

2017

# PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO A ELEVADORES DE COLUMNAS HIDRÁULICOS

MANCILLA LEIVA, GABRIEL ANDRÉS

---

<http://hdl.handle.net/11673/39995>

*Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO A  
ELEVADORES DE COLUMNA HIDRAULICOS.**

Trabajo de Titulación para optar al  
Título de Técnico Universitario en  
MANTENIMIENTO  
INDUSTRIAL

Alumno:  
Gabriel Andrés Mancilla Leiva

Profesor Guía:  
Ing. Andrés Aránguiz Garrido

**2017**

## **RESUMEN**

**KEYWORDS:** PROPUESTA, ANÁLISIS, MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

En este trabajo de título se plantea como objetivo la creación y propuesta de un plan de mantenimiento para los equipos de elevadores de columnas hidráulicos. Como objetivos específicos se considera, el buscar una problemática asociada a los equipos con la cual se deberá optar por una solución, la aplicación de la herramienta de mantenimiento denominada R.C.M. y un análisis vibratorio a los elevadores hidráulicos con el fin de conocer sus estados actuales.

En el capítulo uno se realiza la presentación del área donde se encuentran los equipos de la entidad, en este caso en el box de la carrera de Mecánica Automotriz de la Universidad Técnica Federico Santa María sede de Viña del Mar, en donde se ubican tres elevadores automotrices, dos elevadores de dos columnas y un elevador de cuatro columnas. También dentro de este capítulo se muestran los diferentes tipos de elevadores, sus funciones e informaciones técnicas encontradas para cada uno de los equipos respecto a su funcionamiento y capacidades. Finalmente se presenta la problemática relacionada a los equipos y como esta afectara a la entidad y sus departamentos asociados, para así posteriormente proponer una solución a dicha problemática.

En el capítulo dos del trabajo se plantea el problema de los equipos, el cual establece la relación entre la falta de una mantención y las posibles consecuencias de estos. Se explica el término de mantenimiento y una herramienta utilizada para la elaboración de un plan de mantenimiento, esta herramienta tiene el nombre de mantenimiento centrado en la confiabilidad o R.C.M. Para la gestión del plan de mantenimiento se plantea una criticidad de equipos para posteriormente aplicarle la metodología del R.C.M. asociada con el análisis de F.M.E.C.A., con lo cual se podrán obtener los modos de fallas existentes en los equipos y mediante un diagrama de decisiones, las tareas asignadas para evitar dichas fallas.

En el capítulo 3 se realizar un análisis vibratorio a las bombas hidráulicas de los equipos, con la finalidad de conocer el estado actual de las bombas y posibles fallas en base a la normativa 10816-1, la cual nos da los parámetros vibratorios para equipos con potencia menores a 15[kW]. También en complementación de este análisis, se realiza una medición termográfica para el seguimiento de las temperaturas de las bombas. Finalmente se propone, gracias a los resultados obtenidos mediante el R.C.M., el F.M.E.C.A., el análisis vibratorio y termográfico, un plan de mantenimiento basado en un mantenimiento

predictivo, proponiendo actividades que favorezcan la disponibilidad y confianza de los elevadores de columnas.

Concluyendo, se obtiene la realización del plan predictivo, el análisis de vibraciones y experiencia de trabajo en dichas actividades, además como recomendación se sugiere el seguimiento y revisión del estado del motor del elevador de columnas que más daño demostró en sus vibraciones bajo la norma 10816-1.

## ÍNDICE

**RESUMÉN**

**SIGLAS Y SIMBOLOGIAS**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>2</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>2</b>
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>2</b>
<b>CAPITULO 1: ENTIDAD Y DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS</b>	<b>3</b>
<b>1.1. SEDE JOSE MIGUEL CARRERA</b>	<b>4</b>
1.1.1. Departamento de mecánica.	4
1.1.2. Talleres de Mecánica Automotriz	5
1.1.3. Equipos del box automotriz.	6
<b>1.2. ELEVADOR HIDRAULICO AUTOMOTRIZ</b>	<b>6</b>
1.2.1. Funcionamiento de los elevadores de columnas hidráulicos.	7
<b>1.3. TIPOS DE ELEVADORES HIDRAULICOS AUTOMOTRICES</b>	<b>8</b>
1.3.1. Elevadores desde llantas	8
1.3.2. Elevadores desde carrocería:	8
<b>1.4. TIPOS DE ELEVADORES DE DOS COLUMNAS</b>	<b>10</b>
1.4.1. Elevador de dos columnas simétrico	10
1.4.2. Elevador de dos columnas asimétrico	11
<b>1.5. ELEVADORES DEL TALLER</b>	<b>12</b>
1.5.1. Elevador de dos columnas	12
1.5.2. Elevador de cuatro columnas	12
<b>1.6. PROBLEMATICA</b>	<b>14</b>
1.6.1. Propuesta a la problemática.	16
<b>CAPITULO 2: CONCEPTO DEL MANTENIMIENTO Y APLICACIÓN DEL RCM EN CONJUNTO AL F.M.E.C.A.</b>	<b>17</b>
<b>2.1. PROBLEMA ASOCIADO A LOS EQUIPOS</b>	<b>18</b>
<b>2.2. EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>	<b>18</b>
2.2.1. Concepto y definición.	18
2.2.2. Tipos de Mantenimientos	19
<b>2.3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD.</b>	<b>20</b>
2.3.1. Definición y objetivo.	20
2.3.2. Las 7 preguntas	20
2.3.3. Análisis de criticidad de equipos.	22

<b>2.4.</b>	<b>ANÁLISIS DE MODO DE FALLA</b>	<b>24</b>
2.4.1.	Tabla de F.M.E.C.A.	25
2.4.2.	Efectos y severidad de los modos de fallas	32
2.4.3.	Detección de los modos de fallas	33
2.4.4.	NPR y acciones recomendadas	34
<b>2.5.</b>	<b>DIAGRAMA DE DECISIONES R.C.M.</b>	<b>36</b>
2.5.1.	Actividades de mantenimiento	37
<b>CAPITULO 3: ANÁLISIS VIBRATORIO Y ELABORACIÓN DE LA</b>		
<b>PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO</b>		<b>44</b>
<b>3.1.</b>	<b>ANÁLISIS VIBRATORIO</b>	<b>45</b>
3.1.1.	Recopilación de datos mediante análisis de vibración.	45
3.1.2.	Software de vibraciones	47
<b>3.2.</b>	<b>ANÁLISIS VIBRATORIO</b>	<b>47</b>
3.2.1.	Elevador de dos columnas EE-6214-1820	47
3.2.2.	Análisis de espectro del elevador EE-6214-1820	48
3.2.3.	Elevador de dos columnas EE-6214-1826	49
3.2.4.	Análisis de espectro del elevador EE-6214-1826	50
3.2.5.	Elevador de cuatro columnas SCT-4150F	51
3.2.6.	Análisis de espectro del elevador SCT-4150F	51
3.2.7.	Resultados del análisis vibratorio	54
3.2.8.	Monitoreo Termográfico	54
<b>3.3.</b>	<b>PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO</b>	<b>56</b>
3.1.1.	Recopilación de información	56
3.1.2.	Precauciones generales	56
<b>3.2.</b>	<b>PLAN DE MANTENIMIENTO</b>	<b>57</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>60</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		<b>61</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>62</b>

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Sede Viña del mar
Figura 1-2.	Organigrama del departamento para propuesta del plan de mantenimiento.

- Figura 1-3. Representación de la ubicación de puestos de trabajo.
- Figura 1-4. Primer Elevador
- Figura 1-5. Principio de pascal en elevadores.
- Figura 1-6. Diferentes tipos de elevadores.
- Figura 1-7. Elevador de cuatro columnas box Mecánica Automotriz.
- Figura 1-8. Elevador de dos columnas box Mecánica Automotriz.
- Figura 1-9. Posición de los brazos de levantamiento en columnas simétricas y asimétricas.
- Figura 1-10. Brazos de levantamiento elevadores 2 columnas.
- Figura 1-11. Datos en las placas de los equipos.
- Figura 1-12. Diagrama hidráulico elevador dos columnas.
- Figura 1-13. Diagrama hidráulico elevador 4 columnas.
- Figura 1-14. Problemas asociados a causa de fallas en equipos.
- Figura 2-1. Fórmula para obtener número prioritario de riesgo.
- Figura 2-2. Diagrama de decisiones de R.C.M.
- Figura 3-1. Montaje de transductores.
- Figura 3-2. Severidad de vibración Norma ISO 10816-1.
- Figura 3-3. Resultados vibratorios elevador EE-6214-1820.
- Figura 3-4. FFT de elevador EE-6214-1820, punto horizontal.
- Figura 3-5. Resultados vibratorios elevador EE-6214-1826.
- Figura 3-6. FFT de elevador EE-6214-1826, punto horizontal.
- Figura 3-7. Resultados vibratorios elevador SCT-4150F
- Figura 3-8. Forma de onda del elevador SCT-4150F.
- Figura 3-9. Beat en la forma de onda.
- Figura 3-10. Amplificación de la onda.
- Figura 3-11. FFT de elevador SCT-4150F, punto vertical.
- Figura 3-12. Compilación de fotos termográficas.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1.	Escala de frecuencia.
Tabla 2-2.	Clasificación de la severidad.
Tabla 2-3.	Matriz de criticidad.
Tabla 2-4.	Criticidad de equipos.
Tabla 2-5.	Funciones principales de los equipos.
Tabla 2-6.	Modos de falla y efectos en elevadores de dos columnas.
Tabla 2-7.	Modos de falla y efectos en elevador de cuatro columnas.
Tabla 2-8.	Severidad de los modos de falla.
Tabla 2-9.	Ocurrencia de los modos de falla.
Tabla 2-10.	Ocurrencia de los modos de falla.
Tabla 2-11.	Número de probabilidad de riesgo.
Tabla 2-12.	Jerarquización de N.P.R. aplicando a los modos de falla.
Tabla 2-13.	Ejemplo de tabla de resultados del diagrama de decisiones.
Tabla 2-14.	Resultados del diagrama de decisiones.
Tabla 3-1.	Clase de equipos según su potencia.
Tabla 3-2.	Síntomas vibratorios en motores eléctricos.
Tabla 3-3.	Temperaturas obtenidas con cámara termográfica.
Tabla 3-4.	Plan de mantenimiento a equipo STC-4150F.
Tabla 3-5.	Plan de mantenimiento a equipos EE-6214-1820 y EE-6214-1826

## SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

### SIGLAS

RCM:	Reliability Centred Maintenance.
FMECA:	Failure Mode, Effects and Criticality Analysis.
UTFSM:	Universidad Técnica Federico Santa María.
SAE:	Society of Automotive Engineers.
NPR:	Número de Probabilidad de Riesgo.
RPM:	Revolutions Por Minuto.
ISO:	International Organization for Standarization.
FFT:	Fast Fourier Transform.
CPM:	Ciclos Por Minutos.
1X:	En el FTT la 1x se entiende por la revolución nominal del equipo.
2X:	El doble de la 1x.
2FL:	En el FTT corresponde al doble de la frecuencia del motor.

### SIMBOLOGÍAS:

[lbs]:	Libras.
[Kg]:	Kilogramos.
[mm]:	Milímetros.
[mpa]:	Mega pascales.
[mm/s]:	Milímetros en segundos.
T°:	Temperatura.
C°:	Grados Celsius.

## **INTRODUCCIÓN**

Hoy en día el mantenimiento pasó a ser un tema de suma importancia cuando se refiere a una empresa o a cualquier equipo de producción. La ausencia de este puede generar varias pérdidas de ganancia, instrumentación, remuneraciones y en algunos casos daños a personas.

La implementación de un plan de mantenimiento es una obligación para cualquier empresa o institución que desee mantener un control constante sobre sus maquinarias, ya sea en su tiempo de vida útil, como en el tiempo activo-operacional de estas. Ya que existen muchos tipos de maquinarias, y muchas formas de utilizarlas, es necesario crear un plan de mantenimiento adecuado para cada una de ellas, puesto de que a pesar de que existen variables repetitivas en el modo de mantención de los equipos, siempre es necesario considerar otras variables que afecten en la operación de estos, los cuales pueden generar problemas puntuales.

En los talleres automotrices de la Universidad Técnica Federico Santa María se tienen maquinarias con valores superando al millón de pesos por equipo, los cuales no poseen un plan de mantenimiento aplicable, y la única solución considerada para estas maquinarias es aplicar un mantenimiento correctivo o correr el riesgo de que el equipo simplemente falle.

Los alumnos de la universidad utilizan estos equipos frecuentemente para su capacitación y actividades regulares, por lo cual no debiese ser aceptable la detención de uno de los equipos por una falla. Con el fin de impedir desgaste, fallas y detenciones no esperadas en el futuro, en este trabajo de título se propondrá un plan de mantenimiento predictivo, el cual estará encargado de la planificación de actividades de monitoreo y análisis de los componentes del equipo y sus posibles futuras fallas.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Proponer un plan de mantenimiento predictivo adecuado para los equipos de elevadores de columna de los talleres automotrices de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar para mejorar su disponibilidad.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Encontrar la problemática asociada a los equipos, mediante la recopilación de información y antecedentes de estos, para proponer una solución apta a sus estados
- Aplicar la metodología del R.C.M. mediante la herramienta del F.M.E.C.A. para encontrar las actividades más efectivas para las posibles fallas.
- Revisar los estados vibratorios de cada bomba hidráulica mediante un medidor de vibraciones para análisis de estados actuales y futuros.

## **CAPITULO 1: ENTIDAD Y DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS**

## 1. ENTIDAD Y DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

### 1.1. SEDE JOSE MIGUEL CARRERA

La sede José Miguel Carrera de la Universidad Federico Santa María consta con seis departamentos, cada uno de ellos especializados en sus áreas para la formación educativa de futuros técnicos e ingenieros. Los departamentos que se encuentran son, el departamento de ciencias, construcción y prevención de riesgo, diseño y manufactura, electrotecnia e informática, química y medio ambiente y finalmente el de mecánica.

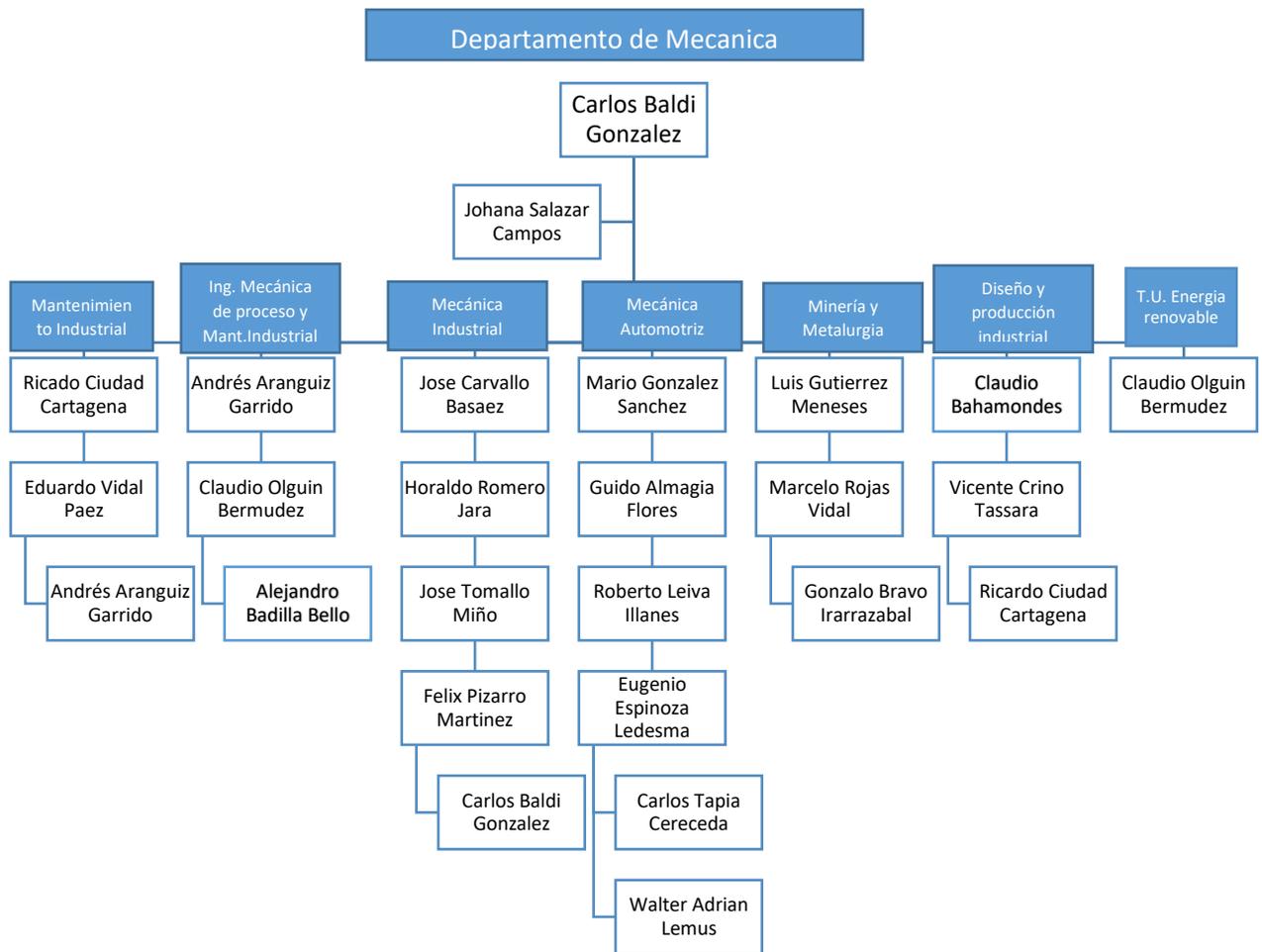
#### 1.1.1. Departamento de mecánica.

El departamento de mecánica se ramifica en seis carreras; véase en la figura 1-2 Organigrama del departamento para propuesta de plan de mantenimiento; dentro de estas se encuentra la de Mecánica Automotriz; véase en la figura 1-1 Sede de Viña del Mar en el edificio identificado con la letra “C”; una carrera formada para le especialización de técnicos automotrices, preparándolos para la administración y la mantención en vehículos gracias a los talleres que los alumnos utilizan dentro de su formación.



Fuente: Mapa de la UTFSM Sede Viña del Mar

Figura 1-1. Sede Viña del Mar



Fuente: Departamento de Mecánica USM sede Viña del Mar

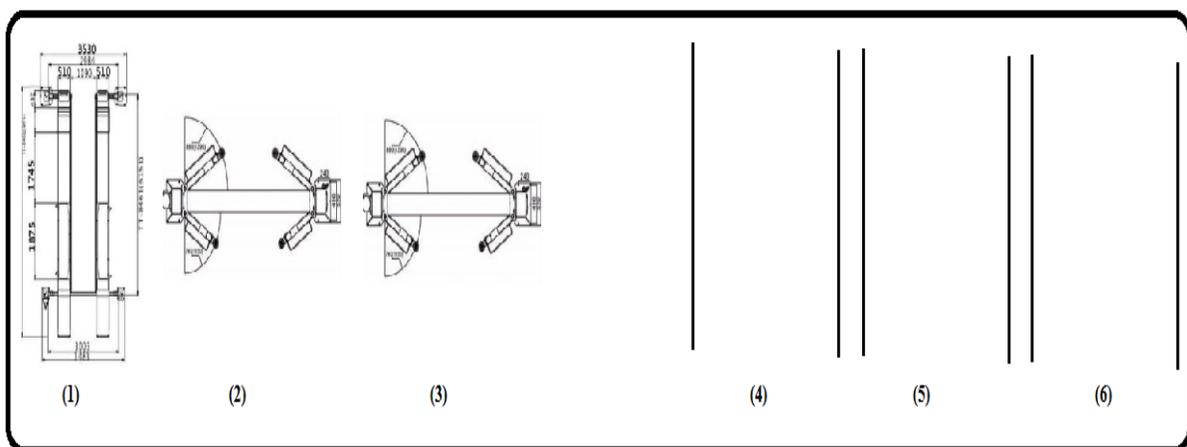
Figura 1-2. Organigrama del departamento para propuesta del plan de mantenimiento

### 1.1.2. Talleres de Mecánica Automotriz

La carrera consta con diferentes talleres para la especialización de los estudiantes, en los cuales se puede encontrar talleres para motores hasta para cajas de cambios. Dentro de estos se puede encontrar el box automotriz, figura 1-1 Sede de Viña del Mar en el recuadro identificado con la letra “W” detrás el edificio “C”, el cual cuenta con seis puestos de trabajos para la realización de actividades de diagnósticos de sistemas de inyección, reparación de alumbrado, cambio de aceite, mantenimiento a sistema de frenos, dirección suspendida y mantención. Estas actividades se pueden realizar en el piso o en elevación gracias equipos hidráulicos que se encuentran en él.

### 1.1.3. Equipos del box automotriz.

Como se mencionó anteriormente, este box tiene seis puestos de trabajos, tres de ellos corresponden, a los que sus actividades, se realizan con el vehículo en el piso, teniendo los implementos necesarios para la realización de estas, tales como conexiones eléctricas y presión de aire. Los siguientes tres puestos corresponden a los espacios en los cuales se pueden encontrar los equipos elevadores de columna hidráulica; véase en la figura 1-3 Representación de la ubicación de los puestos de trabajo.



Fuente: elaboración propia

Figura 1-3 Representación de la ubicación de puestos de trabajo

## 1.2. ELEVADOR HIDRAULICO AUTOMOTRIZ

Los elevadores de columnas hidráulicos son equipos mecánicos utilizados para levantar objetos de gran peso, particularmente vehículos automotrices.

Fue inventado en 1924 por un mecánico automotriz en Memphis. Peter Lunati, inspirado por una silla de barbero la cual se elevaba en aumento con la presión del aire, basando así su primer prototipo con los mismos principios físicos, véase en la figura 1-4 primer elevador, a partir de esto comenzó a realizar mejoras al diseño.

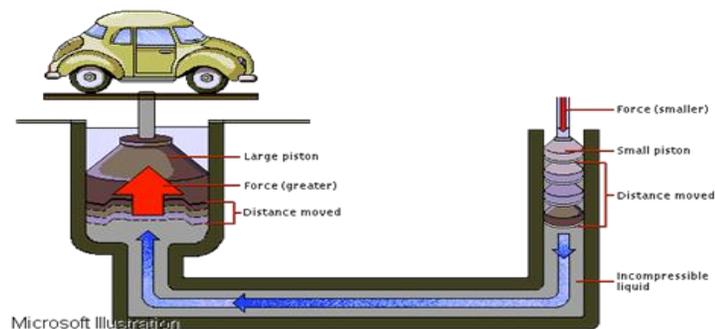


Fuente: Biografía Peter Lunati, Rotary lift

Figura 1-4. Primer elevador

#### 1.2.1. Funcionamiento de los elevadores de columnas hidráulicas.

En los elevadores de columnas hidráulicas se aplica el principio de pascal para lograr su funcionamiento. Este puede ser resumido como: “la fuerza ejercida en cualquier lugar de un fluido encerrado e incompresible se transmite por igual en todas las direcciones en todo el fluido, es decir, la presión en todo el fluido es constante.”, esto quiere decir que, aplicando fuerza en una superficie de un cilindro menor, la presión de esta permitirá la elevación a la superficie de un cilindro mayor. En términos sencillos, los brazos de los elevadores son sostenidos por dos cilindros los cuales son eyectados gracias a un aceite hidráulico que es impulsado por una bomba hidráulica con accionamiento eléctrico desde su estanque para poder elevar o levantar objetos pesados como autos, camionetas y hasta buses, como se puede apreciar en la figura 1-5 Principio de pascal en elevadores.



Fuente: Sistema hidráulico, galeón.

Figura 1-5. Principio de pascal en elevadores

### 1.3. TIPOS DE ELEVADORES HIDRAULICOS AUTOMOTRICES

Existen diferentes tipos de elevadores, estos se distinguen unos de otro según su eficacia en el trabajo, la estructura que tienen y el espacio dimensional que utilizan los vehículos, como se ven en la figura 1-6 diferentes tipos de levadores. Estos se pueden dividir en dos grupos, el primero correspondería a los vehículos que se elevan desde su carrocería, el más conocido es el elevador de dos columnas, y el siguiente a los que se elevan desde sus llantas, en este el más conocido es el elevador de cuatro columnas.

#### 1.3.1. Elevadores desde llantas

- Elevador de cuatro columnas: si bien lo dice su nombre, la estructura de este elevador se compone de cuatro columnas en las cuales a través de una rampa las ruedas del vehículo son acomodadas para poder elevarlo, ofreciendo una gran versatilidad, véase en la figura 1-7 Elevador de cuatro columnas box mecánica automotriz, este tipo de elevador tiene gran capacidad y soporte comparados a los elevadores de dos columnas. No necesita de anclaje en el suelo de tal forma que los elevadores de cuatro columnas de menor capacidad pueden ser cambiados de su lugar de ocupación.
- Elevadores de columnas portátiles: la idea principal de estos elevadores va en que mientras más grande y pesado es un objeto que se quiera levantar, simplemente debe añadir más elevadores de columnas según la necesidad del trabajo a realizar.
- Elevadores para alineamiento: son utilizados con el fin de mejorar la tarea de alineamientos a los vehículos gracias a sus platos de alineación localizados en la parte delantera y los platos deslizantes en su parte trasera que ofrecen mayor precisión.

#### 1.3.2. Elevadores desde carrocería:

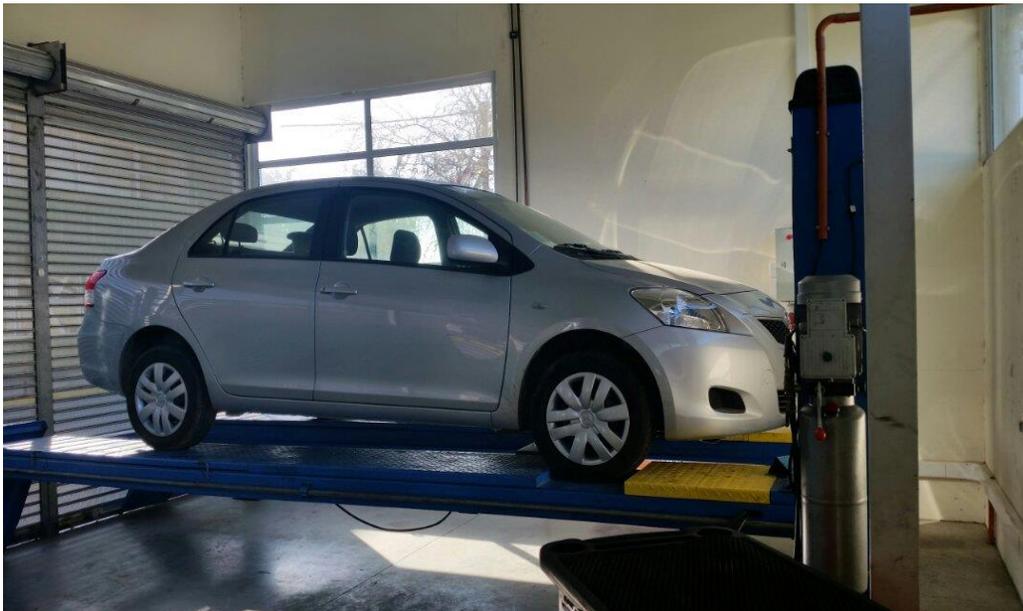
- Elevador de dos columnas: este elevador consta de dos columnas las cuales tienen unos brazos que se acomodan según el punto medio de peso o de equilibrio del vehículo para lograr su elevación, véase en la figura 1-8 Elevador de dos columnas box Mecánica Automotriz. Es el más común dentro del mercado, casi esencial en un taller automotriz profesional hoy en día. Sin embargo, una gran desventaja son que sus columnas impiden la movilidad en el trabajo.

Si bien estos elevadores son bastante versátiles en su trabajo, requieren de condiciones necesarias para su perduración, como es el estar en un lugar bajo techo lo cual impida que impida el ingreso de humedad y factores externos como puede ser la tierra o polvo.



Fuente: Elevadores hidráulicos, Rotary lift

Figura 1-6 Diferentes tipos de elevadores



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-7. Elevador de cuatro columnas box Mecánica Automotriz



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-8. Elevador de dos columnas box Mecánica Automotriz

#### 1.4. TIPOS DE ELEVADORES DE DOS COLUMNAS

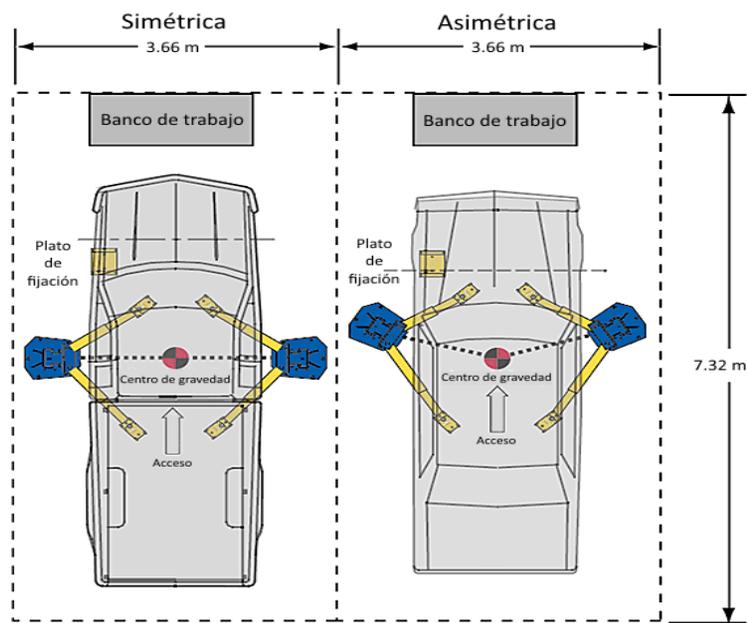
Los elevadores de dos columnas se separan en dos tipos según la forma de lograr balance en los diferentes tipos de vehículos, como se pueden apreciar en la figura 1-9 posición de los brazos de levantamiento en columnas simétricas y asimétrica. Por otra parte, ambos tienen en sus funciones un sistema de seguridad con el cual se activa un sistema de cuñas que se enganchan de los pilares ayudando a sostener el peso de los vehículos.

##### 1.4.1. Elevador de dos columnas simétrico

En estos tipos de elevadores los brazos de levantamiento están simétricos los unos al otro con el fin de lograr un punto central del balance del vehículo y lograr levantar de esta forma los vehículos de gran peso como camionetas o vehículos comerciales, con capacidades hasta 18.000 [lbs]

#### 1.4.2. Elevador de dos columnas asimétrico

Los elevadores asimétricos centran su carga en la parte trasera del vehículo, logrando la estabilización del equilibrio para eficacia en los trabajos, como se ve en la figura 1-10 Brazos de levantamiento elevadores de 2 columnas. Ideales para vehículos compactos o para vehículos de pasajeros, son capaces de levantar hasta 10.000 [lbs].



Fuente Elevadores hidráulicos, Rotary Lift

Figura 1-9 Posición de los brazos de levantamiento en columnas simétricas y asimétricas



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-10. Brazos de levantamiento elevadores 2 columnas.

## 1.5. ELEVADORES DEL TALLER

En el box de mecánica automotriz se pueden encontrar dos equipos de elevadores de dos columnas y un elevador de cuatro columnas. De momento estos equipos son utilizado para los talleres de los alumnos de su carrera para lograr su especialización en la utilización de estos equipos. Los datos técnicos de los equipos se pueden encontrar en sus respectivas placas, como se muestra en la figura 1-11 Datos en las placas de los equipos.

### 1.5.1. Elevador de dos columnas

Dos de los elevadores de dos columnas son asimétricos y correspondiente al número de modelo EE-6214, estos tienen las siguientes características técnicas:

- Su capacidad de elevación es de 4.000 [Kg].
- Su altura máxima de elevación es de 1.900[mm].
- Su altura mínima de elevación es de 90[mm].
- El tiempo que demora en lograr la elevación corresponde a 55 segundos.
- La potencia del motor es de 2.2[kW].
- Su fuente de alimentación corresponde a un consumo de 220/389[V], 50/60[Hz].
- Su aceite debe ocupar una presión de 18[Mpa].

### 1.5.2. Elevador de cuatro columnas

El elevador de cuatro columnas correspondiente al número de modelo SCT-4150F, posee las siguientes características técnicas para su funcionamiento:

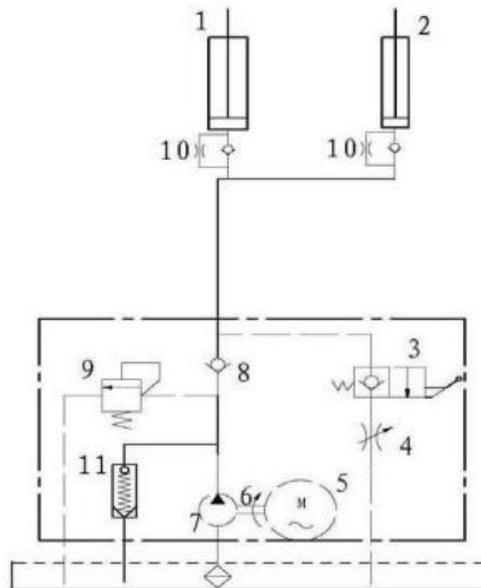
- Su capacidad máxima de elevación es de 5.000[Kg].
- Su altura máxima de elevación es de 1.750[mm].
- Su altura mínima de elevación es de 240[mm]
- El tiempo que demora en lograr la elevación corresponde a 50 segundos.
- El tiempo de bajada es de 24 segundos.
- La potencia del motor es de 3.0[kW].
- Su fuente de alimentación corresponde a un consumo de 220/380[V], 50/60[Hz]
- Su aceite debe ocupar una presión de 20[Mpa].



Fuente: Elaboración propia

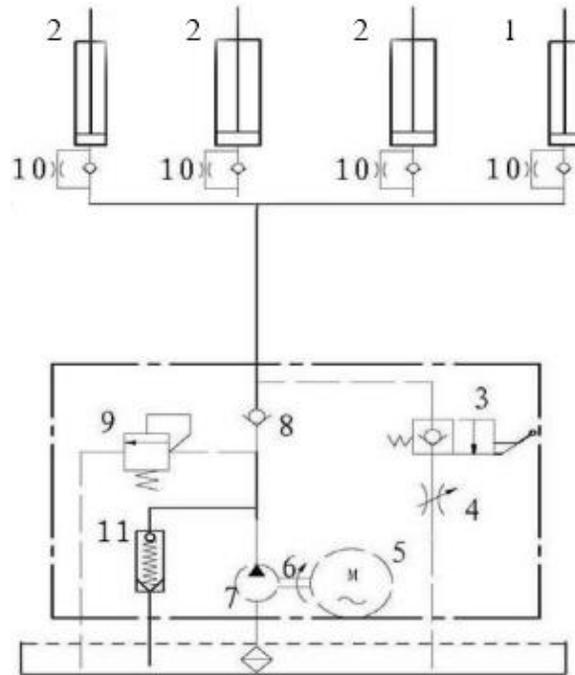
Figura 1-11. Datos en las placas de los equipos

Los elevadores tanto de dos columnas como de cuatro columnas disponen de similares características técnicas, las diferencias mínimas que estos poseen se encuentran en su diseño estructural y en la eficacia del trabajo deseado



Fuente: Manual Elevador 2 columnas 6214

Figura 1-12. Diagrama hidráulico elevador dos columnas



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-13. Diagrama hidráulico elevador 4 columnas

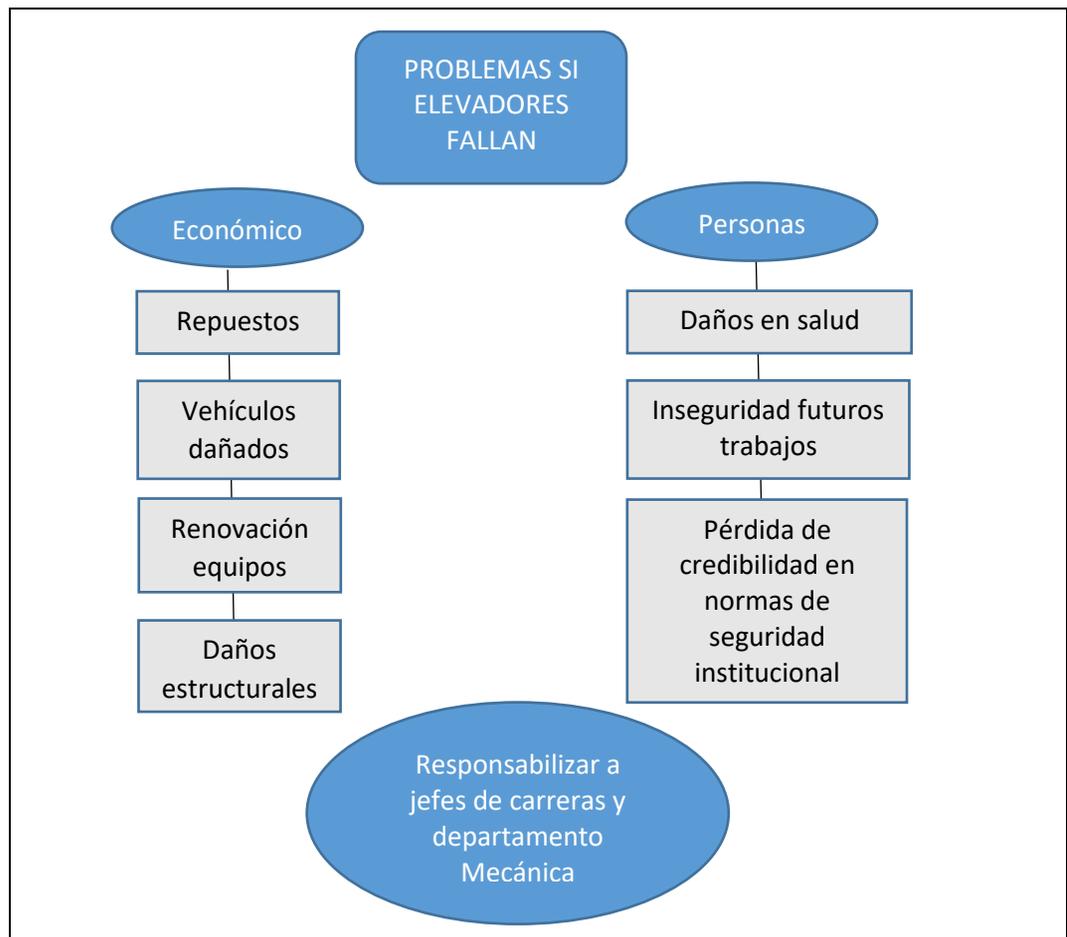
- 1. Cilindro principal.
- 2. Cilindro apoyo.
- 3. Válvula descarga manual
- 4. Estrangulador
- 5. Motor
- 6. Acoplamiento
- 7. Bomba hidráulica
- 8. Válvula de retención.
- 9. Válvula limitadora de presión.
- 10. Regulador de caudal
- 11. Válvula anti retorno.

## 1.6. PROBLEMATICA

Si bien estos equipos son utilizados en la universidad de forma constante cada año desde su compra, hasta la fecha no han sufrido ningún tipo de problema, sin embargo, eso no quita la posibilidad de que estos empiecen a fallar en algún momento. Las

actividades que se le realizan a dichos equipos son simplemente la limpieza y engrase de los cordones de acero una vez al año, fuera de eso los equipos presentan una clasificación de mantenimiento correctivo, dado que esperan a que el equipo sufra un desperfecto para poder arreglarlo. La ausencia de actividades preventivas de mantenimiento en los elevadores puede traer consecuencias a las actividades diarias realizadas por los cursos de mecánica automotriz. Estas pueden producir fallas inesperadas en los equipos generando diferentes riesgos que se deberán asumir, se presentarían gastos no esperados dependiendo de la severidad de la falla produciendo un movimiento no programado de recursos por parte del Departamento de Mecánica, como se presenta en la figura 1-12 Problemas asociados a las fallas de los equipos, por otro lado se genera una pérdida de infraestructura para la educación y desarrollos de los alumnos, tomando en cuenta de los riesgos que se presentan a la hora de levantar un vehículo, no se puede permitir una falla inesperada por la propia seguridad del personal que está operando los equipos y trabajando en el sector, que en este caso serían los propios alumnos de la institución.

Los equipos al no tener un monitoreo de las fallas e información del estado real nos dan como resultado un tiempo indeterminable e impredecible de sus futuras fallas.



Fuente Elaboración propia

Figura 1-14. Problemas asociados a causa de fallas en equipos

#### 1.6.1. Propuesta a la problemática.

Para mantener la seguridad del alumnado y trabajadores en el box de mecánica automotriz, además de pérdidas innecesarias en costos de reparación y reemplazo de sus componentes, es necesario considerar la realización de un plan de mantenimiento enfocado en los puntos críticos del equipo tales como son el motor hidráulico, el sistema hidráulico y sus poleas. Para verificar el estado actual de los equipos se realizará una medición vibratoria en sus partes analizando las fallas actuales como las que se podrán tener a futuro. Generando de esta forma un plan de mantenimiento predictivo, el cual propondrá una esporádica revisión y seguimiento de los equipos para de esta forma mantenerlos controlados y en óptimo estado para su utilización.

**CAPITULO 2: CONCEPTO DEL MANTENIMIENTO Y APLICACIÓN DEL**  
**RCM EN CONJUNTO AL F.M.E.C.A.**

## **1. CONCEPTO DEL MANTENIMIENTO Y APLICACIÓN DEL R.C.M. EN CONJUNTO AL F.M.E.C.A.**

### **2.1. PROBLEMA ASOCIADO A LOS EQUIPOS**

En este capítulo se considera la información necesaria para la creación de un plan de mantenimiento de acuerdo a las necesidades de los equipos, tales como metodologías y análisis. Para esto se revisará los diferentes tipos de mantenimiento que existen, la metodología del mantenimiento R.C.M. en conjunto al F.M.E.C.A., la criticidad de los equipos que se encuentran y el análisis de vibraciones.

Como se había mencionado en el capítulo anterior, la problemática del equipo va relacionada con la ausencia de actividades de mantenimiento, pero a su vez, estas están asociadas a las posibles fallas que se presenten en los equipos del box automotriz. Para obtener las actividades necesarias a realizar en el mantenimiento, se deberá analizar las fallas principales que afectaran a los equipos.

### **2.2. EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

Para la creación de un plan de mantenimiento se debe tener noción de los diferentes tipos de mantenimiento existentes, con los cuales se podrá verificar cuál de estos es el más conveniente a las necesidades del comportamiento del equipo y su operación.

#### **2.2.1. Concepto y definición.**

El mantenimiento industrial es una combinación de actividades técnicas, gestión y administración durante un periodo de vida útil de un equipo o maquinaria destinada a mantenerla y conservarla en un estado óptimo, en la cual pueda seguir realizando su operación requerida.

Tiene como objetivos el asegurar que el equipo o maquinaria tenga una buena disponibilidad de sus funciones y en confiabilidad.

Entre las técnicas que se aplican para la prevención de fallas y averías, se realizan revisiones, reparaciones y reconstrucción de estructuras, engrases e instrucciones de operación cada tipo de máquina.

Hoy en día los mantenimientos son utilizados según sea la necesidad de las equipos o maquinarias industriales y de las industrias que las tengan.

### 2.2.2. Tipos de Mantenimientos

A lo largo de los años se han presentado diferentes tipos de mantenimientos, estos aparecen o se crean según las necesidades de las industrias y de las máquinas, se implementan según el ingreso o la capacidad económica de cada industria, por ejemplo, una panadería que es considerada una industria de pequeño tamaño, no obstante, esta no necesitara para sus equipos un mantenimiento predictivo ya que el ingreso que esta tiene no es lo suficiente para poder adquirir equipos predictivos y para la realización de estas actividades en sus máquinas por el costo que conlleva. Por esto es que existen varios tipos de mantenimiento, de los cuales serán mencionados los tres más conocidos y utilizados:

- **Mantenimiento reactivo:** se aplica una vez que la maquinaria sufre una falla o avería. Su función principal consiste en reestablecer las funciones del equipo post-falla. Normalmente es realizado cuando la producción está detenida, por lo que la producción disminuye y los costos aumentan. Este se divide en dos mantenimientos, mantenimiento correctivo, el cual busca recuperar la función afectada en el equipo mediante reparaciones que solucionan el problema, pero no en su totalidad, dejando el equipo funcional pero no a su máxima capacidad operativa, y también el mantenimiento restaurativo, el cual en comparación al anterior logra la capacidad máxima del equipo, dejándolo como nuevo.
- **Mantenimiento preventivo:** el objetivo de este mantenimiento es procurar que el equipo no sufra ningún desperfecto a través de una serie de actividades programadas según su tipo, mecánico, eléctrico, electrónico, etc. A diferencia del mantenimiento correctivo este no necesita de una detención forzosa de la máquina para poder realizarse ya que debe disminuir la cantidad de intervenciones de mantenimiento correctivo. Este mantenimiento requiere de una supervisión y realización de un plan programado de las actividades necesarias para cumplir su función.

- **Mantenimiento Predictivo:** este mantenimiento busca mantener información permanente de los valores variables de los componentes de los equipos con el fin de anticipar algún tipo de falla o avería, al igual que el mantenimiento preventivo, este no requiere de una detención de la máquina. Para obtener la información de las variables se requieren de equipos de tecnología basada en indicadores, los cuales permiten mostrar los estados de la máquina y ser mostrado a personal calificado para la interpretación de estos. Las variables más comunes a obtener son las variables físicas tales como temperatura, energía consumida, vibraciones, sonido, etc.

### **2.3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD.**

En complementación al mantenimiento que se deberá escoger para la propuesta del plan, se aplicará una norma la cual aumentará la confiabilidad de los equipos en cuestión.

#### **2.3.1. Definición y objetivo.**

El mantenimiento centrado en la confiabilidad o también conocido como RCM, es una técnica para la elaboración de un plan de mantenimiento. Tiene como objetivo aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos disminuyendo el tiempo de detención de estos y sus costos asociados. También busca analizar las fallas críticas que se pueden originar y estudiar las consecuencias que estas traerían al equipo para así poder lograr una solución en actividades de mantenimiento indicadas o modificaciones si es necesario.

#### **2.3.2. Las 7 preguntas**

Para el inicio de la implementación de esta técnica, se deben considerar para el desarrollo las siguientes siete preguntas respecto los equipos, las cuales nos darán información respecto a las posibles fallas que se presentarían en estos.

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Para poder responder a la primera pregunta, se deberá considerar las funciones que los usuarios quieren que logre y asegurar de que sea capaz de realizarlo. Para esto se deben determinar las funciones que se esperan, separándolas en funciones primarias y secundarias. Las funciones primarias corresponden a la razón por la cual se adquirió el producto y las funciones secundarias a las funciones que son adicionales a las funciones primarias de este, estas pueden abarcar funciones como seguridad, control, protección, eficiencia operacional, apariencia del equipo entre otros más.

Para responder la tercera pregunta, se debe entender el concepto de falla funcional, el cual refiere a la ausencia de función principal del equipo o que no cumpla los parámetros aceptables para la realización de esta función. Posteriormente se deberá considerar la circunstancia por las que se produjeron la o las fallas y luego analizar los eventos que desataron estas causales, estos son conocidos como modos de falla. En los modos de falla se pueden encontrar causales que pueden ser ya existentes en otros equipos, pero para poder identificar las causas se deberá crear una lista de los errores causados por parte humana (operador y mantenedor) y diseño.

En la cuarta pregunta, deberá de considerar los efectos de falla que describen lo que ocurrió en cada modo de falla. Para esto se necesitará toda la información posible respecto a:

- La evidencia de que la falla ha ocurrido
- Si representa una amenaza en seguridad del personal y el medio ambiente.
- Como afectara a la operación del equipo.
- Los daños que ha causado la falla.
- Que se hará para reparar la falla.

Para la pregunta cinco se deberá considerar las consecuencias que provocarían estas fallas, una falla puede traer consecuencias a las operaciones del equipo, la seguridad del trabajo o al resultado de calidad en el trabajo. Por esto es que se debe tener en claro si es una consecuencia severa o no severa, una consecuencia severa nos traerá los problemas ya mencionados anteriormente, con la cual se deberá buscar una solución probablemente costosa y de mucho tiempo. Si es una consecuencia no severa, talvez no sea necesario más que una revisión, limpieza o mantenimiento de rutina.

Respecto a la pregunta seis, para prevenir las fallas, el R.C.M. propone el uso de actividades proactivas, esas son conocidas como actividades que se realizan antes de que suceda alguna falla, conocidas como mantenimiento preventivo y predictivo. En el caso no se lograra implementar las actividades proactivas ideales en el equipo, el R.C.M. propone soluciones como: analizar la falla, rediseñar el equipo y aplicación de un mantenimiento correctivo.

Posteriormente se recogerán las informaciones necesarias de los equipos con la finalidad de obtener los datos para realizar una correcta mantención. Mediante métodos de análisis criticidad de equipos y aplicación del F.M.E.C.A.

### 2.3.3. Análisis de criticidad de equipos.

En el box se encuentran los dos elevadores de dos columnas y un elevador de 4 columnas. Mediante este análisis se pretende conocer la criticidad de estos mediante un cálculo según su probabilidad de frecuencia de fallo y la consecuencia que este puede generar, respecto a su criticidad, se obtendrá cuál de estos equipos afectará al funcionamiento de las actividades realizadas en dicho box por los alumnos.

Para el análisis de los equipos se consideró el tiempo de adquisición de estos, el elevador de 4 columnas fue adquirido a finales del 2010 y los de dos columnas a finales del año 2013. También fue considerado que el elevador de 4 columnas utiliza el doble de repuestos a comparación de un elevador de dos columnas. Hasta el momento ninguno de estos equipos ha presentado una falla significativa por lo que se dejara un estandarizado de la frecuencia de falla como “algo probable” de la Tabla 2-2. Escala de frecuencia.

Tabla 2-1. Escala de frecuencia

ESCALA	TIPO DE EVENTO
1	Extremadamente improbable
2	Improbable
3	Algo probable
4	Probable
5	Muy Probable

Fuente: introducción a la confiabilidad operacional. cied. (2000)

Tabla 2-2. Clasificación de la severidad

NIVEL	SEVERIDAD DE LA CONSECUENCIA
A	No severa
B	Poco Severa
C	Medianamente Severa
D	Severas
E	Muy Severas

Fuente: introducción a la confiabilidad operacional. cied. (2000)

Tabla 2-3. Matriz de Criticidad

Probabilidad Consecuencia	A	B	C	D	E
5	Medio	Alto	Alto	Muy Alto	Muy alto
4	Medio	Medio	Alto	Alto	Muy alto
3	Bajo	Medio	Medio	Alto	Muy Alto
2	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto
1	Muy Bajo	Bajo	Medio	Medio	Alto

Fuente: introducción a la confiabilidad operacional. cied. (2000)

Tabla 2-4. Criticidad de equipos

EQUIPO	FRECUENCIA	SEVERIDAD	RESULTADO
Elevador 2 columnas EE-6214	3	C	Medio
Elevador 2 columnas EE-6214	3	C	Medio
Elevador 4 columnas SCT-4150F	3	D	Alto

Fuente: Elaboración propia respecto resultados

Como resultado se obtiene que el elevador de 4 columnas tiene una criticidad alta en comparación a los otros elevadores de dos columnas. Estos resultados se deben a que el elevador de 4 columnas es el único de su tipo en el box de mecánica automotriz, a su vez al ser de 4 columnas significaría la adquisición del doble de sus repuestos en comparación a un elevador de 2 columnas. Ciertamente la detención de cualquiera de ellos disminuiría las actividades que se realizan en el taller, sin embargo, en caso de falla de un elevador de dos columnas, se cuenta con la existencia del otro y si falla el elevador de 4 columnas se perdería la opción de levantar vehículos pesados.

#### 2.4. ANÁLISIS DE MODO DE FALLA

El análisis de modo y efectos de falla mejor conocido por su sigla F.M.E.C.A., es una herramienta que se utiliza para el análisis de las posibles formas en que un componente pudiese fallar anticipándose a estas. Siendo uno de los métodos más usados para el análisis y mejoramiento de confiabilidad de equipos, aumenta la seguridad, disponibilidad y reduce los costos de mantención.

Para lograr la aplicación debida del F.M.E.C.A., se deberán de encontrar las funciones principales o más importante para que el equipo critico logre su funcionamiento normal. A su vez se analizará las funciones principales y modos de falla de los otros dos elevadores existentes en el taller, dado que sus funciones no deben ser diferentes unas respecto a las otras, respecto al equipo crítico, ya que sus componentes son similares, véase en la tabla 2-5. Funciones principales de los equipos. Una vez encontradas, se procederá a encontrar los modos de fallas posibles y efectos que estas pueden traer.

Tabla 2-5. Funciones principales de los equipos

EQUIPO	FUNCION PRINCIPAL / SECUNDARIA
Elevador dos columnas EE-6214 ( EETP10091820)	Lograr elevar un vehículo de peso máximo de 4000 kg en un tiempo de 55 segundos a una presión de 18mpa. Activar el sistema de seguridad en caso de sobrepresiones o problemas en el sistema

Tabla 2-5. Funciones principales de los equipos

EQUIPO	FUNCION PRINCIPAL / SECUNDARIA
Elevador dos columnas EE-6214 (EETP10091826)	Lograr elevar un vehículo de peso máximo de 4000 kg en un tiempo de 55 segundos a una presión de 18mpa. Activar el sistema de seguridad en caso de sobrepresiones o problemas en el sistema
Elevador cuatro columnas SCT-4150F	Lograr elevar un vehículo de peso máximo de 5000 kg en un tiempo de 50 segundos a una presión de 20mpa. Activar el sistema de seguridad en caso de sobrepresiones o problemas en el sistema

Fuente: Elaboración propia respecto a las funciones de los equipos

#### 2.4.1. Tabla de F.M.E.C.A.

La tabla corresponde a un ordenamiento de los datos solicitados para la realización del análisis. Para esto se requerirá la siguiente información según la norma SAE J1739 de análisis de falla:

- Función.
- Modo de falla.
- Efecto potencial de la falla.
- Severidad.
- Ocurrencia.
- Detectibilidad.
- Numero de probabilidad de riesgo.
- Acciones recomendadas.

Para la recopilación de información, se deberá tener en claro las funciones necesarias de equipo, como el de sus componentes principales y de tal forma encontrar los modos de fallas inherentes posibles que afecten la funcionalidad del equipo.

Tabla 2-6. Modos de falla y efectos en elevadores de dos columnas

EQUIPO	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Elevadores de dos columnas EE-6214	1-El sistema eléctrico del equipo no funciona	1-a Motor quemado.	-Conexiones en mal estado. -Excentricidad en estator y rotor..
		1-b El motor funcionando con temperaturas excesivas.	-Excentricidad en estator y rotor. -Cables de conexión en mal estados. -Fusibles quemados. -Ruido excesivo en motor. -Vibraciones. -Corto circuito en el motor
	2-El sistema hidráulico no logra la presión necesaria para elevación	2-a Empaquetaduras rotas.	-Empaquetadura sin recambio en tiempo excesivo. -Filtración de impurezas dentro del sistema.
		2-b Mangueras rotas o agrietadas.	-Aumento de temperatura en mangueras. -Líquido hidráulico contaminado.

		2-c Aire en el sistema	-Aumento en vibraciones -Ruido en el sistema -Desgaste en bomba -Desgaste en acoples y conexiones hidráulicas
		2-d Impurezas en el sistema hidráulico	-Desgaste de los cilindros -Aumento en presión del sistema. -Aumento de vibraciones -Ruido en el sistema -Daños en la bomba. -Daño en conexiones y acoples del sistema hidráulico
		2-e Sellos desgastados	-Sellos sin cambio en un tiempo excesivo. -Líquido hidráulico contaminado.
	3-Elevador no logra la altura máxima de 1900mm.	3-a Vástago del cilindro pandeado.	-Altura deseada no lograda. -Vibraciones -Ruido excesivo -Abolladuras en capa exterior del cilindro.

		3-b Líquido hidráulico insuficiente	-Altura deseada no lograda -Descensos inesperados.
	4-Sistema de seguridad no se activa	4-a Válvulas de seguridad en mal estado.	-Sistema hidráulico a sobrepresión -Daño en su totalidad de al vástago de cilindro. -Sistema de anclaje de con sobreesfuerzo en sus terminaciones. -Sistema no se detiene automáticamente..
	5- El sistema no sostiene el vehículo en elevación	5-a Válvula limitadora de presión descalibrada o dañada.	-Descensos inesperados. -Mal funcionamiento del sistema de descenso. -Sistema de anclaje de seguridad en sobreesfuerzo.
		5-b Pérdida de líquido hidráulico	-Filtraciones en terminales hidráulicas. - Sobreesfuerzo en sistema de seguridad de anclajes

Fuente: Elaboración propia respecto a los modos de falla del equipo.

Tabla 2-7. Modos de falla y efectos en el elevador de cuatro columnas

EQUIPO	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Elevadores de cuatro columnas SCT-4150F	1-El sistema eléctrico del equipo no funciona	1-a Motor quemado.	-Conexiones en mal estado. -Excentricidad en estator y rotor.
		1-b El motor funcionando con temperaturas excesivas.	-Excentricidad en estator y rotor. -Cables de conexión en mal estados. -Fusibles quemados. -Ruido excesivo en motor. -Vibraciones. -Corto circuito en el motor
	2-El sistema hidráulico no logra la presión necesaria para elevación	2-a Empaquetaduras rotas.	-Empaquetadura sin recambio en tiempo excesivo. -Filtración de impurezas dentro del sistema.
		2-b Mangueras rotas o agrietadas.	-Aumento de temperatura en mangueras. -Líquido hidráulico contaminado.

		2-c Aire en el sistema	-Aumento en vibraciones -Ruido en el sistema -Desgaste en bomba -Desgaste en acoples y conexiones hidráulicas
		2-d Impurezas en el sistema hidráulico	-Desgaste de los cilindros -Aumento en presión del sistema. -Aumento de vibraciones -Ruido en el sistema -Daños en la bomba. -Daño en conexiones y acoples del sistema hidráulico
		2-e Sellos desgastados	-Sellos sin cambio en un tiempo excesivo. -Líquido hidráulico contaminado.
	3-Elevador no logra la altura máxima de 1750[mm].	3-a Vástago del cilindro pandeado.	-Altura deseada no lograda. -Vibraciones -Ruido excesivo -Abolladuras en capa exterior del cilindro.

		3-b Líquido hidráulico insuficiente	-Altura deseada no lograda -Descensos inesperados.
	4-Sistema de seguridad no se activa	4-a Válvulas de seguridad en mal estado.	-Sistema hidráulico a sobrepresión -Daño en su totalidad de al vástago de cilindro. -Sistema de anclaje de con sobreesfuerzo en sus terminaciones. -Sistema no se detiene automáticamente.
	5- El sistema no sostiene el vehículo en elevación	5-a Válvula limitadora de presión descalibrada o dañada.	-Descensos inesperados. -Mal funcionamiento del sistema de descenso. -Sistema de anclaje de seguridad en sobreesfuerzo.
		5-b Pérdida de líquido hidráulico	-Filtraciones en terminales hidráulicas. - Sobre esfuerzo en sistema de seguridad de anclajes

Fuente: Elaboración propia respecto a los modos de falla del equipo.

Los tres equipos al ser todos elevadores de columnas poseen los mismo o similares modos de falla en sus funciones. Esto se debe a que sus componentes cumplen las mismas funciones y a que su función principal son las mismas.

#### 2.4.2. Efectos y severidad de los modos de fallas

Los efectos potenciales describen la consecuencia que, provocada por el modo de falla, sobre el equipo o su función principal. Por ejemplo, se puede evaluar como efecto de falla:

- Pérdida de la funcionalidad del equipo, inestabilidad o ruido.
- Pérdida de tolerancia dimensional, disminución de la capacidad de operación del producto o función.

La severidad se considerará la gravedad en la que afectará la falla dentro del equipo y en su función a cumplir, se deberá considerar la siguiente tabla, la cual nos entrega un rango y criterio a tomar para poder escoger la severidad indicada de cada modo de falla.

Tabla 2-8. Severidad de los modos de falla

CLASE	RANKING	CRITERIO
No	1	Sin efecto.
Muy poco	2	Cliente no molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Poco	3	Cliente algo molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Menor	4	El cliente se siente algo insatisfecho. Efecto menor en el desempeño del artículo o sistema.
Moderado	5	El cliente se siente algo inconforme. Efecto moderado en el desempeño del artículo o sistema.
Significativo	6	Cliente inconforme. El desempeño del artículo se ve afectado, pero es operable y está a salvo. Falla Parcial pero operable
Mayor.	7	Cliente insatisfecho. El desempeño del artículo se ve seriamente afectado, pero es funcional y está a salvo. Sistema afectado.

Extremo.	8	Cliente muy insatisfecho. Artículo inoperable, pero a salvo. Sistema inoperable.
Serio.	9	Efecto de peligro potencial. Capaz de discontinuar el uso sin perder tiempo, dependiendo de la falla.
Peligro	10	Efecto peligroso. Seguridad relacionada, falla repentina.

Fuente: Norma SAE J1739

#### 2.4.3. Detección de los modos de fallas

La ocurrencia de los modos de falla corresponde a la probabilidad de que el proceso o componente analizado falle en nuestro equipo, para esto se le asignara un valor obtenido, a través de la Tabla 2-2. Ocurrencia de los modos de falla, con los criterios necesarios.

Tabla 2-9. Ocurrencia de los modos de falla

OCURRENCIA	RANGO	CRITERIOS	PROBABILIDAD
Remota	1	Falla improbable, no existen asociados con el proceso	1 en 1.500.000
Muy poca	2	Solo fallas aisladas asociadas con el proceso o proceso casi idéntico	1 en 1.500.000
Poca	3	Fallas asociadas con procesos similares	1 en 30.000
Moderada	4	El proceso o procesos similares han tenido fallas ocasionales	1 en 4.500
	5		1 en 8.00
	6		1 en 150
Alta	7	Este proceso o uno similar han fallado a menudo	1 en 50
	8		1 en 25
Muy alta	9	La falla es casi inevitable	1 en 6
	10		1 en 30

Fuente: Norma SAE J1739

Una vez obtenida la probabilidad, se deberá buscar los controles de detección o modos de detección, estas serán actividades, tales como cálculos, verificación, pruebas, controles y análisis las cuales serán necesarios para poder evaluar la detección del modo de falla que se estará analizando. Para la verificación de efectividad de los controles de

detección, se deberá utilizar la Tabla 2-3. Ocurrencia de los modos de falla, la asignación de este valor nos mostrara que, si este es muy elevado, significara que nuestra actividad de detección no servirá para el análisis.

Tabla 2-10. Ocurrencia de los modos de falla

PROBABILIDAD	RANGO	CRITERIO	DETECCION
Alta	1	El defecto es una característica obvia	99.99%
Medianamente alta	2-5	Es muy probable detectar la falla. El defecto es una característica obvia	99.7%
Baja	6-8	El defecto es una característica fácilmente identificable	98%
Muy Baja	9	No es fácil la detección por métodos usuales. Es una característica oculta o intermitente	90%
Improbable	10	La característica no se puede revisar fácilmente en el proceso. Relacionada con durabilidad	Menor a 90%

Fuente: Informe confiabilidad Universidad de Antioquia

#### 2.4.4. NPR y acciones recomendadas

El número de probabilidad de riesgo o N.P.R., es el resultado de un cálculo obtenido al multiplicar los valores de la severidad, ocurrencia y detección para priorizar los modos de falla con el fin de prever que estas ocurran o disminuir la recurrencia de estas. Para esto se hará uso de la siguiente tabla.

$$NPR = S \times O \times D$$

Fuente Norma SAE J1739

Figura 2-1. Fórmula para obtener el número prioritario de riesgo

Tabla 2-11. Número de probabilidad de riesgo

PRIORIDAD DE RPN	Ocurrencia * Severidad * Detección = NPR
Alto riesgo de falla	500-1.000
Riesgo de falla Medio	125-499
Riesgo de falla Bajo	1-124
No existe riesgo de falla	0-1

Fuente: Norma SAE J1739

Tabla 2-12. Jerarquización de N.P.R. aplicado a los modos de fallas

Modo de Falla	Severidad	Ocurrencia	Defectibilidad	NPR
1-a Motor quemado.	8	2	1	16
1-b El motor funcionando con temperaturas excesivas.	8	2	2	32
3-a Vástago del cilindro pandeado.	8	3	2	48
3-b Líquido hidráulico insuficiente	6	3	3	54
5-b Pérdida de líquido hidráulico	6	3	3	54
5-a Válvula limitadora de presión descalibrada o dañada.	7	4	2	56
2-b Mangueras rotas o agrietadas.	4	5	3	60
2-e Sellos desgastados	6	4	3	72
4-a Válvulas de seguridad en mal estado	10	2	8	160
2-a Empaquetaduras rotas.	6	4	7	168
2-d Impurezas en el sistema hidráulico	7	5	8	280
2-c Aire en el sistema	7	6	8	336

Fuente: Elaboración propia respecto a los resultados de NPR

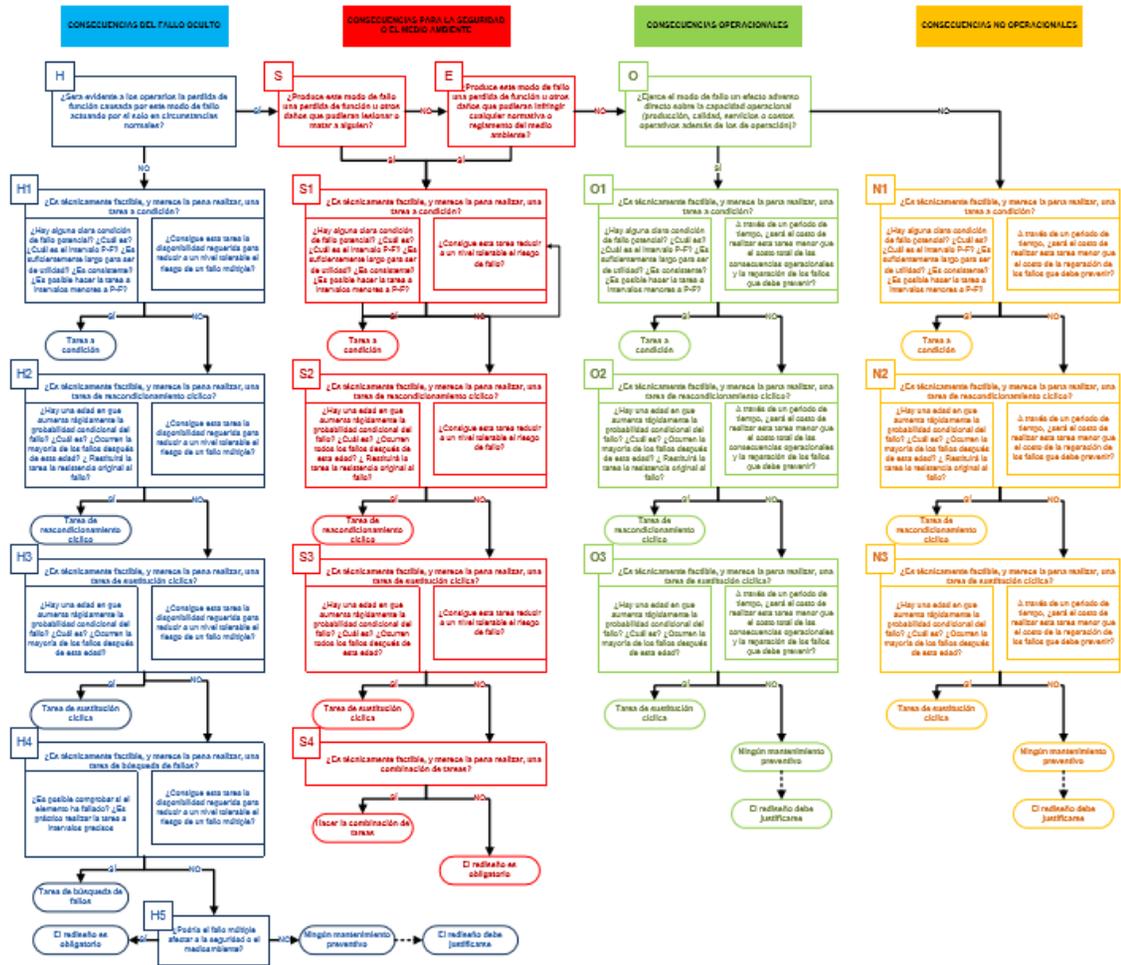
Ya teniendo priorizados los modos de fallas que afectarán más al equipo o componente, se deberán considerar las acciones necesarias para la eliminación del modo de falla, para lo cual se pueden programar actividades preventivas y correctivas, las cuales una vez realizadas se deberán analizar para una retroalimentación del modo de falla y posibles otras actividades.

## 2.5. DIAGRAMA DE DECISIONES R.C.M.

El diagrama de decisiones es una herramienta aplicada al R.C.M. para la elección de las tareas y actividades de mantenimiento a realizar a los equipos, interpretadas a través de los modos de fallas analizados.

Mediante este diagrama se deberá ir respondiendo preguntas con las consecuencias que podría generar cada modo de falla, relacionadas con fallas ocultas, seguridad o medio ambiente, operacionales y no operacionales. Estas preguntas son guiadas por las letras H, S, E, O las cuales definen las siguientes preguntas para posteriormente ramificarlas según sean las respuestas a elegir en cuatro o cinco niveles diferentes, véase en la figura 2-2 Diagrama de flujo de R.C.M.

- H: ¿Será evidente a los operarios la pérdida de función causada por este modo de fallo actuando por el solo en circunstancias normales?
- S: ¿Produce este modo de fallo una pérdida de función y otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien?
- E: ¿Produce este modo de fallo una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier normativa o reglamento del medio ambiente?
- O: ¿Ejerce el modo de fallo un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicios o costos operativos además de los de operación)?
- H1-S1-O1-N1: ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea a condición?
- H2-S2-O2-N2: ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tardea de reacondicionamiento cíclico?
- H3-S3-O3-N3: ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de sustitución cíclica?
- H4: ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de búsqueda de fallos?
- S4: ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una combinación de tareas?
- H5: ¿Podría el fallo múltiple afectar a la seguridad o el medioambiente?



Fuente Norma SAE J1739

Figura 2-2 Diagrama de decisiones de R.C.M.

2.5.1. Actividades de mantenimiento

Como se mencionó anteriormente, el diagrama de decisiones nos entrega las actividades correspondientes a cada modo de falla analizado. Estas actividades se centran en mantenimientos reactivos y preventivos.

Las actividades preventivas tendrán que clasificarse en:

- **Actividades de sustitución cíclicas:** estas corresponden a las tareas que deberán ser realizadas en un intervalo de tiempo fijo. Estas se aplican solo cuando hay un patrón de desgaste, por lo que se deberá escoger la tarea preventiva correcta a la situación para no cambiar por piezas nuevas o que no tengan desgaste.

- Actividades programadas predictivas o sujetas a condición: estas son actividades que permiten encontrar fallas antes de que estas sucedan, a través de actividades de revisiones, análisis y monitoreo.

Las actividades reactivas corresponderán, como se mencionó anteriormente, a las actividades no programadas post-falla que afectaran las funciones del equipo.

Para la aplicación de las decisiones del diagrama de flujo y las actividades a realizar, se llenará una hoja con la información correspondiente a cada modo de falla. Véase en el ejemplo de la figura tabla.

Tabla 2-13. Ejemplo de tabla de resultados del diagrama de decisiones

Modos de fallo	Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de...			Componentes afectados	Actividad propuesta	Intervalo
	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
					O1	O2	O3						
N1	N2	N3											
Modo falla 1													
Modo Falla 2													
Modo Falla 3													

Fuente: Elaboración en base de la memoria Estudio de factibilidad de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para equipo critico en Bettoli S.A de Karla Aravena Santibañez

Tabla 2-14. Resultados del diagrama de decisiones

Modos de fallo	Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de...			Componentes afectados	Actividad/Tarea propuesta	Intervalo
	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
					O1	O2	O3						
N1	N2	N3											
1-a Motor quemado.	Si	No	No	Si	No	Si	-	-	-	-	Motor eléctrico	Seguimiento y análisis: mediante el analizador de vibraciones, comprobar la el estado del motor.	Semestral
1-b Motor funcionando con temperaturas excesivas.	Si	No	No	Si	No	Si	-	-	-	-	Motor eléctrico	Seguimiento y control: mediante la cámara termográfica, medir la temperatura de funcionamiento regular del motor	Semanal
3-a Vástago del cilindro pandeado.	Si	No	No	Si	No	Si	-	-	-	-	Cilindro hidráulico	Análisis de vibraciones: hace un seguimiento, midiendo las vibraciones de la bomba las cuales, en caso de pandeo del vástago, se verán alteradas.	Mensual
												Seguimiento visual y auditivo de la expulsión del cilindro.	Diario

Tabla 2-14. Resultados del diagrama de decisiones

Modos de falla	Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de...			Componentes afectados	Actividad/Tarea propuesta	Intervalo
	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
					O1	O2	O3						
				N1	N2	N3							
3-b Líquido hidráulico insuficiente.	Si	No	No	Si	No	No	Si	-	-	-	Sistema hidráulico	Revisión periódica: revisar estado del estanque, que no tenga filtraciones ni fisuras	Diario
5-a Válvula limitadora de presión descalibrada o dañada.	Si	Si	-	-	-Si	-	.	-	-	-	Sistema hidráulico, cilindros, anclaje de seguridad	Seguimiento y análisis: mediante una medición de vibraciones, se deberá analizar la forma de onda del espectro entregado al medir la bomba hidráulica en busca de variables no halladas en otras mediciones.	Mensual
												Inspección visual y auditivo del descenso del elevador, previo su uso.	Diario
5-b Pérdida de líquido hidráulico.	Si	No	No	Si	No	No	Si-	-	-	-	Sistema hidráulico, cilindros	Revisión periódica: inspeccionar área de trabajo en busca de líquido hidráulico fuera del sistema. En caso de encontrar, posteriormente revisar las conexiones.	Diario

Tabla 2-14. Resultados del diagrama de decisiones

Modos de falla	Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de...			Componentes afectados	Actividad/Tarea propuesta	Intervalo
	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
					O1	O2	O3						
N1	N2	N3											
2-b Mangueras rotas.	Si	No	No	Si	No	No	Si-	-	-	-	Sistema hidráulico	Revisión periódica: inspección de las conexiones del sistema completo. En caso de encontrar, realizar cambio de las mangueras una vez vaciado.	Diario
2-e Sellos desgastados	Si	No	No	Si	No	No	Si	-	-	-	Sistema hidráulico	Revisión periódica: revisar posibles filtraciones en el equipo.	Diario
4-a Válvulas de seguridad en mal estado	Si	Si	-	-	Si	No	No	-	-	Si	Cilindros hidráulicos sistema hidráulico, sistema de seguridad, anclaje de seguridad	Inspección: realizar la elevación repetitivamente sin carga, con carga para verificar el funcionamiento correcto del sistema de seguridad.	Mensual
												Seguimiento y análisis: mediante una medición de vibraciones, se deberá analizar la forma de onda del espectro entregado al medir la bomba hidráulica en busca de variables no halladas en otras mediciones.	Mensual

Tabla 2-14. Resultados del diagrama de decisiones

Modos de falla	Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de...			Componentes afectados	Actividad/Tarea propuesta	Intervalo
	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
	H	S	E	O	N1	N2				N3			
2-a Empaquetaduras rotas	Si	Si	-	-	Si	No	No	-	-	Si	Cilindros hidráulicos sistema hidráulico, acoplamientos, sistema de seguridad, anclaje de seguridad	Inspección: realizar la elevación repetitivamente sin carga, con carga para verificar filtraciones en el sistema.	Semanal
												Seguimiento y análisis: mediante una medición de vibraciones, se deberá analizar la forma de onda del espectro entregado al medir la bomba hidráulica en busca de variables no halladas en otras mediciones.	Mensual

Tabla 2-14. Resultados del diagrama de decisiones

Modos de falla	Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de...			Componentes afectados	Actividad/Tarea propuesta	Intervalo
	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
					O1	O2	O3						
N1	N2	N3											
2-d Impurezas en el sistema hidráulico	Si	No	No	Si	Si	-	-	-	-	-	Cilindros hidráulicos bomba hidráulica, sistema hidráulico, sistema de seguridad.	Detección predictiva: Mediante un análisis de vibraciones, revisar los rangos normalizados en la ISO 10816-1. En caso de anomalía, programar una detención del equipo y depurar el sistema mediante flushing , hacer cambio de filtros y revisar los de acoplamiento.	Semestral
2-c Aire en el sistema	Si	Si	-	-	Si	-	-	-	-	-	Cilindros hidráulicos Bomba hidráulica, sistema hidráulico, sistema de seguridad.	Mediante un análisis de vibraciones, revisar los rangos normalizados en la ISO 10816-1. En caso de anomalía por cavitación, programar una detención para realizar un cebado del sistema hidráulico y revisar el acoplamiento hidráulico completo del equipo.	Semestral

Fuente: Elaboración propia a base de los resultados obtenidos del diagrama de decisiones

**CAPITULO 3: ANÁLISIS VIBRATORIO Y ELABORACIÓN DE LA**  
**PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO**

### 3. ANÁLISIS VIBRATORIO Y ELABORACION DE LA PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

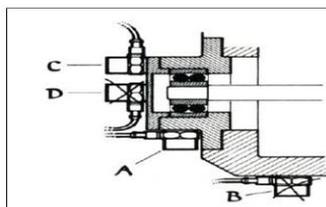
#### 3.1. ANÁLISIS VIBRATORIO

Un plan de mantenimiento preventivo, como se fue mencionado con anterioridad, es reconocido por las actividades programadas y constantes a un periodo de tiempo, en el momento en que se toman medidas y análisis a través de equipos de recolección de datos, como es el tacómetro, cámara termografía, medidor de ruido, sensor de vibraciones, entre otros, pasa de ser un mantenimiento preventivo a un mantenimiento predictivo. Este dispondrá si la empresa es capaz de adquirir estos instrumentos para el seguimiento de sus equipos.

La Universidad Federico Santa María Sede de Viña del Mar consta con un equipo analizador de vibraciones, el cual, a través de su software, es capaz de mostrar la forma de onda de una vibración y graficarla para su análisis y evaluación. Por lo que se integrara esta función a las actividades del plan de mantenimiento a proponer.

##### 3.1.1. Recopilación de datos mediante análisis de vibración.

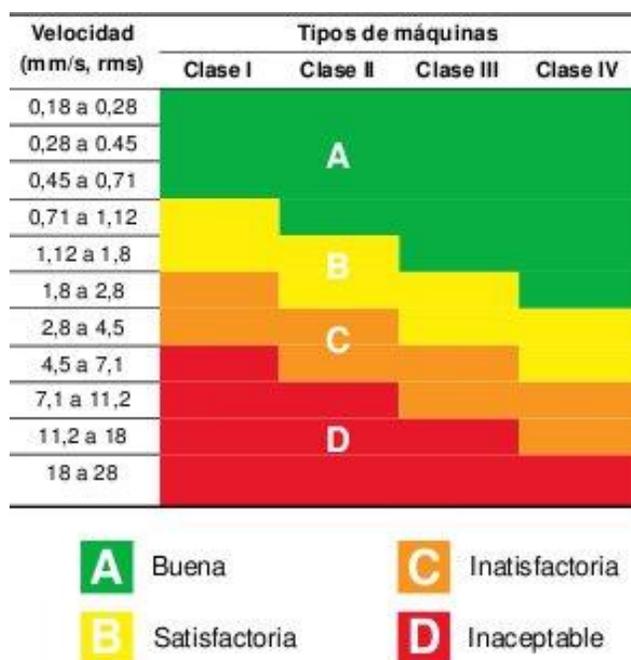
El sensor de vibraciones, siendo un equipo marca FAG Detector III, es un medidor simple y preciso en cuanto información, el cual beneficia a los usuarios sin experiencia Este sensor de vibraciones cuenta con dos conductores, llamados acelerómetros o transductores, los cuales mediante un sistema imantado en el cabezal del sensor obtienen la capacidad de percibir las vibraciones generadas por las fuerzas dinámicas de los equipos. Estos sensores se deben ubicar en los descansos de los componentes que se desean medir de forma axial y radial.



Fuente: Apuntes Mant. Predictiva Pedro Saaverdra 2010

Figura 3-1. Montaje de transductores

Mediante la norma ISO 10816-1, evaluación de la vibración en una maquina mediante medidas en partes no rotativas, la cual establece indicadores de velocidad RMS para equipos de potencia menor a los 15[kW], se obtendrán los parámetros vibratorios admisibles en los cuales se deberán encontrar los elevadores de dos columnas y el de cuatro columnas. Estos se pueden encontrar en la figura 2-7 Severidad de vibración Norma ISO 10816-1, en conjunto a los datos entregados por la tabla 2-9 Clase de equipos según su potencia.



Fuente: Normativa ISO 10816-1

Figura 3-2. Severidad de vibración Norma ISO 10816-1

Tabla 3-1. Clase de equipos según su potencia

CLASE	DESCRIPCIÓN
CLASE 1	Equipos con potencia menor a 15[kW]
CLASE 2	Equipos con potencia entre 15[kW] y 75[kW]
CLASE 3	Equipos por encima a 75[kW] con cimentación rígida o 300 [kW] con cimentación especial
CLASE 4	Turbo maquinas ( Rpm > velocidad critica)

Fuente: Normativa ISO 10816-1

### 3.1.2. Software de vibraciones

Mediante el software de vibraciones se pueden establecer los parámetros para las mediciones, dejando de opción las normas que se requieren utilizar junto a sus clasificaciones. Para la utilización del software se deberán seguir los siguientes pasos:

- Para realizar la ruta de medición, se comienza con la configuración del software que consistió en establecer los puntos de medición y los parámetros de la señal temporal a obtener, cambiando el número de promedios y números de líneas, para así poder obtener la señal más representativa y clara.
- Posteriormente se enviará la configuración al detector, para luego tomar las mediciones de los equipos.
- Al tomar los datos en los equipos, se deberá colocar el transductor en el punto preestablecido y añadir el rpm en el que está trabajando el equipo.
- Así la ruta de medición se va completando a medida que se van tomando las mediciones a cada punto establecido.
- Luego de haber medido todo lo programado, se deberá proceder a traspasar los datos al software Trendline para el análisis de las señales recompiladas.

## 3.2. ANÁLISIS VIBRATORIO

Las mediciones fueron tomadas radialmente en el bloque hidráulico, ubicado entre la bomba hidráulica y el motor.

Para las mediciones se tomó en cuenta la aplicación de la norma 10816-1 de Severidad Vibratoria, con el fin de evaluar el estado actual de la maquinaria y tomar las decisiones correctas para su corrección y aplicación de mantenimiento predictivo.

### 3.2.1. Elevador de dos columnas EE-6214-1820

Fecha	Velocidad determinada/ U/min	ISO 10816/ mm/s	Alarma principal/ mm/s	Pre-alarma/ %	Comentario
26/07/2017 14:53:10	2850,00	4,30	4,50	40,00	Vertical
26/07/2017 14:50:03	2850,00	5,89	4,50	40,00	Horizontal

Fuente: Elaboración propia, resultados en software Tridline

Figura 3-3. Resultados vibratorios elevador EE-6214-1820

Bajo la norma 10816-1 de Severidad Vibratoria, el equipo se encuentra en la clase 1, maquinaria pequeña, menor a 15[kW].

Según se aprecia en los puntos medidos con el detector FAG, se establece que las vibraciones generadas por el equipo están en alarma para suposición en vertical y en crítico para su posición horizontal.

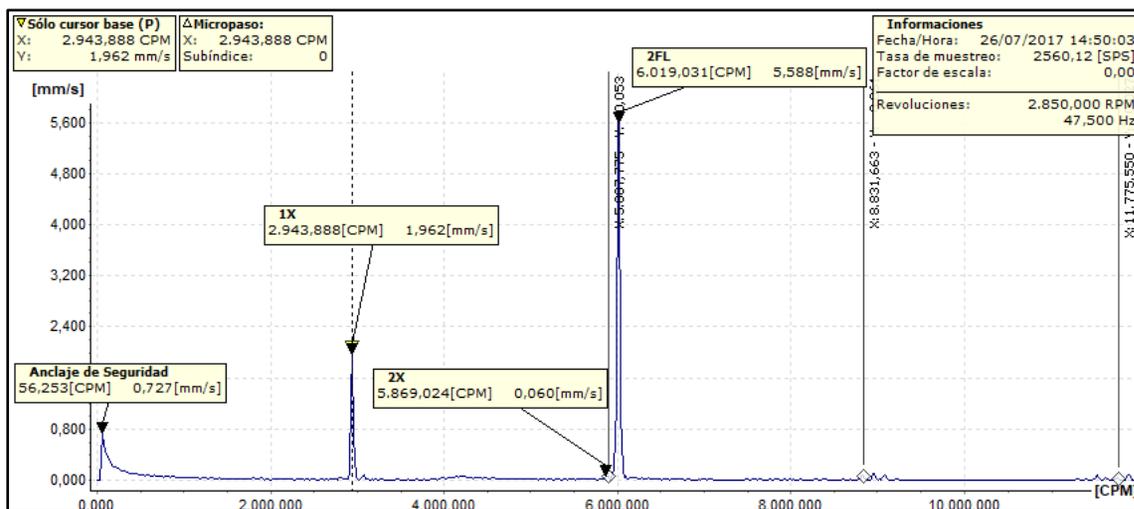
En clase 1 para valores de vibraciones superiores a 2,8[mm/s] y menores a 4,5[mm/s] se establece como insatisfactorio, entre 4,5[mm/s] y 7,1[mm/s] se establece como inaceptable, de ahí los colores aplicados por el programa, amarillo para alerta y rojo para criticidad.

### 3.2.2. Análisis de espectro del elevador EE-6214-1820

Para el análisis de espectro se establece la onda en modo FFT, la cual permite apreciar la onda en peaks basados en la repetición de ondas a respectivas frecuencias.

Al observar la gráfica se encuentra los valores de [mm/s] del equipo respecto a un estado centrado (sin movimiento) en el eje Y, versus los ciclos por minuto [CPM] en el eje X.

Se establece un análisis al espectro de la onda del punto de medición horizontal del equipo, la cual se encuentra en estado crítico, tomando en cuenta que esta es la más representativa a los problemas que el equipo presenta.



Fuente: Elaboración propia, resultados en software Tridline

Figura 3-4. FFT de elevador EE-6214-1820, punto horizontal

En la figura 2-8 FFT de elevador EE-6214-1820, punto horizontal, se puede apreciar una componente 1X a 2943 [CPM] en valores cercanos a los establecidos por el fabricante del equipo, los cuales eran 2850[CPM], esta 1X posee valores normales dentro de la norma 10816-1.

En contraparte, se encuentra una componente 2FL muy elevada a lo normal, el valor de esta se encuentra, bajo la norma 10816-1, en estado de criticidad. Esta forma de comportamiento de los componentes da a entender un problema en el sistema eléctrico de la bomba, específicamente en el motor eléctrico que esta posee, ya que corrientes no balanceadas producen una 2X de la frecuencia de línea, la cual es de 50[Hz], o según la gráfica, de 3000[CPM]. Esto establece el problema como excentricidad estática o entrehierros desiguales y problemas eléctricos asociados al estator, como estator distorsionado, espiras en corto circuito, etc.

Tabla 3-2. Síntomas vibratorios en motores eléctricos

Fallas en un motor de jaula de ardilla. (2FL Elevada)	Problemas de Origen Mecánico	Problemas de Origen Eléctrico
Excentricidad Estática	-Distorsión en la carcasa en base no plana. -Excentricidad del eje del rotor respecto al del estator por maqueado incorrecto de los descansos.	-Espiras en cortocircuito del estator -Corrientes eléctricas no balanceadas

Fuente: Apunte Mant, Predictivo- P.Saavedra 2010, Universidad de Concepción.

También se aprecia al comienzo de la gráfica una componente relacionada a los anclajes de seguridad en las columnas, las cuales se repitan cada 1 segundo aproximadamente, pero no generan problemas aparentes sobre las demás componentes. Véase en la figura 2-8 FFT de elevador EE-6214-1820, punto horizontal.

### 3.2.3. Elevador de dos columnas EE-6214-1826

	Fecha	Velocidad determinada/ U/min	ISO 10816/ mm/s	Alarma principal/ mm/s	Pre-alarma/ %	Comentario
▶	26/07/2017 14:41:04	2850,00	1,66	4,50	40,00	Vertical
▶	26/07/2017 14:34:13	2850,00	4,42	4,50	40,00	Horizontal

Fuente: Elaboración propia, resultados en software Tridline

Figura 3-5. Resultados vibratorios elevador EE-6214-1826

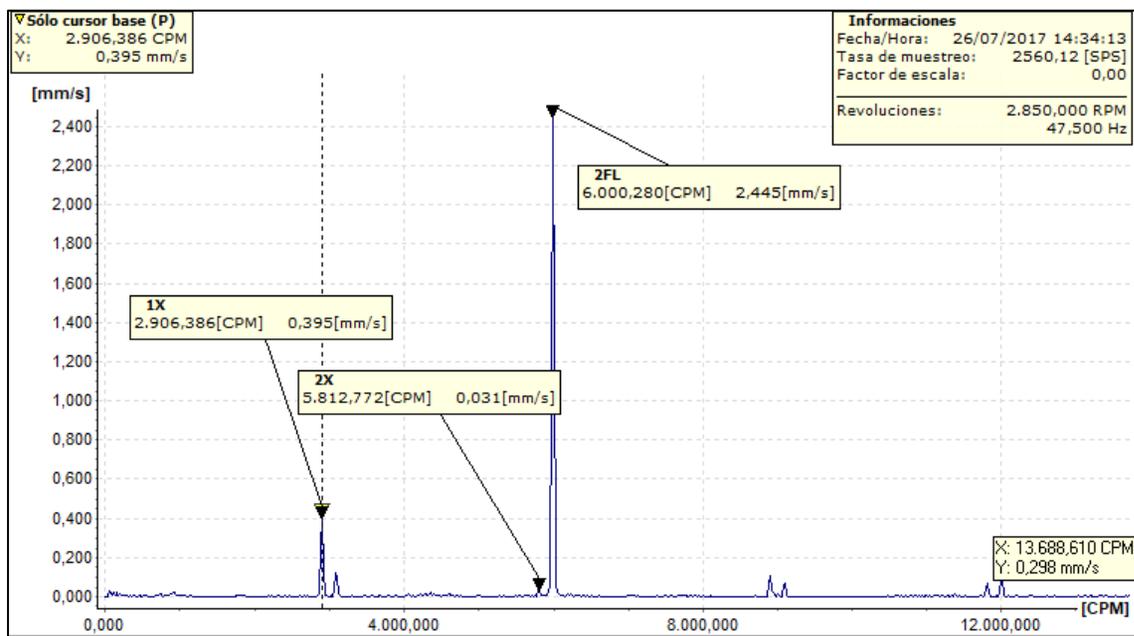
Bajo la norma 10816-1 de Severidad Vibratoria, el equipo se encuentra en la clase 1, maquina pequeña, menor a 15[kW].

Según se aprecia en los puntos medidos con el detector FAG, se establece que las vibraciones generadas por el equipo están en normalidad para suposición en vertical y en alarma para su posición horizontal.

### 3.2.4. Análisis de espectro del elevador EE-6214-1826

Para el análisis de espectro, se establece la onda en modo FFT, la cual permite apreciar la onda en peak basados en la repetición de ondas a respectivas frecuencias.

Se establece un análisis al espectro de la onda del punto de medición horizontal del equipo, la cual se encuentra en estado alerta, tomando en cuenta que esta es la más representativa a los problemas que el equipo presenta.



Fuente: Elaboración propia, resultados en software Tridline

Figura 3-6. FFT de elevador EE-6214-1826, punto horizontal

Se puede apreciar una componente 1X a 2906[CPM] en valores cercanos a los establecidos por el fabricante del equipo, los cuales eran 2850[CPM], esta 1X posee valores normales dentro de la norma 10816-1.

Al igual que en el equipo anterior se encuentra una componente 2FL muy elevada a lo normal, los valores de esta se encuentran, bajo la norma 10816-1, en estado de alerta. Esta forma de comportamiento de los componentes da a entender un problema en el

sistema eléctrico referidos en el equipo anterior, véase en la tabla 3-2 Síntomas vibratorios en motores eléctricos.

Si bien en este espectro son apreciadas unas pequeñas turbulencias aleatoriamente en el espectro, estas no son significativas en los problemas del sistema, pueden ser debidos a pequeños flujos turbulentos del fluido por el sistema. Que no sean un problema actual, no quiere decir que deban ignorarse, deben evaluarse a lo largo del tiempo, todo esto con el fin de definir su origen y tomarlo en cuenta o descartarlo en futuras mejoras de mantenimiento.

### 3.2.5. Elevador de cuatro columnas SCT-4150F

	Fecha	Velocidad determinada/ U/min	ISO 10816/ mm/s	Alarma principal/ mm/s	Pre-alarma/ %	Comentario
▶	26/07/2017 15:07:30	2850,00	6,23	4,50	40,00	Vertical
▶	26/07/2017 15:02:34	2850,00	5,67	4,50	40,00	Horizontal

Fuente: Elaboración propia, resultados en software Tridline

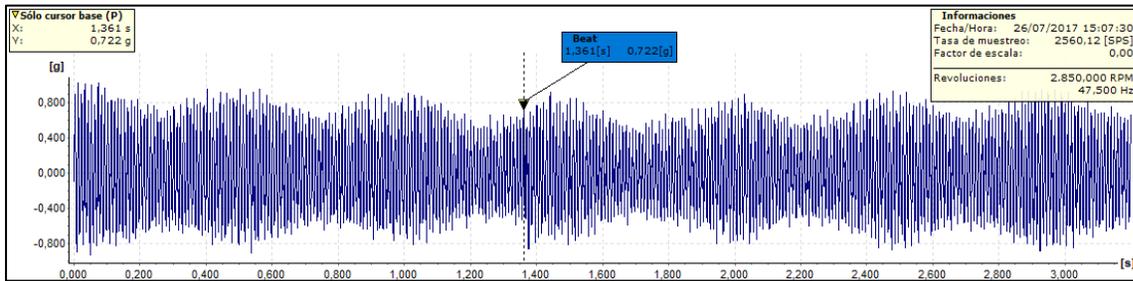
Figura 3-7. Resultados vibratorios elevador SCT-4150F

Bajo la norma 10816-1 de Severidad Vibratoria, el equipo se encuentra en la clase 1, maquinaria pequeña, menor a 15[kW].

Según se aprecia en los puntos medidos con el detector FAG, se establece que las vibraciones generadas por el equipo están en criticidad tanto para su posición vertical, como para su posición horizontal. Esto establece a la maquinaria como la más crítica en base al estado actual de sus componentes, sumándose a la selección en base al análisis de criticidad en caso de falla y confiabilidad asociada a esta anteriormente en este trabajo.

### 3.2.6. Análisis de espectro del elevador SCT-4150F

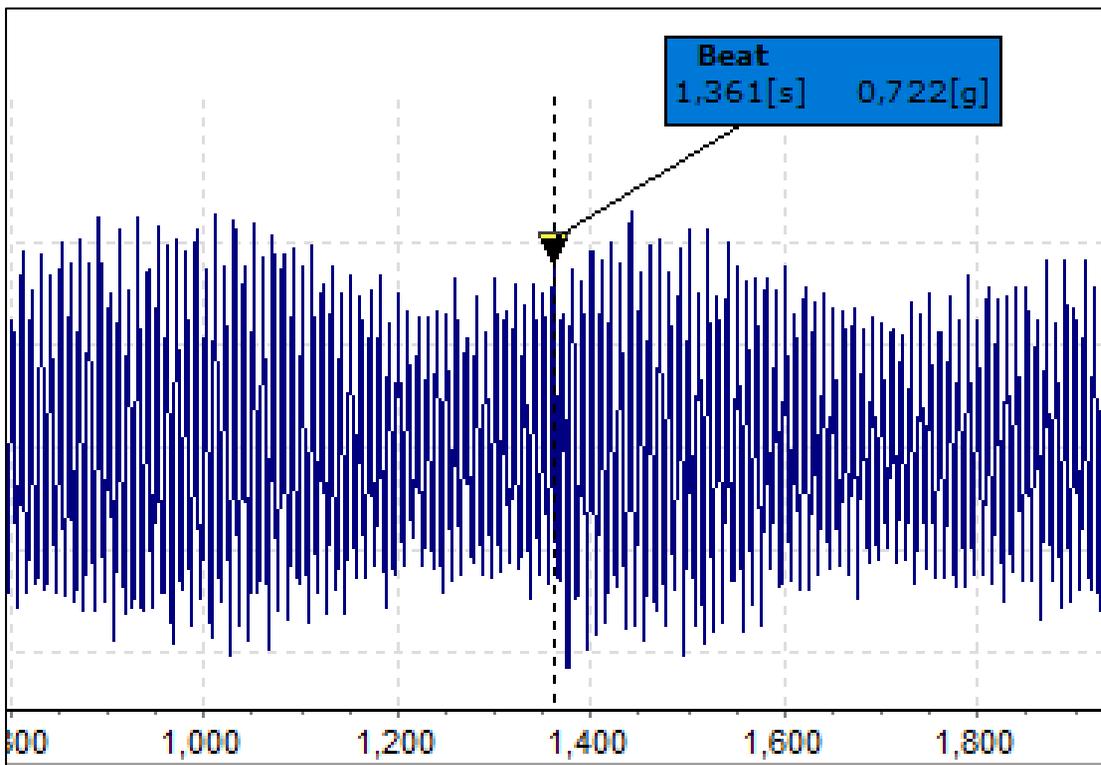
Para el primer análisis del espectro, se toma en cuenta la banda de onda del espectro, ya que se aprecia lo siguiente.



Fuente: Elaboración propia, resultados en software Tridline

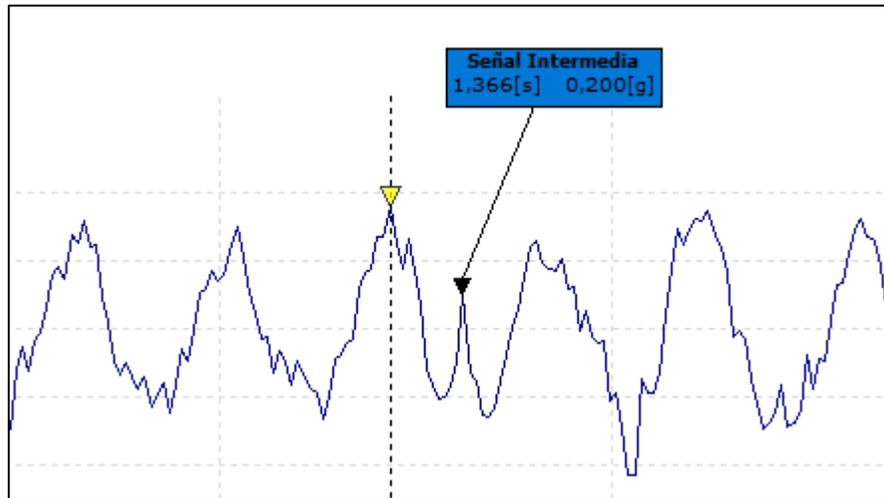
Figura 3-8. Forma de onda del elevador SCT-4150F

Al mirar la onda de un modo amplio, se perciben pequeñas zonas oscuras, esto es debido a señales muy cercanas una de otras, a la que se denomina Beat, figura 3-9 Beat en la forma de onda, esto se causa comúnmente en motores eléctricos con problemas de excentricidad estáticas en el rotor, lo que potencia la teoría de esta posible falla.



Fuente: Elaboración propia, resultados en software Tridline

Figura 3-9. Beat en la forma de onda

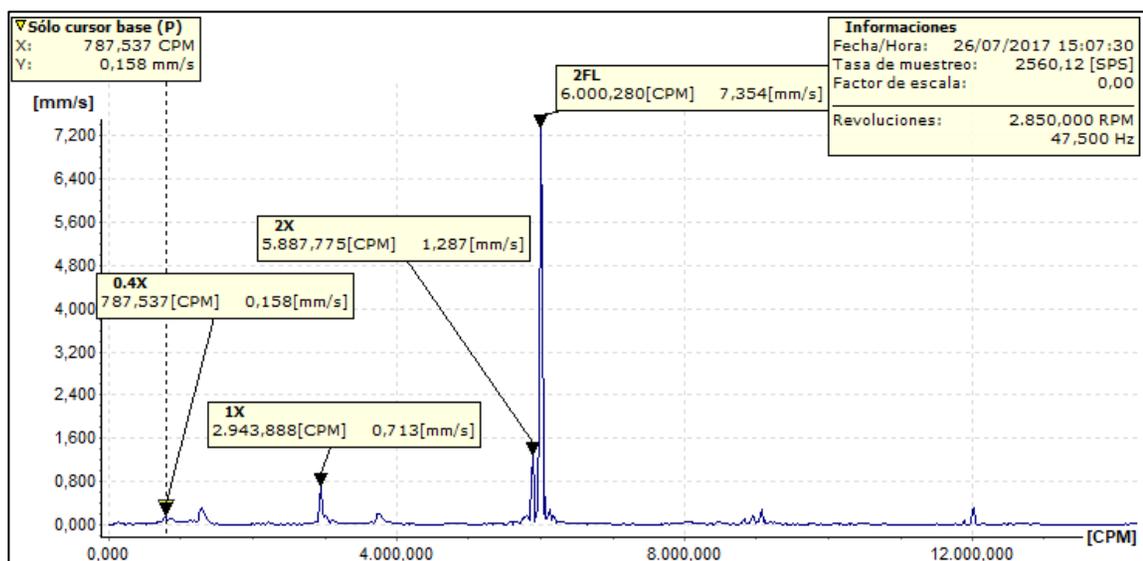


Fuente: Elaboración propia, resultados en software Tridline

Figura 3-10. Amplificación de la onda

Al ampliar la visión de la forma de onda, se puede apreciar una señal intermedia generada entre la repetición normal de la señal de onda, Ondas como estas se encuentran a lo largo de la banda, lo que ocasiona que se perciban los beat en la onda amplia.

Para el siguiente análisis de espectro se establece la onda de modo FFT, la cual permite apreciar la onda en peaks basados en la repetición de ondas a respectivas frecuencias.



Fuente: Elaboración propia, resultados en software Tridline

Figura 3-11. FFT de elevador SCT-4150F, punto vertical

En la figura 3-11 FFT de elevador SCT-4150F, punto vertical, se puede apreciar una componente 1X a 2943[CPM] en valores cercanos a los establecidos por el fabricante del equipo, los cuales eran 2850[CPM], esta 1X posee valores normales dentro de la norma 10816-1.

Al igual que en los equipos anteriores, se encuentra una componente 2FL muy levada, bajo la normal 10816-1, el valor se encuentra en estado de criticidad. Esta forma de comportamiento de los componentes da a entender un problema en el sistema eléctrico referidos en los anteriores equipos, véase en la tabla 3-2 Síntomas vibratorios en motores eléctricos.

En este espectro se distingue una 2X mayor a la 1X ya que es superior al 25% de la 1X, se considera que el equipo posee un soporte rígido.

Si bien en este espectro son apreciadas unas pequeñas turbulencias aleatoriamente en el espectro, estas no son significativas en los problemas del sistema, las que se encuentran en la componente 0.4X, en la figura 3-11 FFT de elevador SCT-4150F, punto vertical, y los armónicos de esta pueden ser debidos a pequeños flujos turbulentos del fluido por el sistema. Al igual que las anteriores se debe realizar una medición constante y análisis de sus partes para establecer su origen.

### 3.2.7. Resultados del análisis vibratorio

Se puede establecer que los problemas prioritarios en los equipos apuntan al sistema eléctrico, específicamente en los motores eléctricos, debido a su excesiva vibración se define como probable falla futura, ya que los problemas se definen como problemas en el estator y rotor de estos, es debido mantener un control de estos para evitar la posible fallas o colapsos.

### 3.2.8. Monitoreo Termográfico

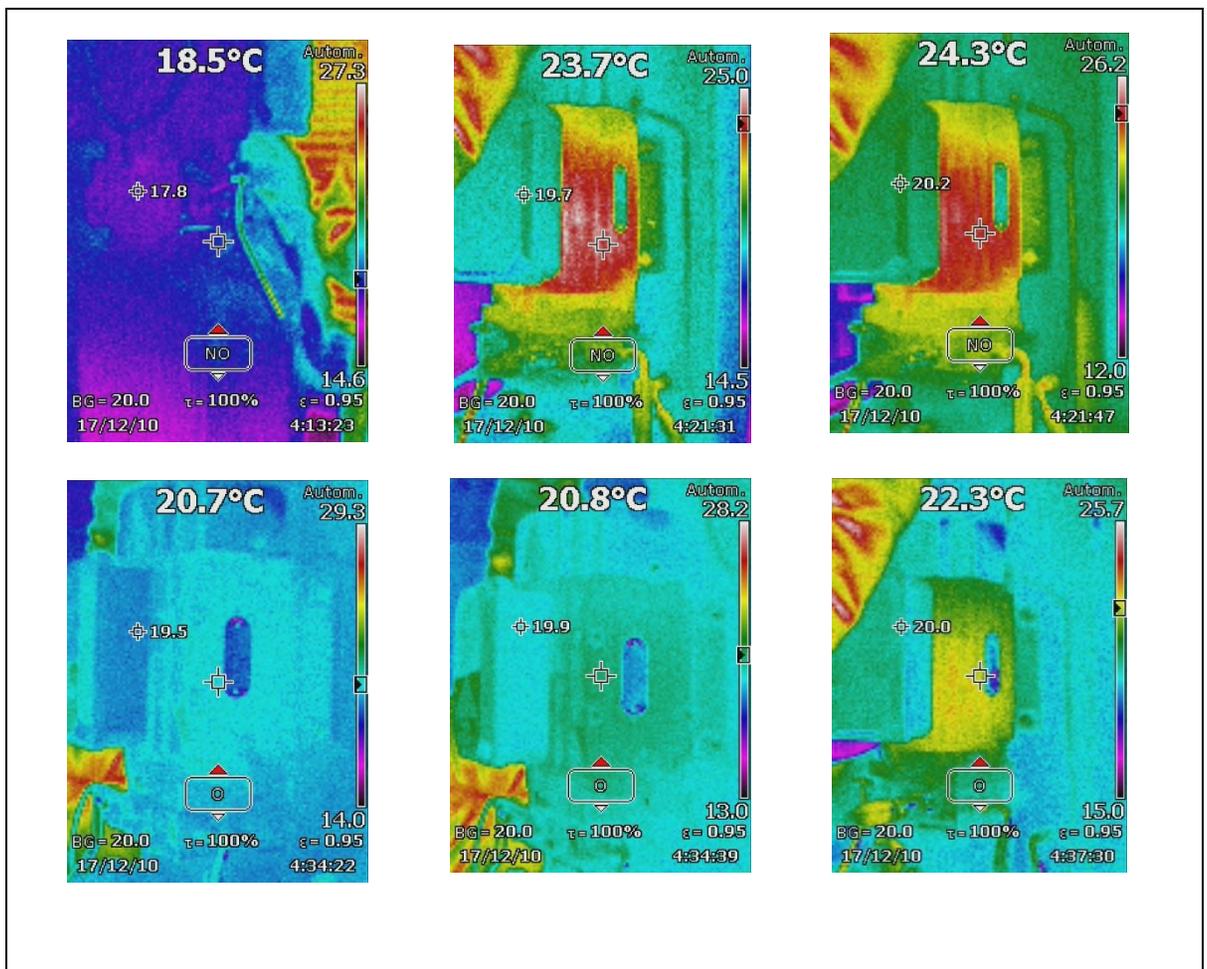
Mediante la realización del análisis de vibración, se complementó un análisis de temperatura mientras se hacía uso de los tres diferentes equipos. Para la medición se dio uso a una cámara termográfica la cual entrego los siguientes valores de temperatura de los motores en cada bomba.

Tabla 3-3. Temperaturas obtenidas con cámara termográfica

EQUIPO	T° Inicio 1	T° Termino 1	T° Inicio 2	T° Termino 2
EE-6214-1820	18,5°C	20,3°C	23,7°C	24,3°C
EE-6214-1826	20,7°C	20,8°C	22,3°C	22,3°C
SCT-4150F	18,9°C	22,3°C	22,7°C	24,1°C

Fuente: Elaboración propia, resultados de temperaturas tomadas

Las temperaturas se ven afectadas por la temperatura del ambiente en el cual se encuentran los equipos. A su vez, los motores obtenían un alza de temperatura al momento de elevar los vehículos. Debido a que el problema de vibraciones dio a conocer que existe problemas eléctricos, es recomendable seguir un monitoreo en estos para verificar una relación entre algún alza de temperatura y futuras fallas del motor



Fuente: Elaboración propia, compilación de fotos termográficas

Figura 3-12. Compilación de fotos termográficas

### 3.3. PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento propuesto es basado en el tipo de mantenimiento predictivo, dado que gracias a las mediciones de vibración se puede mantener un mayor control respecto al estado de cada uno de los equipos. A su vez implementar un mantenimiento del tipo R.C.M. de la mano con F.M.E.C.A., nos permitió encontrar las actividades necesarias para evitar posibles fallas futuras.

#### 3.1.1. Recopilación de información

Para la formulación de un mantenimiento, lo que siempre se recomienda es seguir las instrucciones de seguridad y operación entregados por el fabricante. Además, se deben considerar instrucciones de mantenimiento dependiendo los componentes de los equipos.

#### 3.1.2. Precauciones generales

- El operador del equipo y el mantenedor deben cerciorar las seguridades necesarias para la utilización de equipos en elevación según las regulaciones de cada país.
- No desactivar ni quitar componentes de seguridad del equipo.
- Leer avisos y precauciones de seguridad ubicadas en los equipos y espacios donde estos estén.

Si bien en Chile no existen normativas respecto a la regulación de equipos de elevación, existen medidas precautorias de posibles accidentes como son:

- Protección superior del trabajador por caída de elementos.
- No superar las cargas admisibles de los equipos.
- No mover el equipo de elevación mientras realiza sus funciones.
- Debe tener mandos de parada de emergencia en el equipo.
- Remover todo material u obstáculo cuando el equipo va a descender.
- En el proceso de descenso y levantamiento de algún equipo, evitar la presencia de personas.

### 3.2. PLAN DE MANTENIMIENTO

Mediante el mantenimiento predictivo en conjunto con la metodología del R.C.M. y el F.M.E.C.A, se plantea actividades predictivas que pueda ser ejecutado por una persona capacitada en análisis de vibraciones y aplicación de actividades predictivas, ya sea desde un alumno, un profesor o una persona contratada y capacitada para la realización de dichas actividades.

Para la programación del plan de mantenimiento, se considerarán los resultados obtenidos del diagrama de decisiones del R.C.M. y análisis realizados. A su vez se creará una ruta con el fin de organizar las actividades en un orden de criticidad de los equipos según fueron mencionados con anterioridad.

Tabla 3-4. Plan de mantenimiento a equipo STC-4150F

EQUIPO	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	TIEMPO DE REITERACION
SCT-4150F	Seguimiento y control.	Se deberá visualizar y escuchar los siguientes componentes: -Cilindros en elevación y descenso. -Anclaje de seguridad en elevación y descenso. -Niveles de aceite en el estanque en elevación y descenso.	Diariamente.
	Inspección y revisión.	Se deberá revisar de forma visual las uniones hidráulicas y mangueras en busca de posibles fugas	Diariamente.
	Control.	Se deberá utilizar un medidor de vibraciones en la bomba hidráulica para revisar el nivel vibratorio entregado por el sensor, evaluado según la norma 10816-1	Una vez a la semana.
	Análisis y control.	Se deberá utilizar una cámara termográfica, verificando la temperatura al inicio y termino de la operación.	A lo menos dos veces a la semana.

Tabla 3-4. Plan de mantenimiento a equipo STC-4150F

EQUIPO	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	TIEMPO DE REITERACION
SCT-4150F	Análisis y control.	Mediante el medidor de vibraciones se analizará el estado vibratorio de del equipo hidráulico, en busca de posibles armónicos generados por mal estado de algún componente del equipo.	Una vez al mes.
	Análisis y control.	Mediante el medidor de vibraciones se analizará el estado del sistema hidráulico del equipo, en busca de cavitación o impureza dentro del sistema,	Una vez cada 6 meses.

Fuente: Elaboración propia, según resultados obtenidos del diagrama de decisiones.

Tabla 3-5. Plan de mantenimiento a equipos EE-6214-1820 y EE-6214-1826

EQUIPO	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	TIEMPO DE REITERACION
SCT-EE-6214	Seguimiento y control.	Se deberá visualizar y escuchar los siguientes componentes: -Cilindros en elevación y descenso. -Anclaje de seguridad en elevación y descenso. -Niveles de aceite en el estanque en elevación y descenso.	Diariamente.
	Inspección y revisión.	Se deberá revisar de forma visual las uniones hidráulicas y mangueras en busca de posibles fugas	Diariamente.
	Control.	Se deberá utilizar un medidor de vibraciones en la bomba hidráulica para comprobación de nivel vibratorio entregado por el sensor, evaluado según la norma 10816-1	Una vez a la semana.

Tabla 3-5. Plan de mantenimiento a equipos EE-6214-1820 y EE6214-1826

EQUIPO	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	TIEMPO DE REITERACION
SCT-EE-6214	Análisis y control.	Se deberá utilizar una cámara termográfica, verificando la temperatura al inicio y termino de la operación.	A lo menos dos veces a la semana.
	Análisis y control.	Mediante el medidor de vibraciones se analizará el estado vibratorio de del equipo hidráulico, en busca de posibles armónicos generados por mal estado de algún componente del equipo.	Una vez al mes.
	Análisis y control.	Mediante el medidor de vibraciones se analizará el estado del sistema hidráulico del equipo, en busca de cavitación o impureza dentro del sistema,	Una vez cada 6 meses.

Fuente: Elaboración propia, según resultados obtenidos del diagrama de decisiones.

Para el sistema hidráulico se deberán considerar aceites hidráulicos de la gama AW-32-46-68 ya que son aceites especializados en bombas de engranaje, pistones, paleta y sistemas hidráulicos donde se requiere protección y no desgaste, más información en anexos.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Una vez realizado todo lo necesario para complementar este trabajo, se puede realizar un análisis respecto a todo lo implementado y las futuras repercusiones que esto tendrá tanto en el área de trabajo de la universidad y en experiencia personal obtenida.

Mediante el medidor de vibraciones y el software de vibraciones se logró conseguir el estado actual de sistema de bombeo de los equipos para comparación de futuras mediciones en estos.

Con las actividades y formas de cómo realizarlas, se esperan que el equipo logre mantener un estado óptimo de su funcionamiento y disponibilidad para la mejora de capacitación de los alumnos de la carrera de Mecánica Automotriz.

Como se logró apreciar en el registro vibratorio de la bomba hidráulica del elevador de cuatro columnas, este tiene un nivel inaceptable en su vibración según la norma 10816-1, lo cual podría significar que el equipo pueda llegar a fallar si continua con ese funcionamiento comprometiendo la seguridad en su alrededor y la vida útil del equipo. Se recomienda desacoplar la bomba hidráulica, sus componentes y analizar el estado físico del motor para evitar alguna futura falla.

Una observación por considerar reside en la posibilidad de que alumnos de la institución puedan realizar los trabajos de mantenimiento predictivo, ya que son actividades las cuales son enseñadas dentro de la capacitación universitaria, logrando de esta forma una mayor experiencia para el futuro de quien realice dichas actividades.

De forma personal, este trabajo ha logrado aclarar ciertas dudas respecto a los diferentes tipos de mantenimientos, planes y su medio de aplicación. Asimismo, se ha logrado tener la experiencia completa de un control de medición vibratoria y análisis de esta, los cuales serán un gran beneficio dentro la futura área laboral.

**BIBLIOGRAFIA**

- Manuales TECH.
- Manual elevador de columna hidráulico EE-6214.
- NORMA ISO 10816.
- Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado, 4ª Edición, Mc Editorial.
- RCM II Mantenimiento centrado en confiabilidad, John Moubray, edición española.
- Mantenimiento predictivo, P. Saavedra 2010, Universidad de Concepción.

**ANEXOS**

<b>CARACTERÍSTICAS TÍPICAS</b>				
<b>Mobil Hydraulic AW</b>	<b>Método de Prueba</b>	<b>32</b>	<b>46</b>	<b>68</b>
Gravedad específica	ASTM D-1298	0,87	0,88	0,88
Viscosidad, cSt @ 40°C	ASTM D-445	30,4	46,6	67,6
cSt @ 100°C	ASTM D-445	5,2	6,7	8,5
Grado ISO VG	ASTM D-2422	32	46	68
Índice de viscosidad	ASTM D-2270	103	95	95
Punto mínimo de fluidez, °C	ASTM D-97	-24	-24	-24
Punto de inflamación, °C	ASTM D-92	222	232	234
Corrosión lamina de cobre, 3 horas @ 110°C	ASTM D-130	1ª	1A	1A
Color	ASTM D-1500	1,0	1,0	1,5

Fuente: Manual Mobile online

<b>COMPONENTES</b>	<b>DOS COLUMNAS EE-6214</b>	<b>DOS COLUMNAS EE-6214</b>	<b>CUATRO COLUMNAS SCT-4150F</b>
SISTEMA DE CONTROL	SI	SI	SI
TANQUE DE ACEITE	SI	SI	SI
FILTROS DE ACEITE	SI	SI	SI
MOTOR HIDRAULICO	SI	SI	SI
MANGUERAS	SI	SI	SI
SENSORES	SI	SI	SI
VALVULAS DE LIBERACION DE ACEITE	SI	SI	SI
VALVULA DE RETORNO DE ACEITE	SI	SI	SI
ENGRANAJES DE SEGURIDAD	SI	SI	SI
CORDON DE ACERO	SI	SI	SI
CADENA	SI	SI	NO
POLEA	SI	SI	SI
CILINDROS HIDRAULICOS	SI	SI	SI
RESORTE AMORTIGUACION	SI	SI	SI

Fuente: Elaboración propia, según componentes del equipo.