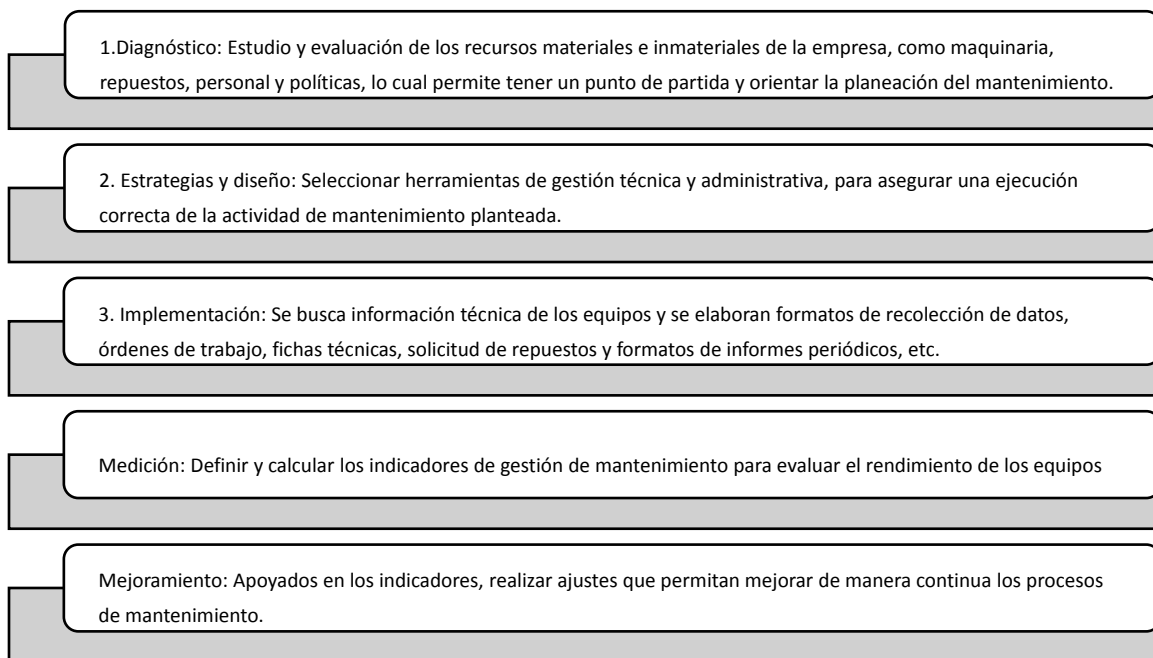


Figura 1. Metodología 5Qs. Elaboración propia basado en (García-Monsalve, G., González-S., H., & Cortés-M., 2009)

3.3. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo, como su nombre lo indica, tiene como objetivo evitar averías o fallas y debe llevarse a cabo de manera regular. Los objetivos del mantenimiento preventivo se pueden resumir en tres logros fundamentales para una economía empresarial sólida en el área de mantenimiento. Estos son:

- Lograr el mejor rendimiento y funcionamiento de las máquinas productivas, asegurando una eficiencia funcional óptima, una alta confiabilidad operativa y un alto nivel de seguridad industrial.

- Minimizar al máximo el desgaste o deterioro de los equipos de producción, protegiendo así la inversión realizada en dichos activos.
- Mejorar los aspectos mencionados anteriormente a través de un servicio altamente eficiente.

3.3.1. Ventajas operativas del Sistema de Mantenimiento Preventivo

- Disminución en el número de daños en servicio y por ende de emergencias por averíos.
- Mayor disponibilidad y confiabilidad de los equipos.
- Aumento en la calidad de la producción.
- Menos horas extras del personal de Mantenimiento.
- Ahorro en los repuestos requeridos y en los tiempos muertos.
- Mayor vida útil de los equipos.
- No se requiere equipo de reserva.
- Mayor grado de Seguridad Industrial.
- Programación estable de trabajos de Mantenimiento.
- Reducción de paradas en el área de Producción.

3.3.2. Ventajas Económicas del Mantenimiento Preventivo

- Menor inversión en renovación de equipos.
- Disminución del costo de reparaciones, tanto en mano de obra como en repuestos.
- Mayor cuidado de partes del equipo con altos costos.

3.4. Maquinaria De Carga

Es el tipo de maquinaria diseñada para realizar trabajos que la fuerza humana u otras herramientas no pueden llevar a cabo. La maquinaria de carga es uno de los activos más costosos en las empresas; no solo por la gran inversión de en la compra, sino porque una parada en las operaciones a causa de una falla mecánica puede tener efectos muy negativos en los

tiempos de entrega, la productividad, la salud y seguridad de los operadores y pérdidas económicas por reparaciones. (KOMATSU, 2022)

Las maquinas utilizadas para transporte industrial de carga varían según sus características y funcionalidad como se muestra a continuación:

Transpaletas y apiladores. Las transpaletas son los equipos de mantenimiento más usado en la industria por su versatilidad. Puede ser manual o eléctrica; este equipo se utiliza exclusivamente para transporte, ya que trabaja al nivel del suelo. Por su parte, el apilador sí puede levantar la mercancía hasta 6 metros de altura, facilitando la carga y descarga de vehículos.

Carretilla contrapesada. Son usadas para la carga y descarga de vehículos de transporte como camiones, gracias a las horquillas que sobresalen por su parte de adelante. La principal diferencia respecto a las transpaletas y los apiladores es que se desplazan a mayor velocidad, pueden trabajar en interiores y exteriores y su funcionamiento se basa en el principio de la palanca, al contar con un contrapeso en la parte trasera.

Minicargador. También llamado, cargador deslizante es un tipo de tractor muy compacto que posee un brazo de carga en su extremo frontal. A diferencia de las máquinas anteriormente descritas, el minicargador es liviano, pequeño y muy ágil; por ello es muy usado para realizar movimientos de tierra , remoción de material, rehabilitación de interiores, construcción de sótanos, jardines, piscinas, entre otros. Una gran ventaja de este equipo es su bajo consumo de combustible en comparación con otras máquinas similares.



Figura 2. Mnicargador Bobcat. Tomado de (Kubobcat, 2008)

Montacargas. La principal función de un montacargas es levantar, bajar, y mover cargas aplicando muy poco, o ningún esfuerzo manual por parte del operario; para esto, se emplea un mástil en la parte delantera de una grúa horquilla.

Los montacargas hacen parte de los equipos móviles de contrapeso, puesto que su carga queda fuera de la distancia entre sus ejes, por lo anterior se basan en los principios de balance y estabilidad, presentando su punto de equilibrio en la línea central del eje de transmisión.

Posee dos barras paralelas planas en su parte frontal que se introducen bajo la carga, llamadas «horquillas», montadas sobre un soporte que se desliza verticalmente por un mástil, con esto se logra elevar y descender la carga. La separación entre horquillas es adaptable a distintas cargas; el soporte de las horquillas tiene un pequeño desplazamiento lateral para maniobrar mejor la carga.

Las ruedas traseras de los montacargas tienen un amplio ángulo de giro para facilitar la movilidad en espacios estrechos, mientras que las ruedas delanteras son las motrices; también existen modelos 4x4 para uso en exteriores o en construcción.

Los pistones hidráulicos, que son componentes de un sistema óleo-hidráulico, son responsables de la elevación de las horquillas, así como de la inclinación del mástil y otros movimientos. Este sistema se activa mediante una bomba que recibe energía del motor utilizado para el

desplazamiento en las carretillas de motor térmico, y generalmente de un motor separado en el caso de las carretillas eléctricas.

Esta herramienta es conocida como montacargas, y se utiliza en entornos industriales y de almacenamiento como almacenes, fábricas, centros logísticos y tiendas minoristas. Su función principal es transportar y sostener tarimas o palets con productos, así como colocarlos en estanterías o racks y realizar tareas de carga y descarga de camiones o contenedores.

El montacargas es especialmente útil para manejar cargas pesadas que superan la capacidad humana, lo que ahorra horas de trabajo al mover una gran cantidad de peso de una sola vez en lugar de dividir el contenido en partes o secciones. Sin embargo, su uso requiere capacitación especializada, y en muchos países, los empleados deben obtener licencias especiales para poder operarlo. Además, estos vehículos requieren neumáticos resistentes a pinchazos para garantizar su correcto funcionamiento.



Figura 3. Montacargas Linde. Tomado de (Linde, 2020)

Manlift: Es una es una maquinaria mecánica que permite a los trabajadores acceder a alturas donde una escalera u otro medio inseguro no sería adecuado.

Esta máquina tiene múltiples usos, como limpieza y mantenimiento en lugares altos, iluminación pública, centros comerciales, industrias, construcción, aeropuertos; siempre y cuando se necesite movilidad y libertad de movimiento. Además, el manlift tiene la capacidad de realizar giros completos de 360 grados y moverse lateralmente.



Figura 4. Manlift (ANDALTURAS, 2023)

3.5. Indicadores De Gestión de Mantenimiento

Los KPIs de mantenimiento son métricas usadas para evaluar el desempeño de acciones específicas. En el campo del mantenimiento, estos indicadores pueden medir la duración de una parada (planeada o no) y el impacto en la producción. Es crucial establecer una serie de indicadores que evalúen el rendimiento de las operaciones y que cuantifiquen la efectividad y eficiencia de estas acciones. También ayudan a evaluar cómo han evolucionado con el tiempo y establecer objetivos claros para la mejora continua. (Rodríguez, 2008)

Los principales indicadores de gestión de mantenimiento se describen a continuación:

3.5.1. Disponibilidad

Se define como la capacidad que tiene una máquina o equipo para que funcione en óptimas condiciones en el instante que sea requerido en un periodo de tiempo determinado.

La disponibilidad se calcula de acuerdo con los indicadores de Downtime y Uptime, Tiempo de inactividad del equipo y Tiempo de actividad del equipo respectivamente.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Uptime}}{\text{Uptime} + \text{Downtime}} \quad (\text{Ec. 1})$$

3.5.2. Confiabilidad- MTBF — Mean Time Between Failures

Tiempo promedio entre fallas o TPEF por sus siglas en español, este indicador mide la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para el cual fue diseñado, durante el periodo de tiempo especificado y bajo las condiciones de operaciones dadas.

La confiabilidad se refiere a la capacidad de un equipo para funcionar correctamente durante un tiempo determinado y bajo condiciones de operación específicas. En lugar de concentrarse solo en evitar fallas, este indicador se centra en garantizar que el equipo pueda cumplir de manera constante y confiable con las funciones para las que fue diseñado.

Así se destaca la capacidad de un equipo o componente para mantenerse realizando las tareas esperadas de manera continua, sin interrupciones o inconvenientes, es decir, sin sufrir fallos. La confiabilidad se puede medir mediante la función de confiabilidad exponencial, la cual asume que los fallos se distribuyen al azar a lo largo del tiempo. La fórmula es la siguiente:

$$\text{Confiabilidad } (R) = e^{-\lambda t} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde λ (lambda) es la tasa de fallas del sistema, normalmente expresada como fallas por unidad de tiempo. Y t es el periodo de tiempo para el que se calcula la confiabilidad.

$$\lambda = \text{N}^\circ \text{ de fallas} / \text{Tiempo total de funcionamiento}$$

3.5.3. Mantenibilidad

La capacidad o probabilidad de un activo para ser restaurado a su funcionalidad original después de haber sido sometido a mantenimiento bajo las condiciones adecuadas, con el uso de los procedimientos y recursos adecuados, dentro de un período de tiempo determinado, se conoce como mantenibilidad.

Para calcular este indicador, primero se debe calcular el tiempo promedio para reparaciones, como se indica en la ecuación 5.

$$TPPR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenimiento}}{\textit{Número de fallas}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Luego, la ecuación clásica para calcular la mantenibilidad es:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde $\mu = 1/TPPR$ y t es el tiempo total de operación

3.5.4. Otros indicadores de gestión

Se emplean para medir tanto la eficacia en términos de tiempo y costos de las labores de mantenimiento, así como para planificar y evaluar los programas llevados a cabo. (García-Monsalve, G., González-S., H., & Cortés-M., 2009):

$$\textit{Horas de mantenimiento} = \frac{\textit{Horas de mantenimiento planeadas}}{\textit{Horas totales de mantenimiento}} * 100 \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\textit{Costo de mantenimiento} = \frac{\textit{Costo de mantenimiento planeado}}{\textit{Costo total de mantenimiento}} * 100 \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\textit{Trabajos terminados} = \frac{\textit{Trabajos terminados}}{\textit{Trabajos planeados}} * 100 \quad (\text{Ec. 7})$$

3.6. Marco Contextual

3.6.1. Reseña Histórica

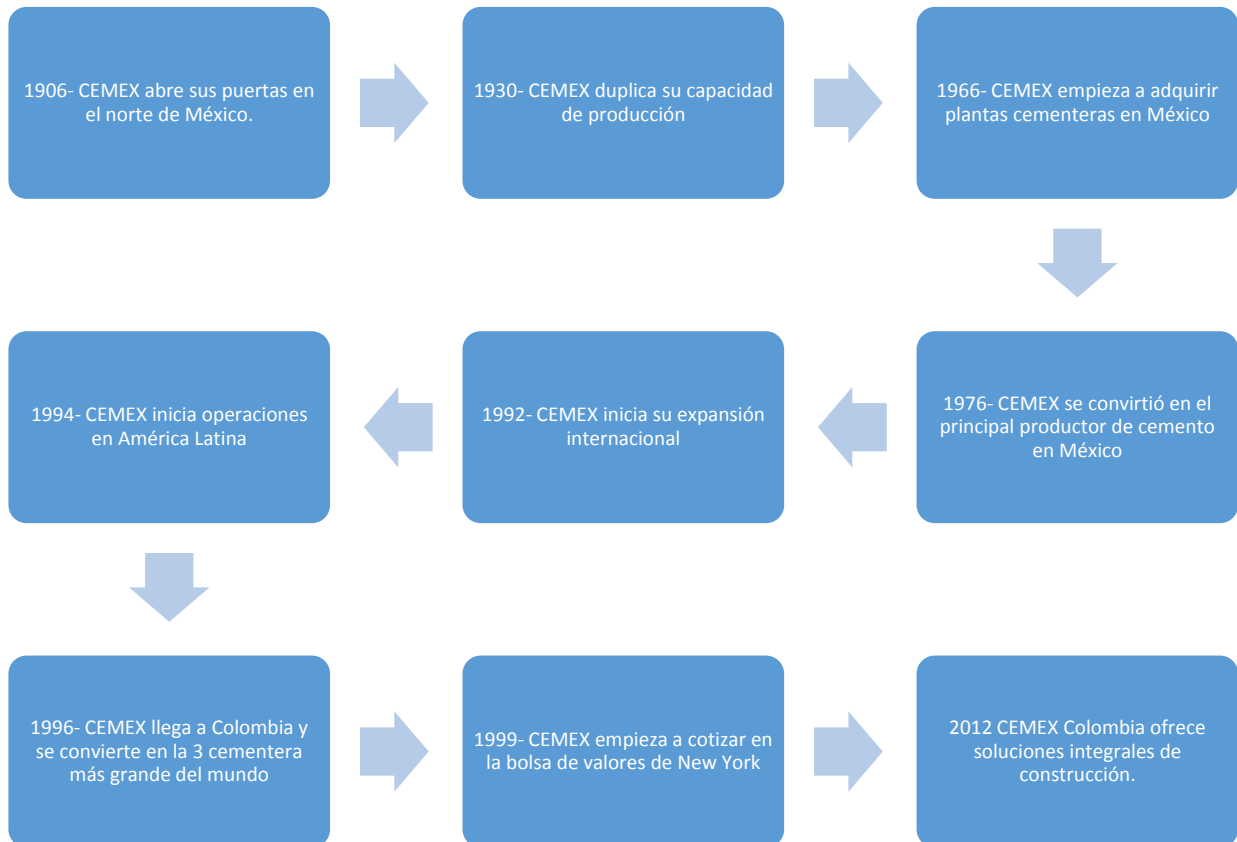


Figura 5. Reseña histórica tomada de (Cemex, 2023)

3.6.2. Ubicación

La planta de cemento Cemex- Caracolito se encuentra ubicada Km 3.5 Vía Buenos Aires - Payandé, Ibagué, Código Postal 730008, Tolima, República de Colombia.

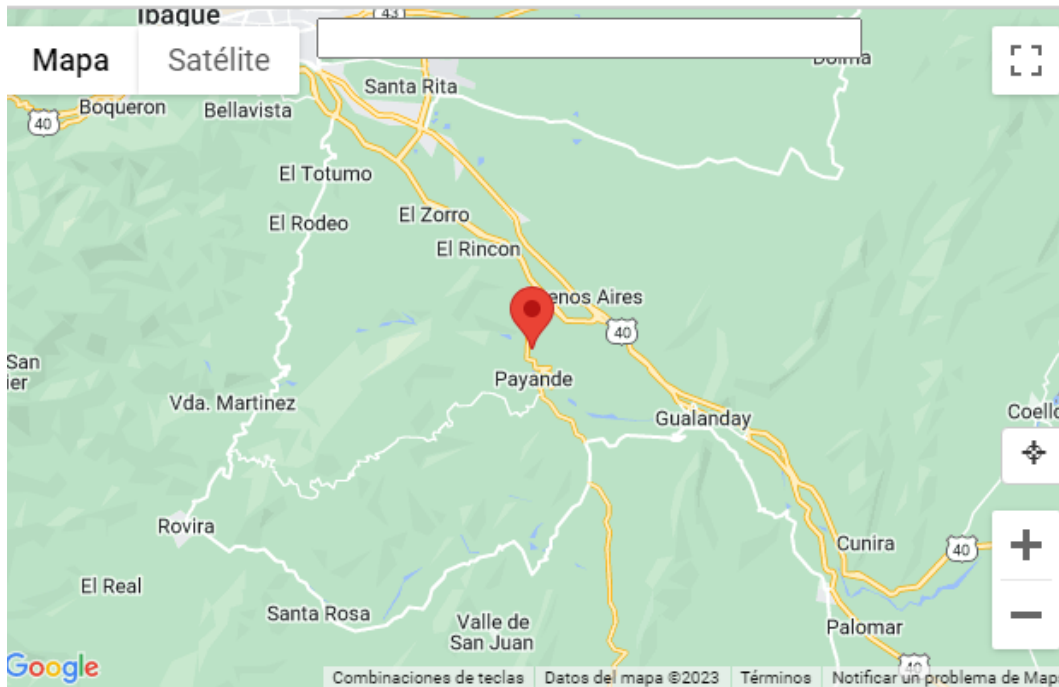


Figura 6. Ubicación Planta Caracolito (Cemex, 2023)

3.6.3. Misión

Nuestra misión es generar valor a largo plazo al proporcionar productos y soluciones líderes en la industria para satisfacer las necesidades de construcción de nuestros clientes en todo el mundo.

3.6.4. Visión

En Cemex, nos comprometemos a ser una compañía global de materiales de construcción que ofrece soluciones innovadoras y sostenibles para la industria. Nuestros productos y servicios de alta calidad superan las expectativas de nuestros clientes a través de una producción y distribución verticalmente integrada, aprovechando nuestra experiencia en cemento, concreto, agregados y Soluciones Urbanas.

Tenemos como objetivo construir un futuro mejor para todas las partes interesadas, incluyendo empleados, clientes, accionistas, inversores, proveedores y las comunidades en las que operamos.

3.6.5.Productos

Cemex enfoca la industria de la construcción hacia soluciones más rentables, eficientes y respetuosas con el medio ambiente, desarrollando la próxima generación de materiales de construcción, y verificando que sean viables a gran escala y en todos los mercados.

Centrados en la calidad, la innovación y la sostenibilidad, la cartera de productos y soluciones de vanguardia ofrece soluciones excepcionales que se adaptan a las necesidades de los clientes en la construcción, los productos y servicios incluyen:

- Cemento
- Concreto
- Agregados
- Soluciones Urbanas
- Regenera: Utilización de residuos y subproductos industriales como sustitutos sostenibles de los combustibles fósiles y materias primas en nuestros procesos de producción. Se ofrece una amplia gama de servicios personalizados que incluyen la recepción, gestión, reciclaje y coprocesamiento de residuos.
- Vertua: Productos sostenibles verificables, como la reducción de emisiones de carbono, la eficiencia energética, la conservación del agua, el uso de materiales reciclados y la optimización del diseño.

4.Resultados

4.1. Evaluación y diagnóstico de los equipos

Se lleva a cabo la primera fase de la metodología 5Q´s donde se evalúan los recursos potenciales de la empresa como lo son: Procesos, equipos, maquinaria, almacenes, inversiones y repuestos.

4.1.1.Descripción del proceso

La planta Cemex Caracolito está dedicada a la fabricación y distribución de cemento; por ende, se describe el proceso de fabricación de dicho producto y se presenta como complemento su diagrama de flujo.

Para la extracción de materias primas se utilizan métodos como la barrenación y detonación con explosivos en las canteras de piedra, con un impacto mínimo gracias a la tecnología moderna. Después de fragmentar las grandes masas de piedra, se transportan a la planta en camiones o bandas. A continuación, el material de la cantera se fragmenta en trituradores, reduciéndolo a un tamaño máximo de una y media pulgadas mediante impacto y/o presión.

La prehomogenización consiste en mezclar proporcionalmente los diferentes tipos de arcilla, caliza u otros materiales. Cada materia prima se almacena por separado en silos y se dosifica para producir diferentes tipos de cemento.

La molienda de la materia prima se lleva a cabo en molinos verticales de acero o también en molinos horizontales mediante la pulverización del material con bolas de acero. La homogenización de la harina cruda se realiza en silos para obtener una mezcla homogénea del material.

La calcinación es el proceso más importante, en el que la harina se transforma en clinker mediante hornos rotatorios a 1400°C. El clinker se muele utilizando bolas de acero en un molino de dos cámaras, agregando yeso para prolongar el tiempo de fraguado del cemento. El cemento se envase y se embarca en silos de almacenamiento, y puede ser transportado en camiones, tolvas de ferrocarril o barcos. Se puede envasar en sacos de papel o suministrarse a granel directamente.

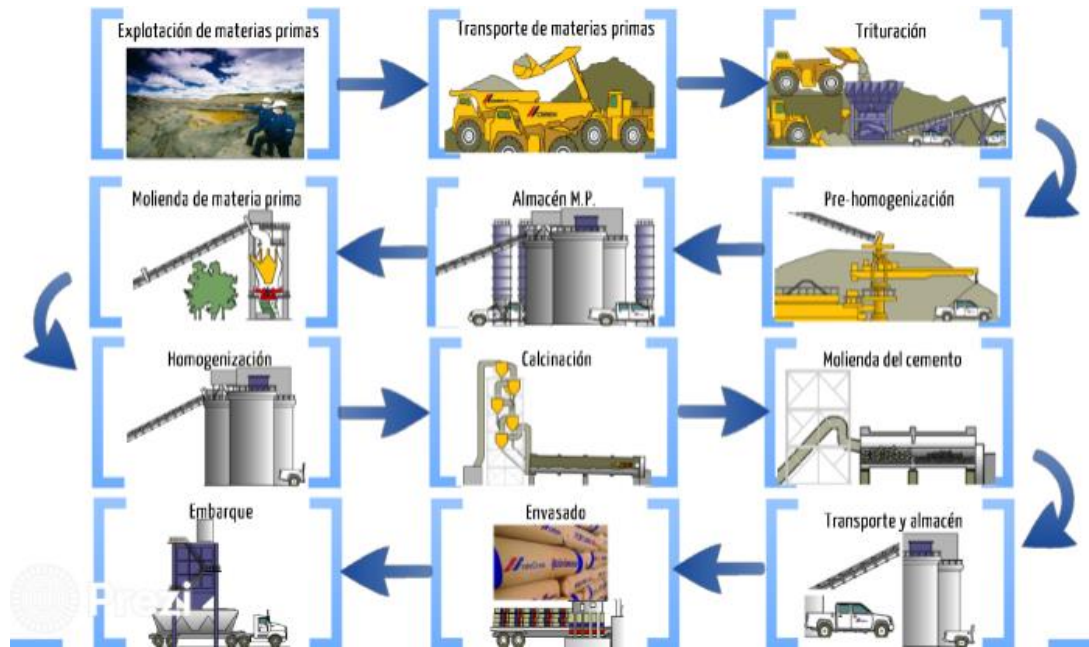


Figura 7. Diagrama de flujo producción de cemento (Torres, 2012)

4.1.2. Identificación de maquinaria y equipos

En el área de empaque de la empresa Cemex Caracolito se identificaron en total 8 equipos de carga distribuidos como se muestra en la Tabla 1 y como se relaciona a continuación: Cinco (5) Montacargas marca Linde o Carretilla diésel, codificados con la letra “L” y enumerados del 1 al 5, un (1) minicargador marca Bobcat, un (1) minicargador marca Caterpillar y un (1) Manlift, el cual no está destinado para trabajo pesado, sino a labores de limpieza y mantenimiento en lugares altos, por lo cual no se tuvo en cuenta para la realización del presente proyecto.

Tabla 1. Identificación de equipos área de empaque

Equipos Parámetros	Montacargas	Minicargador	Minicargador
Marca	LINDE	BOBCAT	CATERPILLAR
Serie	H80D-396-03	S185	236D
Código	L1 a L5	BOBCAT	CAT
Cantidad	5	1	1
Jornada laboral (horas/día)	18-20 h	10-12 h	10-12 h
Lubricante hidráulico	ISO-L-68 O ISO 6743	ISO-L-68	ISO-L-68
Lubricante motor	15w-40	15w-40	15w-40
Lubricante de transmisión	SAE 80W-90	SAE 30	SAE 30
Reductores	NA	SAE 50	SAE 50
Graseras	Grasa de litio	Grasa de litio	Grasa de litio
Repuestos en stock permanentes	Kit servicio 1000 motor, Kit servicio 3000 hidráulico, Kit servicio 3000 motor, Kit de reparación dirección conjunto 5.000hr, Kit servicio 6000 motor.*	Filtro de aire, filtro de aceite, filtro de combustible.	Filtro de aire, filtro de aceite, filtro de combustible.

*Información detallada Anexo 1. Repuestos preventivos Montacargas 50.000 h

4.1.3. Análisis de criticidad y jerarquización

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que ayude en la jerarquización de procesos, sistemas y equipos de una planta, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

Con lo anterior, se implementa un método cualitativo basado en una encuesta de criticidad que incluye los siguientes aspectos (Parra & Crespo, 2019):

- Medio ambiente
- Seguridad

- Calidad
- Tiempo de trabajo
- Entrega
- Fiabilidad
- Mantenibilidad

Los datos se obtuvieron con ayuda de los operarios y representan un valor cualitativo estimado para la preservación de los equipos. La encuesta con las preguntas se encuentra en el anexo 1

Tabla 2. Matriz de criticidad y jerarquización

Equipos Parámetros	Montacargas	Minicargadores
Medio ambiente	B	B
Seguridad	A	A
Calidad	B	B
Trabajo	A	B
Entrega	B	C
Fiabilidad	C	C
Mantenibilidad	A	A
Resultado promedio de criticidad	Muy crítico	Crítico

Los resultados de la matriz anterior permiten determinar que se debe priorizar el mantenimiento de los montacargas sobre el de los minicargadores; teniendo en cuenta que los factores de seguridad, tiempo de trabajo y mantenibilidad presentaron una calificación muy crítica, representando fallos que puedan producir accidentes que causen ausencia temporal o permanente del lugar de trabajo, son equipos que trabajan hasta tres turnos seguidos y requieren un tiempo de reparación superior a 120 minutos respectivamente.

4.2. Plan estratégico de mantenimiento preventivo

La creciente demanda de cemento, concreto y otros materiales de construcción pasada la pandemia del Covid, ha representado un factor importante en la reactivación económica del país. Aunado a esto, el segmento de vivienda, tanto VIS (vivienda de intereses social) como No VIS, continua con la tendencia positiva, presentando crecimientos anuales en la demanda de materiales de construcción de alrededor del 1,7%. (Bancolombia, 2021)

Lo anterior, sumado a los altos niveles de competitividad en la industria de la construcción en Colombia, obligan a las empresas a estar en la vanguardia tanto tecnológica como estratégica para aumentar su eficiencia y productividad.

En el presente capítulo se desarrollan las fases 2 y 3 de la metodología 5Q's, correspondientes al planteamiento y desarrollo del plan estratégico de mantenimiento. A continuación, se proponen para la empresa Cemex- Caracolito estrategias de mantenimiento preventivo que permitan lograr un impacto positivo en la reducción de tiempos y costos operativo. Una respuesta eficaz y rápida no solo minimiza las interrupciones, sino que también demuestra al cliente el compromiso de la empresa con la calidad del servicio.

4.2.1. Planificación y programación

La planificación y programación del mantenimiento permite mejorar la eficiencia en las tareas y aumentar la vida útil de los activos a través del mantenimiento preventivo.

En el caso de instalaciones grandes o con ubicaciones dispersas, una correcta planificación y programación del trabajo permite asignar previamente las tareas a los técnicos, evitando que tengan que recibir instrucciones durante su jornada laboral.

Además, la correcta planificación y programación del trabajo conduce a incrementar la disponibilidad y reducir los costos, lo que se traduce en una mayor eficiencia y una gestión proactiva del mantenimiento.

Asimismo, la sistematización de la información juega un papel importante en la organización de los datos de la empresa, ya que permite tener un control más preciso de las actividades realizadas en cada máquina o equipo, creando un historial que facilita el análisis y la identificación de labores para mejorar los procesos.

Con lo anterior, se propone el diseño de formatos de mantenimiento para los montacargas y los minicargadores en el cual se incluya un orden de trabajo con la descripción de la o las actividades de mantenimiento a realizar, los materiales, la herramienta, el tiempo y otros datos relevantes para la correcta ejecución del mantenimiento (ver Tabla 3).

Tabla 3. Formato orden de trabajo mantenimiento preventivo

Plan de mantenimiento preventivo- Orden de trabajo			
Datos generales del equipo			
Tipo:		Código:	
Serie:		Marca:	
Prioridad			
Urgente	Moderado	Prioritario	Normal
Sistema a intervenir			
Mecánico			
Hidráulico			
Eléctrico			
Otro			
Materiales necesarios			
Cantidad		Tipo	
Tiempo de mantenimiento			
Fecha y hora de inicio:		Fecha y hora finalización:	

Cada máquina debe tener una Hoja de vida de equipos donde se registre el historial de las fallas y actividades que se han realizado en cada equipo, al tener previa información de dichas actividades se pueden realizar ajustes o realizar mejoramientos en los procesos para reducir actividades de mantenimiento por la misma causa. El formato se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Hoja de vida equipos

Plan de mantenimiento preventivo- Hoja de vida equipos							
Datos generales del equipo							
Tipo:				Código:			
Serie:				Marca:			
Historial de reparaciones							
Fecha	Tipo de mantenimiento	Downtime	Materiales	Mano de obra	Uptime	Costo mano de obra	Costo material

Para dar cumplimiento al segundo objetivo del presente trabajo, sobre la gestión oportuna de repuestos, se presenta un formato de Solicitud de repuestos. Este formato está diseñado para brindar un control total sobre el préstamo y entrega de herramientas y posibles repuestos para las actividades de mantenimiento por parte del personal capacitado que los necesite. El formato debe incluir el equipo en el que se utiliza. Se realizará el mantenimiento, fecha, tipo, cantidad y última firma del destinatario de las herramientas y/o repuestos. El formato se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5. Gestión de repuestos

Plan de mantenimiento preventivo- Hoja de vida equipos						
Datos generales del equipo						
Tipo:				Código:		
Serie:				Marca:		
Solicitud de repuestos						
Número de orden de trabajo:						
Número de solicitud:						
Repuestos y materiales a solicitar						
Item	Cantidad	Tipo	Marca	Referencia	Valor	Total

4.2.2. Mantenimiento preventivo por sistema L.E.M

U El Sistema L.E.M. se basa en la idea de que una buena gestión del mantenimiento preventivo puede mejorar la eficiencia y la vida útil de los equipos, minimizando los tiempos de parada no planificada y reduciendo los costos de reparación.

La administración del sistema se simplifica mediante la elaboración de fichas técnicas por equipo, en las que se registran todos los datos técnicos relevantes, así como los detalles de las tareas de mantenimiento que deben realizarse de manera regular. Estas fichas técnicas se utilizan como base para crear los programas semanales de trabajo, que se revisan y programan con una periodicidad semestral o anual.

El sistema también se enfoca en la organización de las labores de mantenimiento, dividiéndolas en tres grupos principales: Lubricación, Mantenimiento Eléctrico y Electrónico, y Mantenimiento Mecánico. Cada uno de estos grupos tiene sus propias tareas y actividades específicas, basadas en un análisis detallado de los equipos, sus componentes y su funcionamiento. Los fabricantes también proporcionan recomendaciones sobre lubricación y frecuencia de revisión, que se tienen en cuenta en la elaboración de los programas de trabajo.

La idea principal detrás del Sistema L.E.M. es proporcionar servicios oportunos y adecuados a los equipos, de manera que se minimicen los fallos y se optimice el funcionamiento general de la planta. La fácil administración, organización y comprensión del sistema son clave para facilitar su implementación y asegurar su eficacia en las empresas.

4.2.3. Uso de tecnologías de diagnóstico

El avance tecnológico ha revolucionado la manera en que se aborda el mantenimiento. La introducción de tecnologías avanzadas, como sensores y sistemas de Internet de las cosas (IoT), ha permitido no solo monitorear el estado de los equipos, sino también predecir posibles fallas a partir del análisis de patrones y tendencias.

Esta capacidad es crucial para adelantarse a las necesidades del equipo al identificar problemas potenciales, lo que permite programar intervenciones en momentos menos perturbadores para la empresa. Así se garantiza la continuidad del servicio y se minimiza el tiempo de inactividad.

4.2.4. Indicadores de gestión de mantenimiento

La fase 4 de la metodología implementada de las 5Q's implica el cálculo de algunos indicadores de gestión de mantenimiento que permitan cuantificar la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los equipos. Para lo anterior, y teniendo en cuenta que en la empresa no cuentan con información detallada sobre mantenimientos preventivos realizados a los equipos, sino más bien, correctivos, se elaboraron las siguientes tablas para la correcta disposición de la información necesaria para el cálculo de los KPIs, los cuales pueden ser cuantificados utilizando las ecuaciones descritas en el capítulo 3, sección 3.5. del presente documento y hojas de cálculo de Microsoft Excel.

Datos del equipo

Tipo	Montacargas	Serie	H80D-396-03
Marca	Linde	Código	L1

Cálculo de indicadores de mantenimiento

Mes	Horas de operación [h]	Número de fallas detectadas	Tiempo total de fallas [h]	Disponibilidad	Confiabilidad	Mantenibilidad
Marzo	287	1	24	0,9228	0,3679	0,9999
Abril	426	0	0	1	1	NA
Mayo	537	0	0	1	1	NA
Junio	278	0	0	1	1	NA
Julio	204	0	0	1	1	NA
Agosto	349	0	0	1	1	NA
Septiembre	557	0	0	1	1	NA
Octubre	398	0	0	1	1	NA

*Confirmar zumbador

Datos del equipo

Tipo	Montacargas	Serie	H80D-396-03
Marca	Linde	Código	L2

Cálculo de indicadores de mantenimiento

Mes	Horas de operación [h]	Número de fallas detectadas	Tiempo total de fallas [h]	Disponibilidad	Confiabilidad	Mantenibilidad
Marzo	434	0	0	1	1	NA
Abril	278	0	0	1	1	NA
Mayo	292	0	0	1	1	NA
Junio	338	0	0	1	1	NA
Julio	364	0	0	1	1	NA
Agosto	325	0	0	1	1	NA
Septiembre	284	0	0	1	1	NA
Octubre	311	0	0	1	1	NA

Datos del equipo

Tipo	Montacargas	Serie	H80D-396-03
Marca	Linde	Código	L3

Cálculo de indicadores de mantenimiento

Mes	Horas de operación [h]	Número de fallas detectadas	Tiempo total de fallas [h]	Disponibilidad	Confiabilidad	Mantenibilidad
Marzo	45	0	0	1	1	NA
Abril	197	1	72	0,7323	0,3679	0,9352
Mayo	153	0	0	1	1	NA
Junio	0	0	0	NA	NA	NA
Julio	209	0	0	1	1	NA
Agosto	506	1	192	0,7249	0,3679	0,9283
Septiembre	171	0	0	1	1	NA
Octubre	329	0	0	1	1	NA

*Daño rin

**Llanta y mantenimiento, cilindro dirección

Datos del equipo

Tipo	Montacargas	Serie	H80D-396-03
Marca	Linde	Código	L4

Cálculo de indicadores de mantenimiento

Mes	Horas de operación [h]	Número de fallas detectadas	Tiempo total de fallas [h]	Disponibilidad	Confiabilidad	Mantenibilidad
Marzo	489	0	0	1	1	NA
Abril	233	0	0	1	1	NA
Mayo	443	0	0	1	1	NA
Junio	446	0	0	1	1	NA
Julio	258	2	144	0,6418	0,1353	0,8333
Agosto	75	0	0	1	1	NA
Septiembre	92	1	80	0,5349	0,3679	0,6833
Octubre	0	0	0	NA	NA	NA

*Sin rin y ruido de ventilador

**Base del ventilador partida

Datos del equipo

Tipo	Montacargas	Serie	H80D-396-03
Marca	Linde	Código	L5

Cálculo de indicadores de mantenimiento

Mes	Horas de operación [h]	Número de fallas detectadas	Tiempo total de fallas [h]	Disponibilidad	Confiabilidad	Mantenibilidad
Marzo	294	0	0	1	1	NA
Abril	309	0	0	1	1	NA
Mayo	225	1	48	0,8242	0,3679	0,9908
Junio	388	0	0	1	1	NA
Julio	540	1	72	0,8824	0,3679	0,9994
Agosto	232	0	0	1	1	NA
Septiembre	465	1	24	0,9509	0,3679	1
Octubre	95	0	0	1	1	NA

*Falla confirmar zumbador

**Fuga de aceite

***Fuga de aceite manguera

Para el cálculo de los indicadores de gestión y planeación se plantea un formato de recolección de información mensual; puesto que la empresa aún no cuenta con dichos datos. Posteriormente a la recolección de la información, el cálculo se realiza en Microsoft Excel.

Cálculo de indicadores de gestión y planeación

Variable/mes	1	2	3	4	5	6	Horas de mantenimiento %	Costo de mantenimiento %	Trabajos terminados %
Horas de mantenimiento planeado [h]									
Horas de mantenimiento real [h]									
Costo total de mantenimiento planeado [\$]									
Costo total de mantenimiento real [\$]									
Número de trabajos programados									
Número de trabajos realizados									

Con respecto al cálculo de indicadores de mantenimiento, gestión y planeación de los minicargadores, se emplean los mismos formatos presentados para los montacargas; sin embargo, como no se cuenta con la información requerida para realizar el cálculo, las tablas se dejan indicadas a continuación.

Datos del equipo

Tipo	Minicargador	Serie	S185
Marca	BOBCAT	Código	BOBCAT

Cálculo de indicadores de mantenimiento

Mes/Variable	Horas de operación [h]	Número de fallas detectadas	Tiempo total de fallas [h]
01			
02			
03			
04			
05			
06			

Datos del equipo

Tipo	Minicargador	Serie	236D
Marca	CATERPILLAR	Código	CAT

Cálculo de indicadores de mantenimiento

Mes/Variable	Horas de operación [h]	Número de fallas detectadas	Tiempo total de fallas [h]
01			
02			
03			
04			
05			
06			

4.3. Plan de Mantenimiento Preventivo incluyendo cronogramas preventivos, actividades de lubricación, eléctricas y mecánicas y fichas técnicas de los equipos según la metodología 5QS

Continuando con la metodología de las 5Qs y aplicando el plan de mantenimiento L.E.M, se le asigna a cada equipo un programa de mantenimiento preventivo que se encargará de realizar tareas de lubricación, monitoreo de equipos para prevenir posibles fallos, y una adecuada planificación, organización, ejecución y evaluación para asegurar un mantenimiento eficiente. La implementación meticulosa de este plan garantizará un funcionamiento óptimo y una mayor durabilidad de los equipos.

4.3.1. Actividades de lubricación

Realizar un mantenimiento adecuado y regular de la maquinaria y equipos es de suma importancia, ya que de lo contrario podría resultar en interrupciones innecesarias en el área de producción. Se aconseja a la compañía que adquiera herramientas y equipos específicos, como inyectoras manuales, aceiteras manuales, mangueras para aire de alta presión, compresores industriales y un inyector neumático, con el fin de llevar a cabo una lubricación correcta y eficiente.

Tabla 6. Actividades de lubricación

ACTIVIDAD	CÓDIGO	FRECUENCIA
Cambio de aceite	L01	Semestral
Revisión de nivel de aceite	L02	Diario
Revisión Fugas de aceite	L03	Diario
Lubricación del motor	L07	Trimestral
Engrase y lubricación moto reductor	L08	Trimestral
Engrase de muela móvil	L09	Semanal
Engrase de muela fija	L10	Semanal
Engrase de volantes	L11	Semanal
Engrase de chumaceras	L12	Cada 2 días
Engrase eje de zarandas	L13	Semanal
Lubricación de rodillos	L14	Mensual
Lubricación de cadenas	L15	Semanal
Lubricación de poleas	L16	Mensual
Engrase de crucetas	L17	Semanal
Engrase de splinder	L18	Semanal
Engrase de pasadores	L19	Semanal
Engrase de terminales de dirección	L20	Semanal
Engrase de candados y ejes	L21	Semanal
Engrase de punta de cardan	L22	Semanal
Engrase de caja de dirección	L23	Mensual

4.3.2. Actividades eléctricas

El mantenimiento es crucial debido a que una avería en la electricidad puede causar peligros en el trabajo y retrasos inesperados en la producción. Se aconseja a la empresa invertir en herramientas y equipos apropiados, como un multímetro, una pinza amperimétrica y las herramientas manuales necesarias para realizar un mantenimiento adecuado. Es fundamental que el personal encargado cuente con los elementos de seguridad adecuados para llevar a cabo esta actividad.

Tabla 7. Actividades eléctricas

ACTIVIDAD	CÓDIGO	FRECUENCIA
Revisión, ajuste y/o cambio de conexiones eléctricas	E01	Diario/Semestral
Revisión de voltaje y amperaje	E02	Semanal
Revisión tableros de control	E03	Diario
Revisión motores eléctricos	E04	Mensual
Revisión moto reductores	E05	Mensual
Revisión del estado de los cables y general	E06	Mensual
Limpieza, secado del inducido.	E07	Semestral
Revisión eléctrica y control de la tacométrica.	E08	Trimestral
Controlar flujo de alimentación	E09	Semanal
Revisión de bornes de batería	E10	Semanal


4.3.3. Actividades mecánicas


Es fundamental realizar regularmente este mantenimiento en la maquinaria y equipos, ya que si no se lleva a cabo con la frecuencia adecuada puede provocar interrupciones innecesarias en la producción. Es recomendable que la empresa adquiera las herramientas y equipos apropiados, como herramientas de mano, extractor manual, extractor hidráulico y prensa hidráulica, para garantizar un correcto desempeño en las tareas de mecánica.


Tabla 8. Actividades mecánicas

ACTIVIDAD	CÓDIGO	FRECUENCIA
Ajustes y alineación de partes móviles	M01	Semestral
Revisión y verificación de engranes	M02	Mensual
Cambio de engranes	M03	Anual
Revisión del nivel del refrigerante	M04	Semanal
Inspección de bandas, correas y poleas	M05	Mensual
Cambio de bandas, correas y poleas	M06	Anual
Limpieza rejillas del motor	M07	Mensual
Inspección visual de posibles daños y/o verificación del Estado de la máquina.	M08	Diario
Revisión, verificación de rodamientos y chumaceras.	M09	Mensual
Cambio de rodamientos y chumaceras.	M10	Anual
Revisión general de máquinas	M11	Mensual
Ajuste general de máquinas	M12	Semestral
Revisión de la cadena	M13	Mensual
Tensión de la cadena	M14	Semestral
Cambio de cadena	M15	Anual
Revisión tuberías y mangueras del sistema hidráulico	M16	Mensual
Revisión filtro de aceite	M17	Mensual
Cambio filtro de aceite	M18	Semestral
Mantenimiento general (Ajustes y/o cambio de piezas de ser necesario)	M19	Semestral
Revisión, verificación de estructura	M20	Semestral
Cambio de estructura	M21	Cada 24 meses
Revisión, verificación de zarandas	M22	Mensual
Cambio de zarandas	M23	Anual
Revisión, verificación y/o cambio de mallas	M24	Mensual
Cambio de mallas	M25	Anual
Revisión, verificación de ejes	M26	Mensual
Cambio de ejes	M27	Anual
Revisión, verificación visual de tornillos, pernos y tuercas.	M28	Semanal
Cambio de tornillos, pernos y tuercas.	M29	Semestral
Revisión de pasadores de piezas móviles	M30	Mensual
Revisión del sistema de enfriamiento	M31	Mensual
Tensión de la banda y poleas	M32	Semestral
Alineación poleas, correas y motor	M33	Semestral
Mantenimiento ductos de paso de material	M34	Semestral
Verificar presión de aire en las llantas	M35	Semanal
Verificar el estado de las llantas	M36	Mensual
Verificar estado de crucetas	M37	Mensual

Finalmente, en la última fase de la metodología se presentan las fichas técnicas de los equipos del área de empaque de la empresa Cemex- Caracolito con la recopilación de la información más detallada en varios aspectos tales como los técnicos, mecánicos y operativos. Los formatos para los montacargas y minicargadores se presentan a continuación.

Plan de mantenimiento preventivo			
Ficha técnica			
Datos generales del equipo			
			
Tipo: Montacargas		Marca: Linde	
Serie: H80D-396-03		Jornada laboral: 18-20 h	
Datos del fabricante			
Nombre:	Documento:	Teléfono:	Email:
Características generales			
Motor: Deutz diésel		Capacidad máx. de elevación: 8 Tn. a 600 mm	
Refrigerante: Agua		Alcance de altura: 5,452 m	
Potencia: 74.9 kW		Altura recogida: 2,803 m	
Transmisión: Hidrostática automática		Tipo mástil: TRIPLEX	
Lubricantes			
Parte	Tipo		
Lubricante hidráulico	ISO-L-68 O ISO 6743		
Lubricante motor	15w-40		
Lubricante de transmisión	SAE 80W-90		
Reductores	NA		
Graseras	Grasa de Litio		
Repuestos en stock			
Kit servicio 1000 motor, Kit servicio 3000 hidráulico, Kit servicio 3000 motor, Kit de reparación dirección conjunto 5.000hr, Kit servicio 6000 motor			

Plan de mantenimiento preventivo			
Ficha técnica			
Datos generales del equipo			
			
Tipo: Minicargador		Marca: Caterpillar	
Serie: 236D		Jornada laboral: 12 h	
Datos del fabricante			
Nombre:	Documento:	Teléfono:	Email:
Características generales			
Tipo de motor: Carburante diésel		Dimensiones	
Refrigerante: Agua		Altura: 3863 mm	
Potencia: 45.6 kW		Ancho: 2001 mm	
Peso operativo: 2635 kg		Largo: 3309 mm	
Especificaciones de la máquina			
Carga nominal: 839 kg			
Carga de vuelco: 1769 kg			
Capacidad de la bomba: 63 L/min			
Velocidad máxima de desplazamiento: 11,3 km/h			
Lubricantes			
Parte	Tipo		
Lubricante hidráulico	ISO-L-68		
Lubricante motor	15w-40		
Lubricante de transmisión	SAE 30		
Reductores	SAE 50		
Graseras	Grasa de litio		
Repuestos en stock			
Filtro de aire, filtro de aceite, filtro de combustible			

Plan de mantenimiento preventivo			
Ficha técnica			
Datos generales del equipo			
			
Tipo: Minicargador		Marca: Bobcat	
Serie: S185		Jornada laboral: 12 h	
Datos del fabricante			
Nombre:	Documento:	Teléfono:	Email:
Características generales			
Tipo de motor: Carburante diésel		Dimensiones	
Refrigerante: Agua		Altura: 3862 mm	
Potencia: 43.3 kW		Ancho: 1676 mm	
Peso operativo: 2821 kg		Largo: 3309 mm	
Especificaciones de la máquina			
Carga nominal: 924 kg			
Carga de vuelco: 1849 kg			
Capacidad de la bomba: 100 L/min			
Velocidad máxima de desplazamiento: 17,9 km/h			
Lubricantes			
Parte	Tipo		
Lubricante hidráulico	ISO-L-68		
Lubricante motor	15w-40		
Lubricante de transmisión	SAE 30		
Reductores	SAE 50		
Graseras	Grasa de litio		
Repuestos en stock			
Filtro de aire, filtro de aceite, filtro de combustible			

Conclusiones

- El diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología 5Q's para los equipos del área de empaque de la empresa Cemex- Caracolito, permite minimizar los tiempos muertos y paradas innecesarias en el proceso, se destaca la importancia de llevar un orden de trabajo, una hoja de vida de cada equipo con el historial de fallas y un registro de los tiempos productivos y de parada para calcular indicadores de gestión de mantenimiento que permitan cuantificar el desempeño de las máquinas y la efectividad del mantenimiento.
- Según el diagnóstico de estado actual de los equipos del área de empaque de la empresa Cemex Caracolito, se cuenta con 5 montacargas marca Linde, de los cuales 4 operan jornadas de 18 a 20 horas diarias, y uno se reserva para mantenimientos correctivos o emergencias aleatorias. Se cuenta además con 2 minicargadores, uno marca Bobcat y otro Caterpillar, los cuales funcionan en paralelo jornadas de 10 a 12 horas diarias.
- Se propuso un plan estratégico de mantenimiento preventiva basado en la metodología L.E.M, las cuales contemplan actividades de lubricación, mecánicas y eléctricas para equipo. Además, se realizaron formatos que incluyen la programación periódica de inspecciones, la gestión de piezas de repuestos y la recolección de información importante para el cálculo de los indicadores como número de fallas, tiempos muertos, tiempo de operación, costos de mantenimiento previstos y reales.
- La elaboración de las fichas técnicas de los equipos se llevó a cabo mediante la revisión de los manuales de cada equipo y la información suministrada en la empresa. Se tuvieron en cuenta los datos generales de cada equipo, codificación, sus características físicas, tipo de motor, sistema hidráulico, mecánico, eléctrico y repuestos en stock.

Recomendaciones

- Se recomienda un comité de mantenimiento integrado por un ingeniero mecánico, un técnico de mantenimiento industrial y tres mecánicos industriales y automotrices. La tarea principal es esforzarse por mejorar el programa de mantenimiento realizando ajustes en reuniones diarias, semanales, mensuales y revisiones anuales.
- Se propone a la empresa Cemex- Caracolito, gestionar con un plazo de 3 a 6 meses los repuestos críticos para mantener el stock de repuestos necesarios para los mantenimientos; ya que muchos de éstos deben ser importados y su retraso afecta directamente los planes de mantenimiento y los tiempos de producción.
- Proporcionar a los empleados formación continua sobre mantenimiento, mediciones e inspecciones, utilizar herramientas de mantenimiento predictivo para identificar los daños que puedan producirse en el corto y medio plazo y utilizar elementos de seguridad adecuados para cada actividad de mantenimiento garantiza un buen mantenimiento.
- Crear un mantenimiento preventivo en el sistema SAP para sistematizar la información y llevar el control de los mantenimientos de cada equipo.

Anexos

Anexo 1.

Tabla 9. Repuestos preventivos Montacargas 50.000 h

LINDE H80D - 396 DIESEL					
Tipo	Ref	Descripcion	Cantidad	Valor	Total antes de IVA
Aceite	89MQ	Aceite motor 15W40	4	\$ 88.963	\$ 355.852
Insumo	71-1	GRASA GRAFITO	3	\$ 32.090	\$ 32.090
Insumo	1065	GRASA LIQUIDA	3	\$ 107.118	\$ 107.118
Insumo	0-11	Lubricante de cadenas	1	\$ 43.269	\$ 43.269
Insumo	-2-S	Silicona	1	\$ 11.200	\$ 11.200
Insumo	PALL	Paño limpiador	1	\$ 63.710	\$ 63.710
Insumo	-2-F	Limpiador desengrasante	1	\$ 8.019	\$ 8.019
Aceite	89MQ	Aceite en filtro de aire 15W40	1	\$ 88.963	\$ 88.963
Repuesto	1671	Filtro aceite motor (LDZ02931094)	1	\$ 232.050	\$ 232.050
Repuesto	1698	Filtro de combustibe (LDZ01182671)	2	\$ 472.030	\$ 944.060
Repuesto	1722	Pre filtro de combustible (LDZ04504438)	1	\$ 668.980	\$ 668.980
Repuesto	9008	Filtro de aire externo	1	\$ 497.194	\$ 497.194
Repuesto	0016	Kit servicio 1000 motor	1	\$ 2.783.876	\$ 2.783.876
Aceite	60MQ	Aceite de planetarios - transmisión 80W90	1	\$ 92.914	\$ 92.914
Repuesto	0048	Kit servicio 3000 hidraulico	1	\$ 3.161.860	\$ 3.161.860
Repuesto	029	Kit servicio 3000 motor	1	\$ 429.548	\$ 429.548
Insumo	150V	Refrigerante	4	\$ 129.123	\$ 516.492

Repuesto	1689	Filtro Húmedo de aire	1	\$ 2.084.672	\$ 2.084.672
Repuesto	0724	Correa del compresor	1	\$ 430.259	\$ 430.259
Aceite	76MQ	Aceite Hidraulico NUTO 68	30	\$ 79.127	\$ 2.373.810
Repuesto	0055	Kit servicio 6000 motor	1	\$ 6.012.240	\$ 6.012.240
Repuesto	9000	Kit de reparación dirección conjunto 5.000hr	1	\$ 4.956.510	\$ 4.956.510

Anexo 2.

Tabla 10. Preguntas para análisis de criticidad

CATEGORÍA	MEDIO AMBIENTE
A	Si un fallo del mismo puede provocar que la empresa tenga que recurrir a dar aviso a las autoridades públicas por problemas que pudiesen afectar a la salud de las personas y el medio ambiente (por ejemplo: una fuga de algún químico)
B	Si un fallo del mismo provocase una contaminación o afección que pudiese gestionarse en el interior de la empresa (por ejemplo: una fuga de hidrato de sodio, la cual puede ser controlada con agua a presión).
C	Si un fallo del mismo no produjese ningún tipo de contaminación ambiental.
	SEGURIDAD
A	Serán aquellos cuyos fallos puedan producir accidentes que provocan absentismo laboral temporal o permanente en el lugar de trabajo.
B	Fallos que podrían causar daños menores a la gente en el trabajo, no producen ausencia en el trabajo.
C	Son fallos que no pueden crear consecuencias relacionadas con la seguridad de las personas.
	CALIDAD
A	Pueden producir un impacto externo o una imagen muy negativa de la compañía en el mercado afectando el producto final de producción y la calidad entregada a los clientes.
B	Se presente un fallo, pero esto solo producen una consecuencia interna en la producción y puede ser manejada.
C	Si fallan no se ocasiona ningún impacto.
	TIEMPO DE TRABAJO
A	En esta categoría estarán los equipos que tengan 3 turnos seguidos
B	En esta categoría estarán los equipos que tengan 2 turnos seguidos
C	En esta categoría estarán los equipos que tengan 1 turnos seguidos
	ENTREGA
A	Son los que producen un paro en toda la fábrica cuando fallan.
B	Pueden dejar solo una línea de producción parada al fallar.
C	Son los que no producen ninguna interrupción significativa en la producción.
	FIABILIDAD
A	Son los elementos que su frecuencia de falla es menor a 5 horas.
B	Son los elementos que su frecuencia de falla es mayor a 5 horas y menor a 10 horas.
C	Son los elementos que su frecuencia de falla es mayor a 10 horas.
	MANTENIBILIDAD
A	Son los elementos que requieren un tiempo de reparación superior a 120 minutos.
B	Son los elementos que requieren un tiempo de reparación mayor a 60 minutos y menor a 120 minutos.
C	Son los elementos que requieren un tiempo de reparación menor a 60 minutos.

Anexo 3.

Tabla 11. Tabla de costos mantenimiento minicargador BOBCAT S185

DESCRIPCION	TIPO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ACEITE MOTOR 15W-40	ACEITE	9.5L	\$35.000	\$350.000
FILTRO DE AIRE EXTERNO	REPUESTO	1	\$115.000	\$115.000
FILTRO HUMEDO DE AIRE	REPUESTO	1	\$130.000	\$130.000
FILTRO DE ACEITE HIDROSTATICO	REPUESTO	1	\$110.000	\$110.000
FILTRO DE ACIETE DE MOTOR	REPUESTO	1	\$150.000	\$150.000
KIT FILTROS DE COMBUSTIBLE	REPUESTO	1	\$220.000	\$220.000
REFIRGERANTE (ANTICONGELANTE)	INSUMO	12 L	\$20.000	\$240.000
ACEITE HIDRAULICO	ACEITE	34L	\$25.000	\$850.000
ACEITE DE CADENA	ACEITE	30L	\$30.000	\$900.000
GRASA DE LITIO	INSUMO	4LB	\$25.000	\$100.000
			TOTAL	\$3.165.000

Anexo 4.

Tabla 12. Costos de mantenimiento minicargador Caterpillar

DESCRIPCION	TIPO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ACEITE MOTOR 15W-40	ACEITE	11 L	\$35.000	\$370.000
FILTRO DE AIRE EXTERNO	REPUESTO	1	\$130.000	\$130.000
FILTRO HUMEDO DE AIRE	REPUESTO	1	\$150.000	\$150.000
FILTRO DE ACEITE HIDROSTATICO	REPUESTO	1	\$130.000	\$130.000
FILTRO DE ACIETE DE MOTOR	REPUESTO	1	\$168.000	\$168.000
KIT FILTROS DE COMBUSTIBLE	REPUESTO	1	\$300.000	\$300.000
REFIRGERANTE (ANTICONGELANTE)	INSUMO	14L	\$20.000	\$280.000
ACEITE HIDRAULICO	ACEITE	39L	\$30.000	\$1.170.000
ACEITE DE CADENA	ACEITE	20 L	\$22.500	\$450.000
GRASA DE LITIO	INSUMO	4LB	\$25.000	\$100.000
			TOTAL	\$3.248.000

Referencias

- ANDALTURAS. (11 de 10 de 2023). *Plataformas elevadoras y brazos articulados*. Obtenido de <https://andalturas.com/plataformas-elevadoras/>
- Bancolombia. (30 de 09 de 2021). Consumo de materiales de construcción continúa creciendo. Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de <https://www.bancolombia.com/empresas/capital-inteligente/actualidad-economica-sectorial/sector-cemento/sector-construccion-colombia-julio-2021>
- Bravo, H. J., & Castro, L. C. (2012). *PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA INSER SAS*. Cartagena: Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Cemex. (10 de 10 de 2023). Conoce a Cemex. Monterrey. Obtenido de <https://www.cemex.com/es/acerca-de-cemex>
- Flores, A., Pérez, S., & Carballo, B. (Marzo de 2017). Sistema de ayuda a la gestión del mantenimiento de maquinaria y vehículos en un distrito de riego. *Revista de la Invención Técnica*, 1(1), 42-54.
- García-Monsalve, G., González-S., H., & Cortés-M. (2009). Metodología de mantenimiento con posible aplicación en el sector agroindustrial. *Revista CES medicina veterinaria y zootecnia*, 137-150.
- Garrido, S. G. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- González, J. P., & Andrade, J. (2021). *Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en la Metodología 5qs para los Equipos y Maquinaria de la Planta de Trituración Esgamo S.A.S*. Ibagué: Universidad Antonio Nariño.
- Hernández de la Espriella, O. (2010). *Plan de mantenimiento preventivo de los montacargas seatech international inc*. Cartagena: Universidad Tecnológica de Bolívar.
- KOMATSU. (10 de 04 de 2022). Mantenimiento preventivo de maquinaria pesada: La importancia de efectuarlo con Komatsu. Colombia. Obtenido de <https://www.komatsulatinoamerica.com/colombia/mantenimiento-preventivo-maquinaria-pesada/>
- Kubobcat. (2008). *Especificaciones técnicas S130*. Obtenido de <https://kubobcat.com/wp-content/uploads/2016/05/minicargador-bobcat-s130.pdf>

Linde. (2020). *Linde Material Handling*. Obtenido de <https://www.linde-mh.es/es/Acerca-de-Linde/Linde-Material-Handling/>

Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control*. México D.F: Alfaomega.

Parra, C., & Crespo, A. (2019). *Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos*. Sevilla: Ingeman. doi:10.13140/RG.2.2.21197.87524

Rodríguez, J. (2008). *Gestión del Mantenimiento: Introducción a la Teoría del Mantenimiento*. México D.C: Pearson Prentice Hall.

Torres, J. C. (2012). CEMEX: Diagrama de Flujo. Colombia. Obtenido de <https://prezi.com/a7ol10gimoke/cemex-diagrama-de-flujo/>