

Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos elevadores hidráulicos
vehiculares de dos columnas del taller autorizado de Distribuidora Nissan de la ciudad de

Bucaramanga

Santiago Toro Arredondo

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Ingeniería automotriz

Director

Ph.D. Jorge Luis Chacón Velazco

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Ingeniería automotriz

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Quiero hacer una mención especial a mis padres, familiares en general y a mi actual pareja, los cuales me han acompañado y apoyado en todos los procesos y proyectos que he vivido y por los cuales ingresé a este programa buscando cumplir un sueño, a mis compañeros de posgrado quienes también representaron un apoyo y motivación especial en este proceso, fue un privilegio haber compartido espacios académicos con ellos.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Descripción del Proyecto	12
2. Objetivos	13
2.1 Objetivos Generales	13
2.2 Objetivos Específicos:.....	13
3. Justificación del Plan Propuesto.....	14
4. Análisis de la literatura recopilada	15
4.1 Marco Teórico	15
4.1.1 Mantenimiento.....	15
4.1.2 Mantenimiento Preventivo	17
4.1.3 Mantenimiento Programado.....	17
4.1.4 Mantenimiento Correctivo	17
4.1.5 Mantenimiento Predictivo	17
4.1.6 Elevador Hidráulico De Dos Columnas	18
4.2 Marco Conceptual	20
4.2.1 Registro Fotográfico.....	22
4.2.2 Planteamiento del Plan de Mantenimiento Preventivo.....	25
4.2.2.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).	25
4.2.2.2 Matriz de criticidad de los equipos.	31
4.2.2.3 Matriz FMECA.	35

4.2.2.4 Cálculo de NPR.....	39
4.2.2.5 Diagrama de decisiones RCM.....	43
5. Diseño del Plan de Mantenimiento Preventivo.....	45
6. Proyección del Presupuesto en la Implementación del Plan de Mantenimiento Preventivo.....	50
7. Conclusiones	56
Referencias Bibliográficas.....	57

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Detalle de áreas de trabajo de taller autorizado de Distribuidora Nissan.....	21
Tabla 2 Consecuencia de un fallo funcional	33
Tabla 3 Probabilidad de ocurrencia de una falla funcional	33
Tabla 4 Criticidad de los equipos.....	34
Tabla 5 Criticidad de equipos elevadores hidráulicos de dos columnas	35
Tabla 6 Datos técnicos de los equipos elevadores hidráulicos de dos columnas	37
Tabla 7 Matriz FMECA de elevadores hidráulicos de dos columnas	38
Tabla 8 Cálculo de NPR para las fallas funcionales	42
Tabla 9 Riesgo obtenido del cálculo del NPR.....	42
Tabla 10 Diseño del Plan de Mantenimiento Preventivo	46
Tabla 11 Proyección de presupuesto del Plan de Mantenimiento Preventivo	51

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Referencia primer elevador hidráulico automotriz	19
Figura 2 Distribución de taller Autorizado Distribuidora Nissan	21
Figura 3 Fotografía panorámica del taller autorizado paralelo a la entrada y conexión con vitrina de área comercial.....	22
Figura 4 Elevador hidráulico tipo tijera	23
Figura 5 Elevadores tipo plataforma	24
Figura 6 Patrón de fallas en la vida útil de un equipo “Curva de la bañera”. Fuente: (Moubray, 1991)	29
Figura 7 Diagrama de flujo en la implementación de RCM y matriz FMECA	36
Figura 8 5 pasos en la implementación de la matriz FMECA	36
Figura 9 Probabilidad de ocurrencia de la falla.....	40
Figura 10 Detección de la falla funcional	41
Figura 11 Severidad de la falla funcional.....	41
Figura 12 Diagrama de decisiones RCM	44

Lista de Apéndices

Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional

Apéndice A. Estudio de criticidad de equipos elevadores hidráulicos automotrices de dos columnas

Apéndice B. Identificación de datos técnicos de los equipos elevadores hidráulicos de dos columnas y sus modos de falla

Apéndice C. Plan de mantenimiento equipos elevadores hidráulicos automotrices de dos columnas

Apéndice D. Proyección presupuesto Plan de Mantenimiento elevadores hidráulicos automotrices de dos columnas

Glosario

Alineación automotriz: se refiere a la operación mediante la cual se ajusta la geometría de la suspensión y de la dirección, con el fin de asegurar la comodidad y la seguridad durante la conducción.

Balaceo automotriz: es una operación que consiste en colocar pequeñas pesas en sitios específicos del rin de un automóvil con el fin de distribuir el peso uniformemente en todo el conjunto llanta y rin.

Bomba Hidráulica: máquina o artefacto para impulsar agua u otro líquida en una dirección determinada.

Émbolo: pieza que se mueve alternativamente en el interior de un cilindro de una máquina para comprimir un fluido o recibir de él movimiento.

Hidráulica: rama de la física que estudia el equilibrio y movimiento de los fluidos

KPI's: en inglés “Key Performance indicators”, esto se traduce como “indicadores claves de desempeño” y se utilizan para medir el éxito de una actividad y permiten identificar las oportunidades de mejora en la misma.

Presión: magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie y cuya unidad en el sistema internacional es el pascal.

Válvula: mecanismo que regula el flujo de la comunicación entre dos partes de una máquina o sistema.

Volumen: magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones (largo, ancho y alto) y su unidad en el sistema internacional es el metro cúbico.

Resumen

Título: Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos elevadores hidráulicos vehiculares de dos columnas del taller autorizado de Distribuidora Nissan de la ciudad de Bucaramanga*.

Autor: Santiago Toro Arredondo**

Palabras Clave: Hidráulica, émbolo, presión, volumen, mantenimiento

Descripción:

En esta monografía, se diseña un plan de mantenimiento preventivo para los equipos elevadores hidráulicos de dos columnas del taller autorizado de la empresa Distribuidora Nissan de la ciudad de Bucaramanga, debido a la importancia que tienen estos equipos en el desarrollo de actividades de mantenimiento automotriz en esta empresa, además porque representan un riesgo considerable en materia de seguridad para el personal operativo. De igual manera contar con un plan de mantenimiento preventivo es un requisito para poder dar cumplimiento a la normativa actual como es el caso de la norma técnica Colombiana NTC-EN 1493:2022 y poder sustentar demás procesos de auditorías que puedan ser llevados a cabo alrededor de la operación de estos equipos. En esta monografía se plasman además los posibles modos de falla que pueden llegar a tener los mecanismos o puntos de estos equipos y de esta manera poder construir un plan de mantenimiento que cumpla tanto con la normativa mencionada, como con la actual operación que se lleva a cabo en dicho taller y los cuales son fácilmente replicables a muchos talleres que en la actualidad utilizan este tipo de elevadores para sus labores de mantenimiento, reparación y servicios automotrices especializados.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Ingeniería automotriz.
Director Ph.D. Jorge Luis Chacón Velazco

Abstract

Title: Design of a preventive maintenance plan for the two-column hydraulic vehicle lifting equipment of the authorized Nissan Distributor workshop in the city of Bucaramanga*.

Author: Santiago Toro Arredondo**

Key Words: Hydraulics, plunger, pressure, volume, maintenance

Description:

In this monograph, a preventive maintenance plan is designed for the two-column hydraulic lifting equipment of the authorized workshop of the Nissan Distributor company in the city of Bucaramanga, due to the importance that these equipment have in the development of automotive maintenance activities in this company, also because they represent a considerable safety risk for operational personnel. Likewise, having a preventive maintenance plan is a requirement to be able to comply with current regulations, such as the Colombian technical standard NTC-EN 1493:2022, and to be able to support other audit processes that may be carried out around of the operation of these equipment. This monograph also reflects the possible failure modes that the mechanisms or points of this equipment may have and in this way a maintenance plan can be constructed that complies with both the aforementioned regulations and the current operation that is carried out. carried out in said workshop and which are easily replicable to many workshops that currently use this type of lifts for their maintenance, repair and specialized automotive services.

* Work the Grade

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Ingeniería automotriz.
Director Ph.D. Jorge Luis Chacón Velazco

Introducción

Actualmente el taller de postventa de Distribuidora Nissan participa en procesos de mantenimiento automotriz, servicios especializados, asesoría técnica y se enfrenta a un gran desafío con sus equipos elevadores tanto hidráulicos como neumáticos, los cuales comprenden variables que pueden ser controladas por el personal operativo en algunos casos, como es el caso del estado general de las unidades, mantenimiento oportuno, condiciones de operación, hábitos de uso y a esto se le suma el deterioro natural del equipo con el paso del tiempo. Sin embargo, es de vital importancia contar con el equipo en óptimos parámetros de funcionamiento, como es el caso de sus niveles hidráulicos, adecuado torque de pernos, adecuada lubricación y garantizar el óptimo funcionamiento de sus seguros ya que esto representa un riesgo para la vida de quienes lo operan, puesto que estos equipos cuentan con características de trabajo pesado y dicho riesgo se eleva aún más en caso de no llevar a cabo una correcta rutina de mantenimientos preventivos. En esta monografía se diseña un plan de mantenimiento preventivo, rutinas de lubricación y actividades autónomas por parte de los operarios, para preservar en las mejores condiciones posibles estos activos, buscando solventar la problemática que actualmente se tiene en este taller en materia de altos costos de mantenimientos correctivos y posibles consecuencias de accidentes, adicionalmente poder cumplir con la normativa actual y con un plan de auditorías correctamente en caso de requerirlo.

1. Descripción del Proyecto

Actualmente el taller de postventa de Distribuidora Nissan participa en procesos de mantenimiento automotriz, servicios especializados, asesoría técnica y se enfrentan a un gran desafío con sus equipos elevadores tanto hidráulicos como neumáticos, los cuales comprenden variables que pueden ser controladas por el personal operativo, como es el caso del estado general de las unidades, mantenimiento preventivo oportuno, condiciones de operación, hábitos de uso y a esto se le suma el deterioro natural del equipo con el paso del tiempo. Sin embargo, es de vital importancia contar con el equipo en óptimos parámetros de funcionamiento, como es el caso de sus niveles hidráulicos, adecuado torque de pernos, adecuada lubricación y garantizar el óptimo funcionamiento de sus seguros ya que esto representa un riesgo para la vida de quienes lo operan, puesto que estos equipos cuentan con características de trabajo pesado y dicho riesgo se eleva aún más en caso de no llevar a cabo una correcta rutina de mantenimientos preventivos. En esta monografía se diseñará un plan de mantenimiento preventivo, rutinas de lubricación y actividades autónomas por parte de los operarios, para preservar en las mejores condiciones posibles estos activos, buscando solventar la problemática que actualmente se tiene en estos talleres en materia de altos costos de mantenimientos correctivos y posibles consecuencias de accidentes, adicionalmente poder cumplir con un plan de auditorías correctamente.

2. Objetivos

2.1 Objetivos Generales

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos elevadores hidráulicos de dos columnas automotrices del taller autorizado de Distribuidora Nissan en la calle 60#27-15 de la ciudad de Bucaramanga, proponiendo una serie de actividades y rutinas orientadas a preservar el estado y óptimo funcionamiento de estos equipos, con el fin de cumplir con el marco legal actual y disminuir el riesgo para el personal operativo.

2.2 Objetivos Específicos:

Realizar un archivo de Excel que contenga las posibles fallas que se presentan en este tipo de elevadores hidráulicos, así como las actividades que se deben hacer de mantenimiento preventivo por sus operarios de forma autónoma y aquellas que se requieren tercerizar, esto con sus frecuencias estipuladas.

Realizar una propuesta de formato de check list en un archivo de Excel para llevar a cabo la validación de las actividades preventivas que deben ejecutar los operarios de estos equipos, esto con el fin de garantizar el cumplimiento del plan en mención.

Realizar una proyección del presupuesto para justificar la implementación del plan de mantenimiento preventivo en el taller autorizado mencionado.

3. Justificación del Plan Propuesto

A medida que evolucionan las sociedades se hace necesario plantearse el interrogante de cómo optimizar procesos con el fin de disminuir costos, impacto medioambiental negativo, desgaste en mano de obra y maquinaria, etc. No es ajeno a esto, que actualmente los equipos de trabajo pesado en las grandes compañías representan un desafío muy grande en materia de mantenimiento y preservación, es por esto, por lo que es fundamental plantear alternativas prácticas, útiles y con una adecuada relación costo-beneficio en pro de disminuir los costos de operación, en el caso puntual de los equipos elevadores hidráulicos que participan en procesos de mantenimiento y servicios especializados automotrices, los cuáles se someten a condiciones de carga y operación de severidad media y en algunos casos alta, como es el caso del taller autorizado de Distribuidora Nissan de la ciudad de Bucaramanga. Por esta razón se decide llevar a cabo este proyecto de monografía, donde se espera plantear recomendaciones de mantenimiento preventivo y poder ofrecer alternativas a este problema, buscando mitigar dichos efectos negativos que actualmente generan pérdidas tanto monetarias como en crecimiento de estas empresas.

4. Análisis de la literatura recopilada

4.1 Marco Teórico

4.1.1 Mantenimiento

Como bien lo afirma la RAE, el mantenimiento es el conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente. (RAE, 2024. Mantenimiento)

El mantenimiento es un área que apoya continuamente la evolución de sistemas de producción modernos, buscando una equilibrada relación costo/beneficio. Su implementación inicia con tareas simples como pedidos, limpieza, rutinas de lubricación y ajustes menores, para luego completar con rutas de inspección y programación de actividades de mantenimiento preventivo, mediciones específicas mediante equipos especializados y sistemas de tomas de datos, todo esto acompañado de asistencia e implementación técnica. Estos procesos de gestión están cada vez más respaldados por las tecnologías de la información y las comunicaciones TIC. (Medrano Márquez et al., 2017)

Las actividades del departamento técnico de una empresa están esencialmente dirigidas a garantizar que el estado real de un equipo se aproxime a su estado normal o teórico (establecido periódicamente por el fabricante) a lo largo del tiempo. Para ello se dispone de una infraestructura, en la que mediante la elaboración de informes e indicadores se identifique el estado real de los equipos y se compara con el estado nominal o teórico, apareciendo periódicamente diferencias

como resultado de esta comparación. De acuerdo con estas diferencias es necesario realizar tareas de planificación (estrategia, costos, personal, etc.), lo que requiere crear programas y realizar actividades (limpieza, pedidos, lubricación, cambios, etc.) con diferentes frecuencias en pro de disminuir lo máximo posible los tan perjudiciales paros de emergencia o eventos inesperados, que pueden representar pérdidas económicas en una empresa o representar un riesgo en el personal operativo. (Mayra Alejandra Beltrán, 2014)

Actualmente en las industrias y procesos en general se tienen cuatro formas de llevar a cabo el mantenimiento y que son más comúnmente utilizadas: preventivo, correctivo, predictivo y programado, que tienen características únicas y se adaptan a situaciones específicas que ocurren en una línea o sistema productivo. (García Garrido, 2003). De acuerdo con cada tipo de mantenimiento se busca mantener, reparar o mejorar el estado de equipos o sistemas de producción. También existen otros tipos de mantenimiento (proactivo, mantenimiento productivo total (TPM), overhaul) que son menos conocidos o utilizados en general en la industria, y que también cumplen su función en algunas situaciones. Sin embargo, no son tan comúnmente implementados debido a su complejidad, capacitación del personal y elevados costos a comparación de los anteriores mencionados.

Es importante conocer en detalle a que hacen referencia cada uno de estos tipos de mantenimiento para poder destinar los recursos de una forma adecuada y generar Key Principle Indicators (KPI) que aporten en la toma de decisiones al interior de un departamento de mantenimiento, a continuación, se relacionan cada uno de estos términos:

4.1.2 Mantenimiento Preventivo

Mantenimiento que consiste en realizar ciertas reparaciones, cambios de componentes o piezas, según intervalos de tiempo, o según determinados criterios prefijados para reducir la probabilidad de avería o pérdida de rendimiento de un ítem. Siempre se planifica. El mantenimiento preventivo se divide a su vez, en sistemático, predictivo y reglamentario. (Fernández, 2003)

4.1.3 Mantenimiento Programado

Mantenimiento preventivo que se efectúa a intervalos predeterminados de tiempo, número de operaciones, recorridos, etc. (Fernández, 2003)

4.1.4 Mantenimiento Correctivo

Es aquel que se lleva a cabo después de que ocurre una falla y reestablece el equipo a un estado en el que puede realizar la función requerida. Se realiza cuando el equipo es incapaz de seguir operando, por lo cual no es un elemento de planificación. (Duffua y Col, 2010)

4.1.5 Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo consta de una serie de ensayos de carácter no destructivo orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de

advertencia que indiquen que alguna de sus partes no está trabajando de la manera correcta. A través de este tipo de mantenimiento, una vez detectadas las averías, se puede, de manera oportuna, programar las correspondientes reparaciones sin que se afecte el proceso de producción y prolongando con esto la vida útil de las máquinas. (William Olarte, et al, 2010)

4.1.6 Elevador Hidráulico De Dos Columnas

Los equipos elevadores hidráulicos son elementos usados para levantar altos pesos, en este caso vehículos, en situaciones donde un gato hidráulico no es suficiente para poder desempeñar una reparación o una actividad de mantenimiento preventivo en dichos vehículos; su uso se ha popularizado con el pasar del tiempo ya que es una alternativa cuando no se cuenta con amplios espacios. Estos elevadores se usan principalmente en talleres o concesionarios.

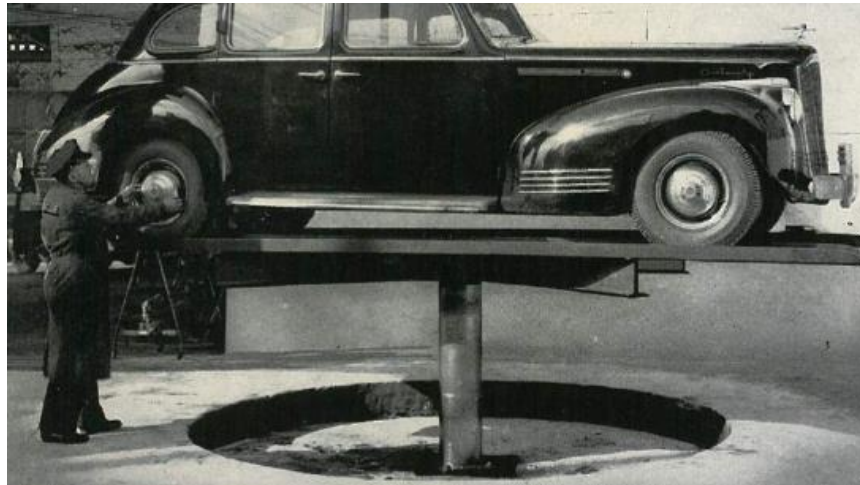
Estos elevadores funcionan gracias al principio de Pascal, el cuál dice que en un fluido incompresible la presión tendrá un comportamiento igual en todos los puntos del fluido y a las paredes en las que se encuentra contenido. Su nombre (Dos columnas) está relacionado con la estabilidad que otorgan sus dos apoyos y que se requiere al momento de levantar el vehículo, los cuales cuentan a su vez con dos brazos que van directamente a la base del chasis y en cada una de estas columnas internamente se encontrará alojado un cilindro, el cuál será accionado gracias a un líquido hidráulico, en este caso aceite, el cuál es desplazado mediante bombas hidráulicas desde un depósito y estas bombas a su vez son accionadas gracias a un motor eléctrico. Estos elevadores cuentan con dos cables de acero al interior de cada una de las columnas y un sistema de cadenas, los cuales permiten que el vehículo se eleve de forma simétrica. Debido al riesgo que representan

para el personal a cargo, estos elevadores requieren un interruptor de seguridad, el cuál funciona mediante una válvula de seguridad. (Leiva, 2017) (Viera, 2012)

Los elevadores hidráulicos fueron inventados por un técnico mecánico de automóviles llamado Peter Lunati en la ciudad de Memphis, Estados Unidos, quien en el año 1924 observó en una peluquería como subían a un cliente para realizarle un corte de cabello. El elevador que se fabricó tenía la característica de ser giratorio, esto debido a que algunos de los vehículos que circulaban en ese momento no contaban con la marcha de reversa y de esta forma se facilitaba el acceso y la salida de estos vehículos. Véase figura de los primeros elevadores que fueron diseñados por la empresa Rotary Lift, de la cual el señor Peter Lunati fue el fundador. (Leiva, 2017) (Viera, 2012)

Figura 1

Referencia primer elevador hidráulico automotriz.



Nota. Tomado de: Rotary Lift. (s.f.) Historia <https://rotarylif.com/legacy/>

4.2 Marco Conceptual

Actualmente el taller Autorizado de Distribuidora Nissan ubicado en la ciudad de Bucaramanga cuenta con 9 puestos individuales de trabajo, los cuales están compuestos por un equipo elevador hidráulico automotriz en cada uno de sus módulos, en dichos módulos se llevan a cabo labores de inspección, mantenimiento preventivo, correctivo y actividades puntuales como alineación y balanceo de los vehículos Nissan, garantizando así que se cumplan las labores establecidas por el fabricante en los manuales de operación y posventa. En cada uno de estos puestos de trabajo es casi que de vital importancia contar con un equipo elevador hidráulico, el cual prestará una asistencia para que el personal operativo pueda acceder con mayor facilidad a los elementos del vehículo que se encuentran en su parte inferior, estos equipos actualmente se pueden encontrar en el mercado con diferentes características, tipos, funciones, etc. A lo largo de este documento se registrarán dichos equipos, así como sus características y datos técnicos que los hacen útiles en las labores diarias de dicho taller.

A continuación, se ilustra la distribución actual del taller, teniendo en cuenta las diferentes áreas que lo componen, así como los tipos de elevadores y las labores que se hacen en cada uno de estos puestos de trabajo:

Figura 2

Distribución de taller Autorizado Distribuidora Nissan

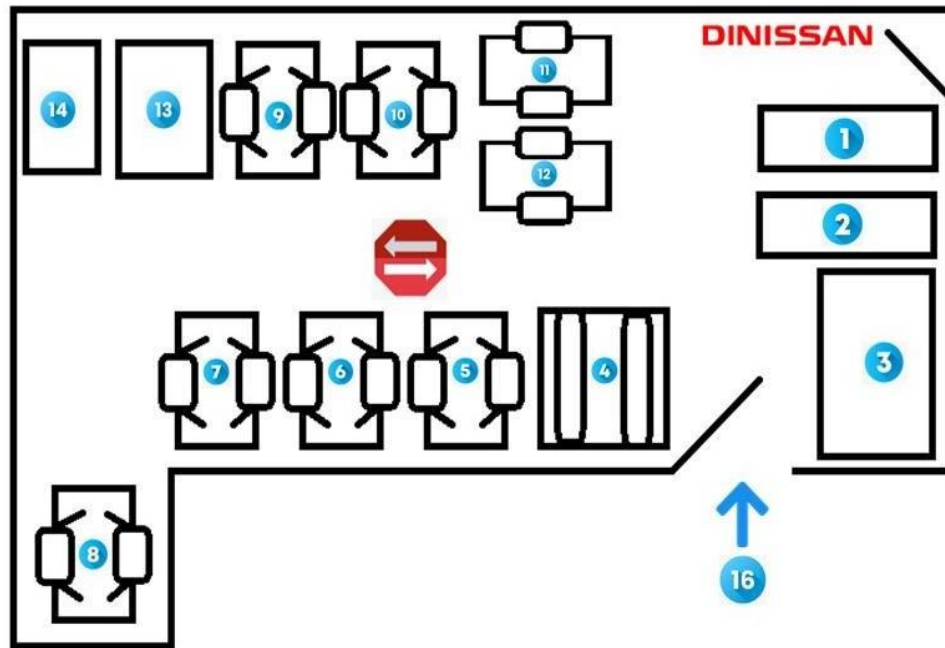


Tabla 1

Detalle de áreas de trabajo de taller autorizado de Distribuidora Nissan.

Distribución del diagrama de taller	
Item	Descripción
1	Área de recepción de clientes y agendamientos
2	Área de calidad
3	Área destinada a parqueo de vehículos en espera
4	Elevador hidráulico tipo tijera destinado a labores de alineación y balanceo
5,6,7,8,9,10	Elevadores hidráulicos tipo dos columnas destinadas a reparaciones, mantenimientos, etc
11,12	Elevadores hidráulicos tipo plataforma destinados a parqueo de vehículos de entrega
13	Área de lavado de vehículos
14	Área de almacenamiento de herramienta y suministros
15	Área de ingreso y salida de vehículos al taller autorizado (Ingreso por la calle #60)
16	Área de conexión con vitrina de ventas de Distribuidora Nissan

Nota: Esta tabla se relaciona con la figura 2.

4.2.1 Registro Fotográfico

A continuación, se relacionan las fotografías de los elevadores hidráulicos que actualmente se encuentran instalados en el taller autorizado:

Figura 3

Fotografía panorámica del taller autorizado paralelo a la entrada y conexión con vitrina de área comercial.



En la figura 3 se evidencian 3 elevadores hidráulicos marca LAUNCH, del tipo “Dos columnas”, para los cuales se tiene interés en esta monografía. Estos tipos de elevadores cuentan con dos columnas o apoyos metálicos, estos en su interior cuentan con un pistón hidráulico, los cuales son accionados mediante bombas hidráulicas; para poder llevar a cabo esta forma de desplazamiento se cuenta con una asistencia por medio de cadenas y para poder soportar al vehículo que se requiere elevar se cuenta con dos brazos en cada columna los cuales van sujetos al chasis del vehículo

Figura 4*Elevador hidráulico tipo tijera*

El elevador de la Figura 4 se encuentra ubicado en la puerta de ingreso que conecta el área de vitrina comercial con el taller autorizado, dicho elevador es usado en tareas de alineación, balanceo y calibración de llantas, cuenta con dos plataformas adicionales en su parte media en caso de que se requiera elevar el vehículo en la parte delantera o trasera luego de ser elevado completamente por la plataforma de tijeras, ambos mecanismos funcionan gracias al principio de funcionamiento hidráulico.

Figura 5*Elevadores tipo plataforma*

Los anteriores elevadores se encuentran ubicados al ingreso del taller y son utilizados para la ubicación de vehículos que van a ser entregados después de llevar a cabo en ellos las tareas de reparación o mantenimiento, cuentan con un funcionamiento similar al del tipo “Dos columnas”, en el cual se cuenta con un motor eléctrico, el cual acciona una bomba hidráulica y esta finalmente genera el desplazamiento de dos pistones que se encuentran ubicados al interior de los dos apoyos o columnas metálicas, la diferencia principal es el tipo de plataforma que soporta los vehículos.

4.2.2 Planteamiento del Plan de Mantenimiento Preventivo

Para realizar el diseño de un plan de mantenimiento preventivo puntualmente destinado a equipos elevadores hidráulicos automotrices, es importante conocer la problemática que envuelve a los mismos, a partir de las posibles fallas que puedan presentarse en estos equipos plantear una estrategia orientada a mantenerlos en las mejores condiciones posibles y con la mejor relación costo-beneficio posible, para lo cual podemos hacer uso de las herramientas de mantenimiento preventivo más confiables que se manejan actualmente en la industria, sin embargo es importante aclarar que cada una de estas estrategias son de libre utilización y el administrador del mantenimiento tendrá la decisión de implementar la que mejor se adapte a su operación, adicionalmente a estas variables inherentes del equipo se suman las variables externas como la identificación del volumen de trabajo al que estos equipos se exponen, el presupuesto actual con el que cuenta la empresa poseedora de estos activos para dicho mantenimiento y de esta manera llegar a implementar una estrategia viable que permita la disponibilidad de estos equipos y minimice en la medida que sea posible los perjudiciales paros de emergencia.

Las estrategias de mantenimiento preventivo más usuales a continuación se relacionan:

4.2.2.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Una definición más amplia de RCM podría ser: “proceso para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier equipo continúe haciendo lo que sus usuarios desean que haga, en su contexto operacional actual” (Moubray, 1991).

El RCM ha sido una metodología desarrollada e implementada desde la industria aeronáutica en los años 60's y con la cual se han realizado muchos aportes en materia de

mantenimiento industrial, para un sector que viene aumentando su complejidad con los años y la cual exige métodos eficaces para seguir en operación, a esto se suma la alta competitividad que presentan estas empresas y por lo cuál deben dar respuesta a sus clientes en tiempos precisos, buscando así tener indicadores de calidad cada vez más altos.

En el RCM el estudio principal se centra en la condición actual del equipo, el conocimiento del mismo y su correcto funcionamiento, siendo estos los conceptos que se tienen presentes en la operación diaria, sin embargo en ocasiones no se tiene un estándar establecido de ellos.

Es muy importante definir y comprender cuales son los parámetros nominales del equipo y cuales son las características que la empresa puede obtener de este en su operación, ya que en si, el RCM por si solo no podrá conseguir que el activo alcance su operación nominal si desde un principio dicho equipo no alcanzaba dichos parámetros de funcionamiento esperados.

Conociendo el contexto operacional y la función que desempeñan estos activos, la metodología RCM sugiere de manera inicial plantearse 7 preguntas que pueden aclarar un poco más la forma en que se diseña el plan de mantenimiento preventivo y dará un indicio de cuál es la prioridad que se debe dar a cada equipo o mecanismo del mismo. A continuación se relacionan estas preguntas:

- ¿Cuáles son las funciones?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué causa que falle?
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Importa si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?
- ¿Qué se puede hacer si no puede prevenirse o predecirse la falla? (Moubray, 1991)

Estas preguntas obedecen a lo antes mencionado, es importante definir cuales serán las funciones que la empresa tiene en mente para operar estos activos y comprender que estas funciones se desprenderán en funciones principales, para las cuales fueron creados y que en algunos casos terminan siendo diferentes a las funciones reales que desempeñan estos equipos o en ocasiones se operan en condiciones de trabajo menores a las capacidades nominales que dichos activos pueden brindar; el segundo grupo de funciones son conocidas como funciones adicionales o complementarias, las cuales comprenden características de seguridad para el personal, preservación del medio ambiente, solicitudes netamente estéticas o modificaciones funcionales en busca de aumentos de productividad o eficiencia de maquina; para este segundo grupo de funciones, también deberá ser evaluado si finalmente se incluirán dentro de una matriz de modo de fallas, matriz de criticidad y finalmente rutinas de mantenimiento preventivo.

Para dar respuesta a las demás preguntas anteriormente planteadas es importante conocer el concepto de falla funcional, la cual el autor Jhon Moubroy define como “La incapacidad de un activo o componente de satisfacer un estándar de funcionamiento deseado”, para la cual se debe comprender de qué forma se presenta y a la cual se le conoce como “Modos de falla” o “Causas de la falla” y estos comprenden las situaciones o eventos que ocasionaron que dicha función del equipo no se diera de la forma esperada. El propósito de identificar estas fallas es principalmente evitar que estas ocurran nuevamente y para ello es necesario apoyarse en los datos y eventos ocurridos antes, ya que posiblemente estos fallos se presentaron en otro equipo de similares o iguales características.

Al identificar las formas en las que puede fallar un activo es importante comprender cuales son los efectos que generan dicha causa, es decir el por qué se está presentando dicho evento y

gracias a esto se podrá determinar la importancia de esta falla para posteriormente establecer el plan de acción a seguir.

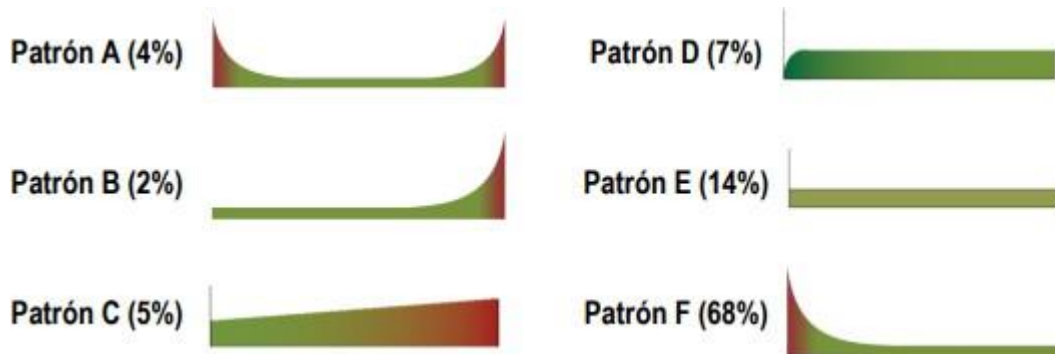
Después de contar con las funciones detalladas del activo, sus modos de falla y efectos de la misma, es también necesario documentar las posibles consecuencias que estas fallas ocasionan en caso de presentarse, las cuales pueden generar pérdidas monetarias en la empresa, lesiones en el persona operativo, disminución en la eficiencia de un proceso, baja disponibilidad en los equipos y consecuencias medioambientales; por las que se debe considerar especial atención, ya que adicional a las pérdidas que esto representa para la empresa en materia económica se puede presentar una afectación a nivel de sus clientes en la forma como perciben dicha empresa.

Estas consecuencias adicionalmente generan un camino a seguir en la resolución de estas fallas y le dicen al administrador de mantenimiento si es viable solucionarlo de manera correctiva en un periodo corto, si se puede programar en un mediano, largo plazo o si la condición del equipo permite que este continúe operando a baja capacidad nominal sin afectar todas las variables que se encuentran a su alrededor; de igual manera llevando a cabo este análisis se puede identificar la metodología de mantenimiento a implementar en su solución, siendo así corregida mediante tareas simples como limpieza, lubricación, ajustes menores o tareas un poco más complejas que representen un mantenimiento a profundidad del equipo o como también es conocido como “Overhaul”.

En la época de los 60’s cuando el término de RCM fue acogido en la industria aeronáutica, paralelamente se empezaron a llevar a cabo estudios del comportamiento de las fallas funcionales, así de esta forma intentaron estandarizar una tendencia y comprender como sería la vida útil de un activo a lo largo del tiempo, para lo cuál se construyeron gráficas que modelan dicho comportamiento y las cuales se relacionan a continuación:

Figura 6

Patrón de fallas en la vida útil de un equipo “Curva de la bañera”. Fuente: (Moubray, 1991)



De dichas gráficas podemos analizar que el comportamiento de un activo en el tiempo puede presentarse de múltiples formas y no como inicialmente se tenía previsto, para el cual anteriormente se tenía pensado, que el activo tendría su mayor cantidad de fallas al final de su vida útil y por el contrario se encontraron diferentes comportamientos; las curvas anteriormente mostradas hacen referencia a un término conocido como “La curva de la bañera” y la cual se divide en tres secciones, la primera corresponde a lo que se conoce como “Mortalidad infantil”, la cuál corresponde a aquellas fallas prematuras que se presentan en el inicio de la vida útil de un activo, estas se encuentran principalmente relacionadas con fallas de diseño, estructurales o debido a una incorrecta operación en su fase de instalación, estadísticamente se encuentra en esta gráfica, que después de esta zona el activo pasa a una zona de estabilización en términos de fallas, ya que se encontró su punto óptimo de operación o las posibles fallas de diseño fueron descartadas o corregidas a tiempo; por último encontramos una zona en la gráfica que se conoce como “Zona de obsolescencia” en donde teóricamente se encuentra el fin de la vida útil del activo y donde se espera que suceda un desgaste acelerado así como un aumento en las fallas. Sin embargo, estas

tendencias corresponden a una estimación, pero en la toma de datos reales se han encontrado los patrones anteriormente evidenciados y que a continuación se detallan:

El patrón A es la conocida “curva de la bañera teórica”. Comienza con una alta incidencia de fallas (conocida como mortalidad infantil), seguida por una frecuencia de falla que disminuye gradualmente o que es constante y, luego, por una zona de incremento de probabilidad de falla. (Moubray, 1991)

El patrón B muestra pocas fallas aleatorias al inicio terminando en una zona de incremento de probabilidad de falla. (Moubray, 1991)

El patrón C muestra una probabilidad de falla ligeramente ascendente, pero no hay una edad de incremento de probabilidad de falla que sea identificable, es decir, hay un incremento constante en la probabilidad de falla. (Moubray, 1991)

El patrón D muestra una probabilidad de falla baja cuando el elemento es nuevo o se acaba de instalar, seguido de aumento rápido a un nivel constante de la probabilidad de falla. (Moubray, 1991)

El patrón E muestra una probabilidad constante de falla en todas las edades (falla aleatoria), es decir, no existe ninguna relación entre la edad de los elementos y la probabilidad de que fallen. (Moubray, 1991)

El patrón F comienza con una mortalidad infantil muy alta, que desciende finalmente a una probabilidad de falla que es constante. (Moubray, 1991)

Si bien, podemos observar que el mayor porcentaje se encuentra en los patrones de falla E (14%) y F (68%) lo cual nos da a entender que las principales fallas se presentan en la zona de “Mortalidad infantil” y a partir de allí se estabilizan, pero es más aún importante denotar que en la tercera zona donde la vida útil del activo se acerca a su fin, estadísticamente no se registra un

aumento en sus fallas, por lo contrario, se identifica que, en esta zona, a medida que aumenta el número de intervenciones por mantenimiento, se podría incurrir en un aumento de fallas, debido a que de alguna manera se estaría introduciendo de manera forzada una zona de "Mortalidad infantil" en una zona que se encuentra estable.

Es muy importante analizar y comprender estas tendencias en los activos, ya que a partir de allí el administrador de mantenimiento puede tomar decisiones sobre que estrategias de mantenimiento preventivo debe implementar en cada fase de la vida útil del activo, siendo así un poco más útil implementar unas rutinas de preinspección detalladas y muy rigurosas, tanto por parte del personal operativo como del personal técnico, esto durante la fase inicial donde se presenta la "Mortalidad infantil" y a partir de allí implementar rutinas de mantenimiento preventivo con frecuencias acordes a la estabilización que el activo está alcanzando. De igual manera el autor Jhony Moubray recomienda estar monitoreando esta condición frecuentemente para realizar comparativos y sobre todo poner generar planes de acción en caso de identificar alguna anomalía en estas tendencias.

4.2.2.2 Matriz de criticidad de los equipos. Para realizar un plan de mantenimiento preventivo de equipos siempre es útil iniciar planteando una matriz de criticidad para estos, debido a que cada equipo representa una importancia particular al interior de la compañía, ya sea por su frecuencia de uso, la complejidad y costo en reparaciones, la utilidad que representa para la compañía y en ocasiones se tienen en cuenta la cantidad de estos mismos equipos con los cuales se cuenta en dicha empresa; esto se estima principalmente para identificar cual será la consecuencia si un equipo de estos llega a fallar y por esto mismo, la prioridad que se debe tener en el mantenimiento preventivo en algunos equipos que son caracterizados por su alta criticidad; cabe

aclarar que se pueden presentar particularidades donde en una línea de producción un equipo sea catalogado como crítico pero para otra línea productiva cuente con una criticidad distinta y de igual manera se presenta a nivel de comparativo entre empresas que cuentan con equipos de las mismas características y al interior de estas cuentan con valoraciones de criticidad diferentes; concluyendo así que la matriz de criticidad de equipos es un procesos único e individual en cada situación, línea productiva, empresa, etc.

Las variables para considerar en una matriz de criticidad son la probabilidad de ocurrencia de una falla funcional y las consecuencias que se generan a partir de dicha falla; en ocasiones resulta útil generar una evaluación de criticidad para cada pilar de las empresas, como es el caso de:

- Departamento de Calidad (producto final que el cliente recibe)
- Departamento de Seguridad y Salud en el trabajo (Preservación de la salud e integridad de los empleados en general)
- Departamento de Medio Ambiente (Mitigación de consecuencias negativas al ambiente)
- Departamento de Producción (Cumplimiento de entregas en el tiempo pactado)

El caso de los elevadores hidráulicos automotrices, se tendrán en cuenta los valores presentes para las áreas de producción, calidad y seguridad y salud en el trabajo, esto principalmente se debe a que, si se presenta una falla funcional en estos equipos, se puede ver afectada la salud o integridad de los operarios a cargo, de igual manera se podrán presentar daños o retraso en las entregas al cliente final, así como deterioro en la imagen percibida hacia el taller. Para estimar la consecuencia que tiene un fallo funcional se usa la siguiente tabla, analizando los 3 ámbitos anteriormente mencionados:

Tabla 2

Consecuencia de un fallo funcional

Área relacionada	Consecuencias									
	Muy grave		Grave		Severo		Moderado		Menor	
Seguridad y salud en el trabajo	Falla que representa muerte en operario	que	Falla que representa amputación o incapacidad del 40% o más del operario	que	Falla que representa lesiones graves o enfermedades con incapacidad hasta del 39% del operario	que	Falla que representa lesiones o enfermedades leves	que	Falla que representa lesiones o enfermedades muy mínimas	que
Calidad	Falla que representa irreparable producto entregable a cliente	que	Falla que representa un costo elevado de reparación en el producto entregable	que	Falla que representa un costo elevado de reparación en el producto entregable al cliente	que	Falla que representa poco de reparación en el producto entregable al cliente	que	Falla que representa poco o ningún costo de reparación en el producto entregable al cliente	que
Producción	Falla que representa problemas legales e incluso cierre del establecimiento	que	Falla que representa problemas graves con el cliente y genera pérdida de la confianza hacia la imagen del taller	que	Falla que representa problemas considerables con el cliente	que	Falla que representa problemas mínimos con el cliente	que	Falla que representa poco o ningún problema con el cliente	que

De igual manera, se analiza la frecuencia de que ocurra una falla funcional. En la tabla que se relaciona a continuación, se asignan valores de 1 a 5, siendo 1 una falla muy improbable que pueda presentarse y 5 una falla muy probable.

Tabla 3

Probabilidad de ocurrencia de una falla funcional

Valoración	Frecuencia del evento	Cantidad de eventos promedio al año
1	Muy improbable	0,5 veces
2	Improbable	0,5-1 veces

Valoración	Frecuencia del evento	Cantidad de eventos promedio al año
3	Medianamente probable	1-2 veces
4	Probable	2-4 veces
5	Muy probable	Mayor a 4 veces

Al realizar el cruce entre probabilidad y consecuencia, se llega al resultado esperado, que es obtener la criticidad del equipo dependiendo la zona donde quede, será categorizado como criticidad baja, media-significativa o alta, a continuación, se relaciona la tabla en mención:

Tabla 4

Criticidad de los equipos

		PROBABILIDAD				
		Muy improbable	Improbable	Medianamente probable	Probable	Muy probable
Consecuencia	Menor	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
	Moderado	Baja	Baja	Baja	Medio	Medio
	Severo	Baja	Baja	Medio	Significativo	Significativo
	Grave	Baja	Medio	Significativo	Significativo	Alta
	Muy grave	Baja	Medio	Significativo	Alta	Alta

Teniendo en cuenta que en el taller autorizado de distribuidora Nissan de la ciudad de Bucaramanga se cuenta con 6 elevadores hidráulicos de dos columnas, cabe aclarar que en estos puestos de trabajo son llevados a cabo operaciones de mecánica rápida o express, por lo cual los tiempos de entrega son vitales en la operación, sin embargo no se cuenta con una distinción exclusiva para que en cada puesto de trabajo sean llevadas a cabo labores específicas, es decir la ocupación se simula de igual manera para los 6 y se manejará una criticidad de equipo unificada teniendo en cuenta esto. Adicional a esto se debe considerar el alto riesgo que estos equipos representan para la salud e integridad del personal operativo a cargo en caso de presentarse una

falla. Es importante aclarar que en esta evaluación de criticidad se evalúan las fallas funcionales de manera transversal, es decir que a las fallas no se les otorga con una criticidad propia. Es por estas consideraciones que se llega a la conclusión de criticidad final así:

Tabla 5

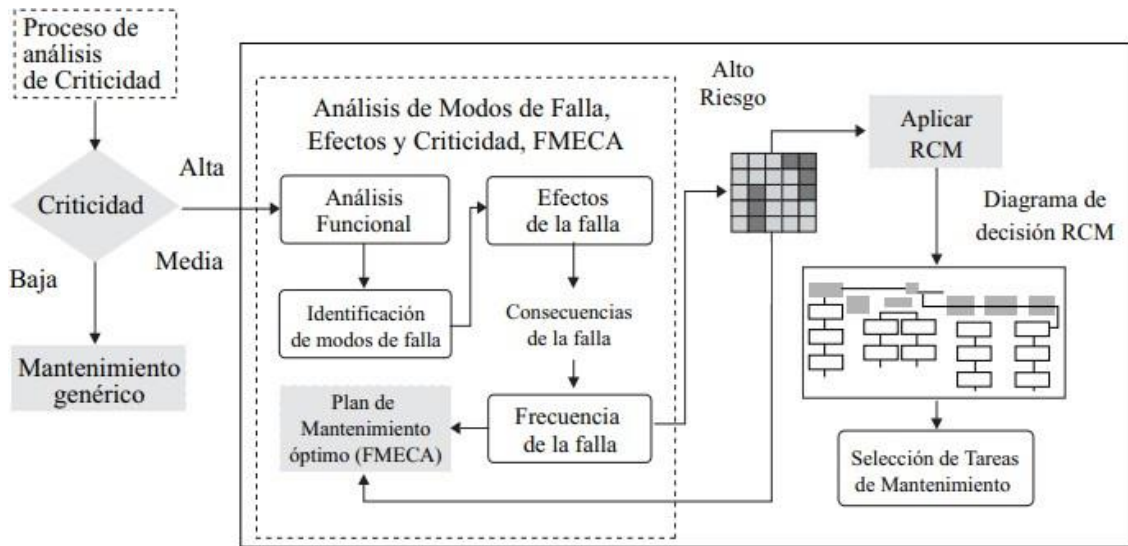
Criticidad de equipos elevadores hidráulicos de dos columnas

Equipo	Probabilidad	Consecuencia	Criticidad
Elevador hidráulico de dos columnas	3	4	MEDIA

4.2.2.3 Matriz FMECA. En la literatura se puede encontrar también esta matriz como “Matriz AMFEC” la cual significa “Análisis de modo de falla , efectos y criticidad” y la cual corresponde a una metodología creada en los años 40’s en la industria aeronáutica, la cual surge a partir de la necesidad de identificar de manera efectiva las posibles fallas que puede llegar a presentar un equipo y adicional a esto categorizar esta falla de acuerdo a una valoración de criticidad, así de esta manera el administrador del mantenimiento podrá llevar a cabo su gestión de una forma más eficiente y el departamento técnico se enfocará en las actividades que representan mayor importancia. A continuación, se describe en un diagrama de flujo la forma en que se debe analizar la falla funcional de un activo y determinar que metodología se llevará a cabo, siendo implementada para este caso de estudio, la metodología de la matriz FMECA.

Figura 7

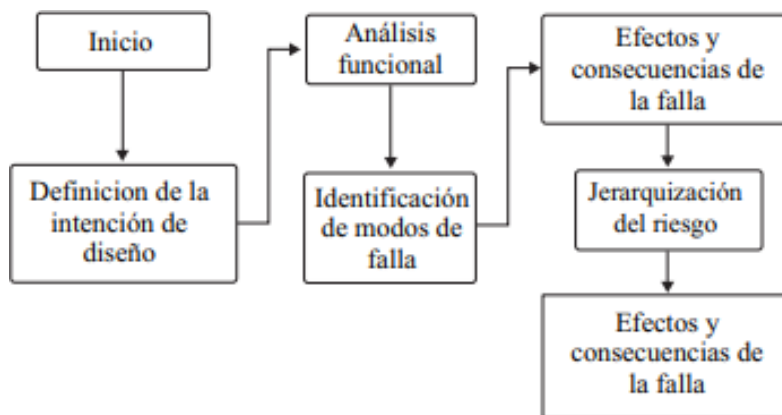
Diagrama de flujo en la implementación de RCM y matriz FMECA



Del anterior diagrama de flujo se desprende el siguiente proceso donde se describen los 5 pasos para implementar una FMECA correctamente:

Figura 8

5 pasos en la implementación de la matriz FMECA



Lo que se busca con esta metodología y estos 5 pasos puntualmente, es lo antes descrito en el apartado de fallas, donde se mencionaba que primero se requiere comprender la operación que tendrá el equipo y a partir de allí construir un análisis de criticidad, luego de esto pasar a construir la matriz FMECA.

Para construir inicialmente la matriz es necesario comprender la función que prestan los elevadores hidráulicos de dos columnas más puntualmente en el taller autorizado de Nissan de la ciudad de Bucaramanga y la cual se enuncia a continuación:

Tabla 6

Datos técnicos de los equipos elevadores hidráulicos de dos columnas

Datos técnicos equipos	
Equipo:	Elevador hidráulico de dos columnas
Marca:	Launch TLT-240-SB
Capacidad de carga:	4 Toneladas
Tiempo medio de subida:	40-50 seg
Altura máxima de elevación	1.95 m
Alimentación:	220V
Potencia motor	2.2kW
Presión de operación	16 Mpa

A partir de esta información se construye la matriz donde se analizan las fallas funcionales, de que manera se presentan y que efectos tienen. A continuación, se relaciona dicha matriz:

Tabla 7

Matriz FMECA de elevadores hidráulicos de dos columnas

Equipo	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla
Equipos elevadores hidráulicos de dos columnas	Equipo con problemas en su funcionamiento eléctrico	Motor eléctrico de la bomba operando en condiciones anormales o sin operación	Bornes en malas condiciones o malas conexiones Desgaste en el eje del motor eléctrico Rodamientos en mal estado Temperatura elevada debido a falla en el ventilador del motor Desbalanceo del eje del motor eléctrico Fusibles quemados
	Equipo no levanta la carga requerida	El sistema hidráulico presenta anomalías	Empaques en mal estado Vástago del cilindro en malas condiciones (Pandeado) Fuga de líquido hidráulico Nivel de líquido hidráulico insuficiente Líquido hidráulico contaminado con impurezas Líneas de líquido hidráulico en malas condiciones (Mangueras, racores, acoples, codos, conexiones, etc)
		No se tiene respuesta del interruptor de elevación	Sellos en malas condiciones Malas conexiones en el interruptor Fusibles quemados
	Equipo produce ruido excesivo y levantamiento anormal	Vibraciones en el sistema y ruido anormal	Presencia de aire en el sistema Bomba hidráulica en malas condiciones

Equipo	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla
			Vastago del cilindro en malas condiciones (Pandeado)
	Equipo no mantiene en elevación la carga requerida o la altura solicitada	Descensos inesperados	Vastago del cilindro en malas condiciones (Pandeado)
			Válvula de seguridad en malas condiciones
			Sobrecargas en el elevador
			Fuga de líquido hidráulico
			Nivel de líquido hidráulico insuficiente
			Líquido hidráulico contaminado con impurezas
			Líneas de líquido hidráulico en malas condiciones (Mangueras, racores, acoples, codos, conexiones, etc)
			Sellos en malas condiciones
			Seguros manuales en malas condiciones
			Sobrepresión en el sistema hidráulico
		Caída del vehículo en altura	Mal posicionamiento de los soportes de elevación
			Sobrepresión en el sistema hidráulico
			Líneas de líquido hidráulico en malas condiciones (Mangueras, racores, acoples, codos, conexiones, etc)
			Válvula de seguridad en malas condiciones

4.2.2.4 Cálculo de NPR. Una vez planteada la matriz FMECA, conociendo las fallas, como se presentan y sus efectos, así como se busca conocer la criticidad del equipo, de igual

manera es importante conocer la criticidad de cada falla funcional, para esto se usa en la industria un método llamado NPR o también conocido como Número de Prioridad del Riesgo y el cual consiste en realizar la multiplicación de tres variables, las cuales son la SEVERIDAD de la falla, el cuál es un número adimensional que representa el impacto que dicha falla tendrá en diferentes aspectos como el productivo, seguridad y salud de los operarios, calidad del producto terminado, et; de igual manera se debe estimar otro número adimensional para identificar la PROBABILIDAD de ocurrencia del evento, el cual no representa un porcentaje propiamente, más bien representa una estimación de la posibilidad de que se presente dicha falla y por último debemos tener en dicho cálculo la DETECTABILIDAD de la falla, lo cual representa que tan fácil o complejo será identificar y solucionar este evento. A continuación, se relacionan las tablas que se presentan en la norma NTC – IEC 60812: 2022 y hacen referencia a las variables antes mencionadas y con lo que corresponde a cada valor:

Figura 9

Probabilidad de ocurrencia de la falla

No.	Ocurrencia
01	Remota: La falla es improbable: ≤ 0.010 por mil vehículos/items.
02	Baja: Relativamente pocas fallas: 0.1 por mil vehículos/items.
03	Baja: Relativamente pocas fallas: 0.5 por mil vehículos/items.
04	Moderada: Fallas ocasionales: 1 por mil vehículos/items.
05	Moderada: Fallas ocasionales: 2 por mil vehículos/items.
06	Moderada: Fallas ocasionales: 5 por mil vehículos/items.
07	Alta: Fallas repetidas: 10 por mil vehículos/items.
08	Alta: Fallas repetidas: 20 por mil vehículos/items.
09	Muy alta: La falla es casi inevitable: 50 por mil vehículos/items.
10	Muy alta: La falla es casi inevitable: 100 por mil vehículos/items.

Fuente: Técnicas de análisis para la confiabilidad de sistemas. Procedimiento para análisis de modo de falla y efectos (AMFE) (ICONTEC Internacional, 2007)

Figura 10

Detección de la falla funcional

08	Remota: Una oportunidad remotamente alta de que el control del diseño detecte una causa/mecanismo potencial del modo de falla subsiguiente.
09	Muy remota: Una oportunidad muy remota de que el control del diseño detecte una causa/mecanismo potencial del modo de falla subsiguiente.
10	Peligrosa sin advertencia: Clasificación de severidad muy alta cuando un modo de falla potencial afecta la operación segura del vehículo y/o implica no conformidad con las reglamentaciones gubernamentales con advertencia.
Fuente: Técnicas de análisis para la confiabilidad de sistemas. Procedimiento para análisis de modo de falla y efectos (AMFE) (ICONTEC Internacional, 2007)	

Figura 11

Severidad de la falla funcional

No.	SEVERIDAD
01	Ninguna: No hay efecto discernible.
02	Muy menor: Ajuste y terminado/Chirrido y traqueteo. Ítem no cumple. Defecto observado por los clientes perceptivos (menos del 25 %).
03	Menor: Ajuste y terminado/Chirrido y traqueteo. Ítem no cumple. Defecto observado por el 50 % de los clientes.
04	Muy baja: El ajuste y terminado/Chirrido y traqueteo. Ítem no cumple. Defecto observado por la mayoría de los clientes (más del 75 %).
05	Baja: Vehículo/ítem operable pero ítem(es) de confort/convivencia operable(s) a un nivel de desempeño reducido. Cliente un poco insatisfecho.
06	Moderada: Vehículo/ítem operable pero ítem(es) de confort/convivencia operable(s) a un nivel de desempeño reducido. Cliente insatisfecho.
07	Alta: Vehículo/ítem operable, pero a un nivel de desempeño reducido. Cliente muy insatisfecho.
08	Muy alta: Vehículo/ítem inoperable (pérdida de la función primaria).
09	Peligrosa con advertencia: Clasificación de severidad muy alta cuando un modo de falla potencial afecta la operación segura del vehículo y/o implica no conformidad con las reglamentaciones gubernamentales con advertencia.
10	Peligrosa sin advertencia: Clasificación de severidad muy alta cuando un modo de falla potencial afecta la operación segura del vehículo y/o implica no conformidad con las reglamentaciones gubernamentales con advertencia.
Fuente: Técnicas de análisis para la confiabilidad de sistemas. Procedimiento para análisis de modo de falla y efectos (AMFE) (ICONTEC Internacional, 2007)	

Realizando la multiplicación de estas variables obtenemos lo siguiente:

Tabla 8

Cálculo de NPR para las fallas funcionales

Modo de falla	Severidad	Ocurrencia	Detectabilidad	NPR
Motor eléctrico de la bomba operando en condiciones anormales o sin operación	3	2	4	24
El sistema hidráulico presenta anomalías	6	4	6	144
No se tiene respuesta del interruptor de elevación	3	2	3	18
Vibraciones en el sistema y ruido anormal	4	5	6	120
Descensos inesperados	8	3	6	144
Caída del vehículo en altura	8	3	6	144

De acuerdo con la norma NTC – IEC 60812: 2022 se tiene la siguiente tabla para determinar el riesgo de la falla funcional:

Tabla 9

Riesgo obtenido del cálculo del NPR

Riesgo a partir de la Matriz NPR	Cálculo del NPR
Riesgo Alto de falla	500-1000
Riesgo medio de falla	125-499
Riesgo bajo de falla	1-124
No hay riesgo de falla	0

Llegando así finalmente a la conclusión de que las fallas funcionales a las cuales el administrador de mantenimiento deberá prestar atención en los elevadores hidráulicos de dos columnas en el taller autorizado de Nissan de la ciudad de Bucaramanga son:

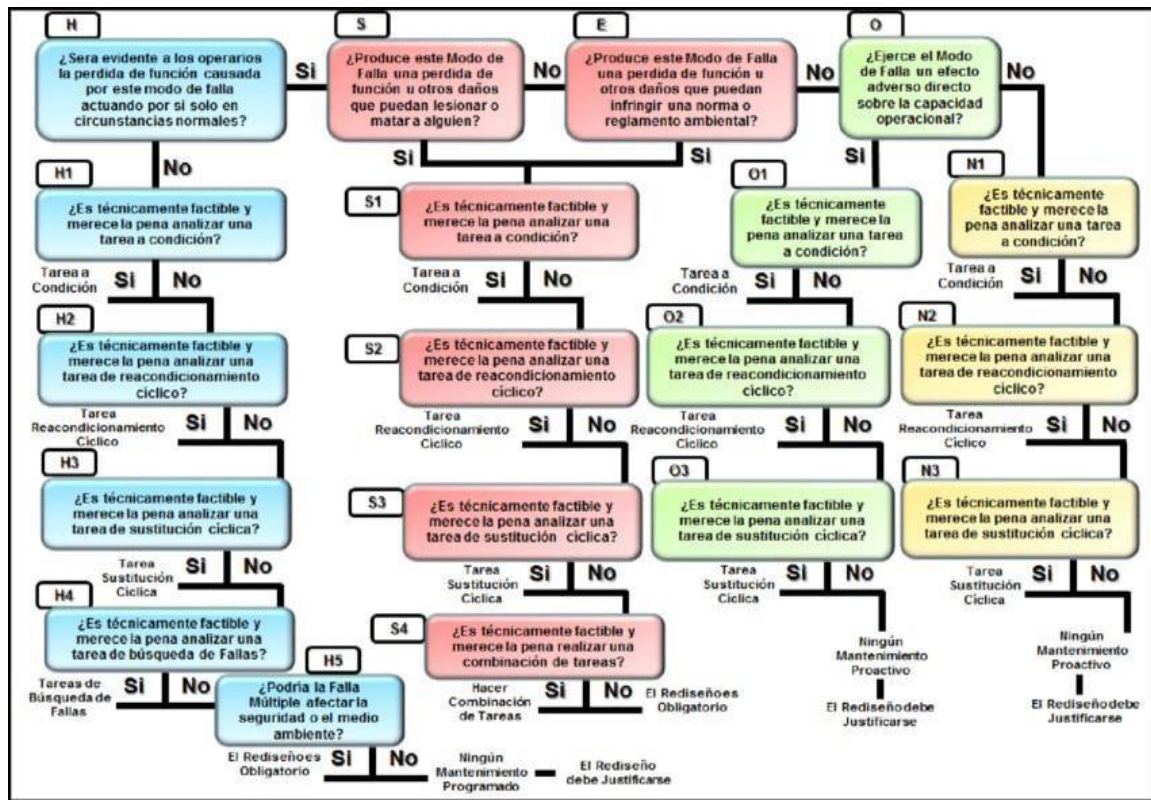
- Anomalías en el sistema hidráulico
- Descensos inesperados
- Caída del vehículo en altura

Y a partir de estas, es que se debe prestar especial atención también en la construcción de un plan de mantenimiento buscando optimizar recursos y actividades y de esta manera aumentar la disponibilidad del activo en una relación costo – beneficio adecuado.

4.2.2.5 Diagrama de decisiones RCM. Al momento de construir el plan de mantenimiento preventivo es importante consultar la matriz o diagrama de decisiones que se encuentra dentro de la metodología RCM, la cual comprende

Figura 12

Diagrama de decisiones RCM



De este diagrama tenemos las siguientes preguntas:

H: ¿Será evidente a los operarios la pérdida de función causada por este modo de falla actuando por sí solo en circunstancias normales?

S: ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que puedan lesionar o matar a alguien

E: ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que puedan infringir una norma o reglamento ambiental?

O: ¿Ejerce el modo de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional?

A partir de estas preguntas iniciales, se desprenden otras combinaciones para llegar a tomar una decisión sobre esta falla funcional, las cuales se pueden presentar así:

- En el primer nivel de decisión, es decir (H1, S1, O1, N1) se realiza la siguiente pregunta ¿Es técnicamente factible y merece la pena analizar una tarea a condición?
- En el segundo nivel de decisión, es decir (H2, S2, O2, N2) se realiza la siguiente pregunta ¿Es técnicamente factible y merece la pena analizar una tarea de reacondicionamiento cíclico?
- En el tercer nivel de decisión, es decir (H3, S3, O3, N3) se realiza la siguiente pregunta ¿Es técnicamente factible y merece la pena analizar una tarea de sustitución cíclica?
- En el cuarto nivel de decisión, es decir (H4, S4, O4, N4) se realiza la siguiente pregunta ¿Es técnicamente factible y merece la pena analizar una tarea de búsqueda de fallas?

5. Diseño del Plan de Mantenimiento Preventivo

A partir de esto se plantean las actividades de mantenimiento preventivo que deben ser tenidas en cuenta en estos equipos, a continuación, se relaciona dicho plan:

Tabla 10

Diseño del Plan de Mantenimiento Preventivo

Modos de falla funcional	Diagrama decisiones RCM				Componente del equipo comprometido	Actividad de mantenimiento preventivo	Frecuencia de ejecución	Encargado de ejecutar
	H	S	E	O				
	Motor eléctrico de la bomba operando en condiciones anormales o sin operación	SI	NO	NO				
Fusibles eléctricos						Revisión del estado con multimetro	6 meses	Técnico externo
El sistema hidráulico presenta anomalías	NO	NO	SI	SI	Bomba hidráulica	Revisión superficial del estado de acoples Revisión para identificar ruidos, vibración o temperatura anormal Revisión del nivel de aceite hidráulico	6 meses 6 meses 1 mes	Técnico externo Técnico externo Operario del equipo
					Mangueras, acoples, racores, conexiones	Revisión visual buscando identificar fugas o porosidades en las líneas	1 mes	Operario del equipo
					Cilindros hidráulicos	Revisión visual buscando identificar fugas Revisión para identificar ruidos, vibración o	1 mes 3 meses	Operario del equipo Técnico externo

Plan de Mantenimiento Preventivo Elevadores									
Modos de falla funcional	Diagrama decisiones RCM				Componente del equipo comprometido	Actividad de mantenimiento preventivo	Frecuencia de ejecución	Encargado de ejecutar	
	H	S	E	O					
No se tiene respuesta del interruptor de elevación	SI	NO	NO	SI	Empaques, sellos	temperatura anormal	1 mes	Técnico externo	
						Revisión de estado superficial del vástago de cilindro			
					Revisión visual buscando identificar fugas	1 mes	Operario del equipo		
					Validación de funcionamiento de pulsadores	1 mes	Operario del equipo		
Vibraciones en el sistema y ruido anormal	SI	NO	NO	NO	Cilindros hidráulicos	Revisión del estado con multímetro	6 meses	Técnico externo	
						Revisión visual buscando identificar fugas			
					Revisión para identificar ruidos, vibración o temperatura anormal	3 meses	Técnico externo		
					Revisión de estado superficial del vástago de cilindro, que no presente juego	1 mes	Técnico externo		
					Bomba hidráulica	Revisión superficial del estado de acoples	6 meses	Técnico externo	
						Revisión para identificar ruidos, vibración o temperatura anormal			
					Revisión del nivel de aceite hidráulico	1 mes	Operario del equipo		
					Revisión visual buscando identificar fugas o porosidades en las líneas	1 mes	Operario del equipo		

Plan de Mantenimiento Preventivo Elevadores										
Modos de falla funcional	Diagrama decisiones RCM				Componente del equipo comprometido	Actividad de mantenimiento preventivo		Frecuencia de ejecución	Encargado de ejecutar	
	H	S	E	O						
					Empaques, sellos	Revisión visual buscando identificar fugas o porosidades en las líneas		1 mes	Operario del equipo	
					Estructura del equipo	Revisión del anclaje de pernos (Realizar apriete a 150 lb/ft) No usar llave de impacto		1 mes	Operario del equipo	
						Revisión del torque de tuercas de guayas principales		1 mes	Operario del equipo	
						Revisión de caucho de los soportes de los brazos		1 mes	Operario del equipo	
					Poleas	Revisión de buen estado de los elementos		Diario	Operario del equipo	
						Revisión visual de desgaste entre canales y alineación de poleas		1 mes	Operario del equipo	
					Cadenas	Revisión visual del estado de los eslabones		Diario	Operario del equipo	
						Lubricar cadena de cada columna		Diario	Operario del equipo	
					Guayas	Revisión del buen estado de elementos, que no se encuentren con hilos sueltos ni dobleces		Diario	Operario del equipo	
					Engranajes de soportes levante	Revisión del buen estado de los dientes		1 mes	Operario del equipo	
						Lubricar dientes de soportes		15 días	Operario del equipo	

Plan de Mantenimiento Preventivo Elevadores										
Modos de falla funcional	Diagrama decisiones RCM				Componente del equipo comprometido	Actividad de mantenimiento preventivo	Frecuencia de ejecución	Encargado de ejecutar		
	H	S	E	O						
Descensos inesperados o caídas de vehículo en altura	SI	SI	NO	SI	Valvula de seguridad de descenso	Revisión de fugas en válvula de seguridad	1 mes	Operario del equipo		
						Verificación de funcionamiento de válvula (Que el cilindro no se devuelva de la posición fijada)	1 mes	Operario del equipo		
					Cilindros hidráulicos	Realizar prueba de ascenso y descenso, validar tiempos y comparar con lo que recomienda el fabricante	3 meses	Técnico externo		
					Empaques, sellos	Revisión visual buscando identificar fugas de aceite hidráulico	1 mes	Operario del equipo		
				Líneas hidráulicas general	Revisión visual buscando identificar fugas o porosidades en las líneas	1 mes	Operario del equipo			

Cabe aclarar que al realizar el árbol de decisiones en RCM surge la posibilidad de implementar 3 tipos de mantenimiento.

- Mantenimiento reactivo, en el cual los elementos serán llevados a la falla y se realizará su cambio o reparación, ya que no representan mucha importancia para el proceso o la compañía.
- Mantenimiento preventivo cíclico, en el cual se fijan una serie de actividades con frecuencias establecidas, en la mayoría de los casos teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante, o en ocasiones de acuerdo con la operación en la que se desempeñan estos activos; para el objeto de estudio de esta monografía, al revisar los anteriores análisis (Criticidad, FMECA,

Diagramas de decisión RCM) se opta por aplicar este tipo de mantenimiento preventivo a este taller automotriz.

- Mantenimiento basado en la condición, en el cual se monitorean los mecanismos y componentes del equipo, con la finalidad de conocer la condición en la que se encuentran, en la industria se encuentran comúnmente siendo realizados por equipos como cámaras termográficas, equipos de análisis de vibraciones, equipos de análisis por ultrasonido, entre otros, sin embargo, son prácticas que, a pesar de ser muy útiles, resultan siendo costosas en su implementación.

6. Proyección del Presupuesto en la Implementación del Plan de Mantenimiento Preventivo

Para realizar la proyección de presupuesto si se implementa esta propuesta de plan de mantenimiento se tienen las siguientes consideraciones:

- Se estima un valor de costo de hora de mano de obra de un técnico de mantenimiento por un valor de \$30.000 COP
- Se realiza un estimado del tiempo de ejecución de las actividades validando con personal técnico
- Se realiza la estimación del costo por mes y se realiza la proyección al año para conocer el total del costo
- Se realiza el estimado para un elevador hidráulico de dos columnas, para calcular el total del costo para el taller autorizado se requiere realizar el cálculo por 6 equipos con los cuales cuenta el taller autorizado del cual es objeto de estudio de esta monografía.

A partir de estas consideraciones se plantea una tabla donde se enuncian las actividades propuestas con el tiempo estimado de su ejecución y el costo total por mes.

Tabla 11

Proyección de presupuesto del Plan de Mantenimiento Preventivo

Proyección Plan de Mantenimiento Elevadores Hidráulicos de Dos Columnas								
Componente	Concepto	Personal encargado	Frecuencia	Veces por año	Horas estimadas en la actividad	Tarifa por hora	Total en un mes	
Motor eléctrico de la bomba hidráulica	Revisión y ajuste de borneras	Técnico externo	3 meses	4	20 minutos	\$30,000	\$10,000	
	Revisión del estado del ventilador	Técnico externo	6 meses	2	10 minutos	\$ 30,000	\$5,000	
	Revisión superficial del estado del eje del motor	Técnico externo	6 meses	2	10 minutos	\$ 30,000	\$5,000	
	Revisión para identificar ruidos, vibración o temperatura anormal	Técnico externo	3 meses	4	15 minutos	\$ 30,000	\$7,500	
Fusibles eléctricos	Revisión del estado con multímetro	Técnico externo	6 meses	2	15 minutos	\$ 30,000	\$7,500	
Mangueras, acoples, racores, conexiones	Revisión visual buscando identificar fugas o porosidades en las líneas	Operario del equipo	1 mes	12	15 minutos	\$ 30,000	\$7,500	

Proyección Plan de Mantenimiento Elevadores Hidráulicos de Dos Columnas							
Componente	Concepto	Personal encargado	Frecuencia	Veces por año	Horas estimadas en la actividad	Tarifa por hora	Total en un mes
Cilindros hidráulicos	Revisión visual buscando identificar fugas	Operario del equipo	1 mes	12	10 minutos	\$ 30,000	\$5,000
	Revisión para identificar ruidos, vibración o temperatura anormal	Técnico externo	3 meses	4	10 minutos	\$ 30,000	\$5,000
	Revisión de estado superficial del vástago de cilindro	Técnico externo	1 mes	12	15 minutos	\$ 30,000	\$7,500
Empaques, sellos	Revisión visual buscando identificar fugas	Operario del equipo	1 mes	12	20 minutos	\$ 30,000	\$10,000
Interruptores de control	Validación de funcionamiento de pulsadores	Operario del equipo	1 mes	12	5 minutos	\$ 30,000	\$2,500
Líneas hidráulicas general	Revisión visual buscando identificar fugas o porosidades en las líneas	Operario del equipo	1 mes	12	15 minutos	\$ 30,000	\$7,500

Proyección Plan de Mantenimiento Elevadores Hidráulicos de Dos Columnas							
Componente	Concepto	Personal encargado	Frecuencia	Veces por año	Horas estimadas en la actividad	Tarifa por hora	Total en un mes
Empaques, sellos	Revisión visual buscando identificar fugas o porosidades en las líneas	Operario del equipo	1 mes	12	20 minutos	\$ 30,000	\$ 10,000
Estructura del equipo	Revisión del anclaje de pernos (Realizar apriete a 150 lb/ft) No usar llave de impacto	Operario del equipo	1 mes	12	20 minutos	\$ 30,000	\$ 10,000
	Revisión del torque de tuercas de guayas principales	Operario del equipo	1 mes	12	15 minutos	\$ 30,000	\$ 7,500
	Revisión de caucho de los soportes de los brazos	Operario del equipo	1 mes	12	15 minutos	\$ 30,000	\$ 7,500
Poleas	Revisión de buen estado de los elementos	Operario del equipo	Diario	365	10 minutos	\$ 30,000	\$ 150,000
	Revisión visual de desgaste entre canales y alineación de poleas	Operario del equipo	1 mes	12	10 minutos	\$ 30,000	\$ 5,000

Proyección Plan de Mantenimiento Elevadores Hidráulicos de Dos Columnas							
Componente	Concepto	Personal encargado	Frecuencia	Veces por año	Horas estimadas en la actividad	Tarifa por hora	Total en un mes
Cadenas	Revisión visual del estado de los eslabones	Operario del equipo	Diario	365	10 minutos	\$ 30,000	\$150,000
	Lubricar cadena de cada columna	Operario del equipo	Diario	365	15 minutos	\$ 30,000	\$225,000
Guayas	Revisión del buen estado de elementos, que no se encuentren con hilos sueltos ni dobleces	Operario del equipo	Diario	365	10 minutos	\$ 30,000	\$150,000
Engranajes soportes levante	Revisión del buen estado de los dientes	Operario del equipo	1 mes	12	10 minutos	\$ 30,000	\$150,000
	Lubricar dientes de soportes	Operario del equipo	15 días	24	10 minutos	\$ 30,000	\$10,000
Válvula seguridad descenso	Revisión de fugas en válvula de seguridad	Operario del equipo	1 mes	12	10 minutos	\$30,000	\$150,000
	Verificación de funcionamiento de válvula (Que el cilindro no se devuelva	Operario del equipo	1 mes	12	10 minutos	\$30,000	\$150,000

Proyección Plan de Mantenimiento Elevadores Hidráulicos de Dos Columnas							
Componente	Concepto	Personal encargado	Frecuencia	Veces por año	Horas estimadas en la actividad	Tarifa por hora	Total en un mes
	de la posición fijada)						
Cilindros hidráulicos	Realizar prueba de ascenso y descenso, validar tiempos y comparar con lo que recomienda el fabricante	Técnico externo	3 meses	4	10 minutos	\$30,000	\$5,000

Resumen de la proyección de presupuesto:

- Al realizar la proyección en un año (Ver anexos) de las actividades preventivas que deben hacerse en los elevadores hidráulicos de dos columnas, se tiene un total estimado de costo por equipo de \$9'505.000
- Las actividades que mayor costo tienen en el plan de mantenimiento preventivo son las actividades diarias ejecutadas por el operario a cargo, como es el caso de la revisión de guayas, revisión y lubricación de cadenas y revisión de poleas

7. Conclusiones

En este trabajo se plantea una propuesta de plan de mantenimiento preventivo para los equipos elevadores hidráulicos de dos columnas, sin embargo, es importante aclarar que dentro de las estimaciones no se tuvieron en cuenta los costos y repercusiones de los eventos correctivos que se presenten como recambio de piezas o intervenciones más profundas, es por esto que para la persona que administre este tipo de activos puede servirle como una base para preservar el óptimo funcionamiento de los mismos, reducir costos y dar respuesta a procesos de auditoría o cumplimiento normativo, sin embargo es recomendado contemplar dichos eventos correctivos a futuro.

Es importante aclarar también que dentro de las actividades que se plantean en esta monografía no fueron tenidas en cuenta actividades preventivas basadas en la condición del equipo, como es el caso de análisis de vibraciones, termografías, análisis por ultrasonido, entre otros, las cuales si se llegase a requerir pueden representar un costo elevado debido a la complejidad de los equipos y el requerimiento de personal capacitado en la utilización de los mismos, así como de la interpretación de sus resultados, sin embargo son equipos que prestan una ayuda adicional muy útil con la finalidad de predecir fallas.

Referencias Bibliográficas

- Leiva, G. A. (2017). *Propuesta de plan de mantenimiento a elevadores de columnas hidráulicos*. Universidad Técnica Federico Santa María, 6-8.
- Mayra Alejandra Beltrán, Y. F. (2014). *Definición de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos clasificados como críticos e identificación de las fallas mecánicas de mayor impacto en la planta de producción de Italcold S.A. Barranquilla*. Universidad de la Costa, facultad de Ingenierías, 38-43.
- Moubray, J. (1991). *Reliability Centered Maintenance (Vol. Second)*. Leicester UK: Industrial Press. Ro
- tary Lift. (s.f.) *Historia* <https://rotarylif.com/legacy/>
- Viera, P. R. (2012). *Reconstrucción e implementación de un elevador de dos columnas*. Universidad Internacional del Ecuador, 5-23.