



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TEMA:

" Repotenciación del mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración enfocado a equipos rotatorios usados para el proceso de producción de una planta química ubicada en Guayaquil-Ecuador."

AUTOR:

Espinoza Ronquillo, Clemente Douglas

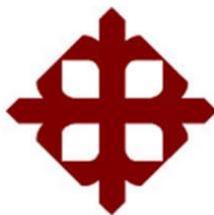
**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniero en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión
Empresarial Industrial**

TUTOR:

Ing. Gallardo Posligua, Jacinto M.A.E.

Guayaquil, Ecuador

2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO- MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Espinoza Ronquillo Clemente Douglas**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial**.

TUTOR

f. _____

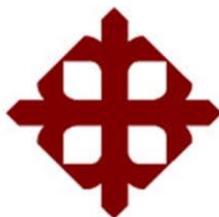
Ing. Gallardo Posligua, Jacinto M.A.E.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M.Sc.

Guayaquil, a los 14 días del mes de marzo del 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO- MECÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Espinoza Ronquillo, Clemente Douglas**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Repotenciación del mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración enfocado a equipos rotatorios usados para el proceso de producción-Ecuador de una planta química ubicada en Guayaquil-Ecuador**, previo a la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías.

Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

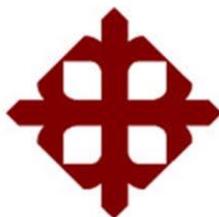
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 14 días del mes de marzo del año 2019

EL AUTOR

f. _____

ESPINOZA RONQUILLO, CLEMENTE DOUGLAS



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Espinoza Ronquillo, Clemente Douglas**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Repotenciación del mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración enfocado a equipos rotatorios usados para el proceso de producción de una planta química ubicada en Guayaquil-Ecuador**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 14 días del mes de marzo del año 2019

EL AUTOR:

f. _____

ESPINOZA RONQUILLO, CLEMENTE DOUGLAS

REPORTE URKUND

Documento [tesis espinoza.ronquillo.pdf](#) (D48701658)

Presentado 2019-03-06 18:14 (-05:00)

Presentado por luva1962@hotmail.com

Recibido luis.vallejo.ucsg@analysis.urkund.com

1% de estas 39 páginas, se componen de texto presente en 8 fuentes.



97%

0 Advertencia Reiniciar

1950 En Estados Unidos de América mejora el Mantenimiento Productivo (PM) 1951 Se da a relucir el "Análisis de Weibull" 1960 Se mejora el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) 1961 Se principia el Poka-Yoke 1962 Se mejora los Círculos de Calidad (QC) 1965 Se mejora el análisis-Causa- Raíz (RCA) 1968 Se conoce la Guía MSG-1 conocida como el RCM mejorado. 1970 Difusión del uso de la computadora para la administración de los Activos (CMMS) 1971 Se

mejora el Mantenimiento Productivo Total (TPM) 1978 Se presenta la Guía MSG-3 para mejorar el mantenimientos en naves aéreas. 1980 Se mejora la Optimización del Mantenimiento Planificado (PMO) 1980 Se aplica el RCM-2 en toda clase de empresas industriales 1995 Se mejora el proceso de los 5 Pilars of the Visual Workplace (5S's) (sisib.unmsm.edu & sisib, 2016)

9 Tabla 2.2: Línea del tiempo en modo simplificado. Fuente: (sisib.unmsm.edu & sisib, 2016). 2.2 Tipos de mantenimientos 2.2.1 Mantenimiento predictivo Este

es un caso particular del mantenimiento basándose en condición, o mantenimiento

el presente trabajo investigativo se analiza las vibraciones mecánicas producidas por desalineación paralela como angular existentes entre una configuración muy utilizada en la industria como lo es el acoplamiento entre motor - bomba, para lograr este objetivo se dispuso de un banco de simulación de dicha configuración pero por motivos de experimentación de la anomalía se opto por un modelo a escala como lo es un banco de pruebas motor - bomba de un 1 HP de potencia esto con el fin de emular en una escala

menor una bomba Bi-Block de gran potencia que se utiliza en las industrias actualmente,

AGRADECIMIENTO

Al culminar una etapa más de mi vida estudiantil, agradezco a Dios en todo momento y un profundo agradecimiento a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, una gratitud especial a sus docentes que conforman la Facultad Técnica para el Desarrollo.

A mi tutor Ing. Gallardo Posligua, Jacinto M.A.E y al director de Carrera Ing. Miguel Heras Sánchez, M.Sc, por toda su colaboración y apoyo, quienes, con sus amplios conocimientos, basta experiencia y el tiempo que me han brindado, hicieron posible la realización de mi trabajo de titulación.

A toda mi familia por estar siempre brindándome su apoyo y a todas las personas que de una u otra manera han sabido impulsar y motivar esta meta propuesta.

Clemente Douglas

DEDICATORIA

En primer lugar, agradezco a Dios, que me da fuerza, valor y coraje para seguir adelante, que nos demostró que cada fracaso que ocurre en nuestras vidas, nos enseña a nosotros algo que necesitamos aprender.

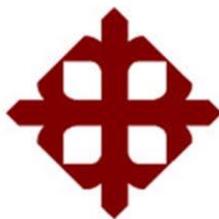
A mi padre Clemente quien a pesar de las circunstancias se mantuvo firme y apoyándome en lo que a su alcance estuviera, aconsejándome y guiando por el buen camino.

Mi hijo Douglas quien me da alegría y fuerzas para continuar dando lo mejor de mí, así demostrarle que con constancia y perseverancia se puede alcanzar las metas propuestas

Mis hermanos: Johanna, Elvis quienes son mis guías, compañeros en cada momento, con los cuales a pesar de ciertas adversidades siempre nos mantenemos unidos. Y demás familiares quienes me han ayudado durante todo este tiempo a pesar de tantos tropiezos y demás circunstancias, los amigos sinceros y a todo aquel que me apoyó para alcanzar la meta.

De manera muy especial quiero agradecer a mi madre Gladys, que no se encuentra físicamente con nosotros, pero este logro se lo dedico, porque siempre supo que podía dar más, y sé que desde arriba está orgullosa.

Clemente Douglas



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO

CARRERA: INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Romero Paz, Manuel De Jesús, M.Sc.

DECANO

f. _____

Ing. Luis Orlando Philco Asqui, M.Sc.

COORDINADOR DE ACADÉMICO

f. _____

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M.Sc.

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE GRAFICAS	XVI
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT	XIX
CAPITULO I	2
INTRODUCCIÓN	2
Generalidades de la investigación	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Objetivos	2
1.3 Justificación y alcance	2
1.4 Tipo de investigación	3
1.5 Metodología	3
CAPITULO II	5
MARCO TEORICO	5
2.1 Mantenimiento	5
2.1.1 Definición	5
2.1.2 Historia del mantenimiento	6
2.1.3 Evolución del mantenimiento	7
2.2 Tipos de mantenimientos	10
2.2.1 Mantenimiento predictivo	10
2.2.2 Mantenimiento Correctivo	11
2.2.3 Mantenimiento Preventivo	11
2.2.4 Mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración	12
2.3 Vida útil de la planta	12
2.4 Técnicas del mantenimiento predictivo	12

2.5	Vibración	13
2.6	Vibraciones de diferentes equipos.....	13
2.7	Ventajas del análisis por vibraciones.....	16
2.8	Desventajas del análisis por vibración.....	16
2.9	Vibración simple	17
2.10	Vibración compuesta	18
2.11	Vibración libre.....	19
2.12	Vibración forzada.....	19
2.13	Vibración aleatoria y golpes intermitentes	19
2.14	Vibraciones mecánicas.....	20
2.15	Vibración por lubricación inadecuada.....	20
2.16	Vibración por Aflojamiento Mecánico.	21
2.17	Vibración por Problemas de Engranaje	21
2.18	Instrumentación en mediciones por vibración.....	21
2.19	Diferentes equipos de medición de análisis vibratorios	22
2.19.1	Equipo GSR18.....	22
2.19.2	Medidor de vibraciones portable FLUKE 805	23
2.19.3	Equipo de medición de vibraciones Minimate – Instantel	24
2.19.4	Vibrómetro	25
2.19.5	Equipo GSR18.....	26
2.19.6	Vibrometro de precisión pce-vt 250	27
2.20	Diagnóstico de rodamientos en maquinas.....	28
2.21	Maquinas rotativas	29
2.22	Falla.....	30
2.23	Causa de fallos.....	30
2.23.1	Desequilibrio.....	30
2.23.2	Desalineamiento.....	32

2.23.3	Desalineamiento vertical y horizontal	32
2.24	Sistemas de alineación.....	33
2.24.1	Alineación de precisión.....	34
2.24.2	Sistema de alineación con reloj y carátula.....	34
2.24.3	Sistema de alineamiento láser.....	34
2.25	Cojinetes.....	35
2.26	Cojinetes macizos	36
2.27	Cojinetes de dos compuestos.....	36
2.28	Cojinetes de tres componentes	36
2.29	Rodamientos	36
2.30	Defectos en pista.....	37
2.31	Defectos en bola o rodillos	39
2.32	Deterioro en la jaula	39
2.33	Correas.....	40
2.34	Engranajes	41
2.35	Etapas para medir vibraciones	41
2.36	Medida de vibraciones.....	42
2.36.1	Vibraciones severas	42
2.36.2	Vibraciones en motores alternativos.....	42
2.36.3	Aspectos en la medición de vibración	42
2.36.4	Medición de vibraciones	43
2.37	Frecuencia de las vibraciones	44
2.37.1	Frecuencias generadas	44
2.37.2	Frecuencias excitadas.....	44
2.38	Resonancia.....	44
2.39	Normativa vigente de mantenimientos por vibraciones	44
2.40	Seguridad en el mantenimiento predictivo.....	45

2.41	Normativas De Seguridad.....	46
	CAPITULO III.....	48
	MARCO REFERENCIAL	48
	CAPITULO IV.....	60
	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y DIAGNOSTICO ACTUAL DE LA EMPRESA QUÍMICA Y SUS EQUIPOS	60
4.1	Levantamiento de información.....	60
4.1.1	Ubicación.....	60
4.1.2	Determinación para la toma de datos según norma ISO 10816..	61
4.1.3	Levantamiento de equipos crítico de planta.	62
4.1.4	Descripción de los procesos productivos.....	63
4.1.5	Salmuera saturada.....	63
4.1.6	Salmuera sedimentada.	64
4.1.7	Salmuera ultra pura.....	64
4.1.8	Salmuera clorada.....	64
4.1.9	Salmuera declorada.	64
4.1.10	Proceso de hipoclorito.....	65
4.1.11	Proceso de cloro líquido.	66
4.1.13	Producción de cloro líquido.....	66
4.1.14	Servicios auxiliares del proceso.	66
4.1.16	Área de servicios.	67
4.1.17	Compresores de amoniaco.	67
4.2	Diagnostico actual de los equipos instalados	67
4.2.1	Análisis de vibraciones en bombas de salmuera filtrada.	68
4.2.2	Bomba P-103A.....	69
4.2.3	Bomba P-103B.....	70
4.2.4	Análisis de vibraciones en bombas de hipoclorito.....	70

4.2.5	Bomba P-601A.....	71
4.2.6	Bomba P-601B.....	72
4.2.7	Bomba P-601C	72
4.2.8	Bomba despacho hipoclorito.....	73
4.2.9	Bomba P-602A.....	74
4.2.10	Análisis de vibraciones en compresor sabroe y soplador de cloro. 74	
4.2.11	Compresor U-401C	75
4.2.12	Soplador K-401C.....	77
4.2.13	Análisis de vibraciones en bomba agua de enfriamiento.	77
4.2.14	Bomba P-701A.....	79
4.2.15	Bomba P-701B.....	79
4.2.16	Agua bruta.	80
4.2.17	Análisis de vibraciones en bomba agua de enfriamiento.	80
4.2.18	Bomba P-708A.....	81
4.2.19	Compresor K-702A	84
4.2.20	Compresor K-702B	84
4.2.21	Compresor K-702C	84
4.2.22	Compresor K-701A	86
4.2.23	Compresor K-701C	86
	CAPITULO V.....	87
	PROPUESTA.....	87
5.1	Mantenimiento predictivo basado en los análisis vibratorios de equipos rotatorios utilizadas en el proceso de producción de una planta química87	
5.2	Propuesta Técnica.....	87
5.2.1	Análisis de señales.....	87
5.2.2	Análisis de espectros.....	88

5.2.3	Análisis en dominio de la frecuencia	89
5.2.4	Análisis por ultrasonido.....	90
5.2.5	Análisis computarizados	92
CAPITULO VI.....		97
ESTUDIO ECONÓMICO Y POSIBLES IMPACTOS.....		97
6.1	Estudio económico	97
6.1.1	Gastos por mantenimientos.....	98
6.2	Posibles Impactos	99
6.2.1	Mejoras en la eficiencia de la maquina.....	99
6.2.2	Disminución de riesgos	100
6.2.3	Alternativas del servicio	100
6.2.4	Posibles repercusiones	100
6.3	Conclusiones y recomendaciones	101
6.3.1	Conclusiones	101
6.3.2	Recomendaciones.....	102
Bibliografía.....		103
ANEXOS.....		110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Evolución del mantenimiento	9
Tabla 2.2: Línea del tiempo en modo simplificado	10
Tabla 4.1: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones .	67
Tabla 4.2: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones .	69
Tabla 4.3: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones .	71
Tabla 4.4: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones	73
Tabla 4.5: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones .	74
Tabla 4.6: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones	76
Tabla 4.7: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones	78
Tabla 4.8: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones	80
Tabla 4.9: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones	82
Tabla 5.1: Límites de audibilidad.....	89

ÍNDICE DE GRAFICAS

Figura 2.1 Diagnóstico de maquinaria por vibraciones	14
Figura 2.2: Espectro de frecuencias con cuatro picos	16
Figura 2.3: Vibración simple en dos rangos	17
Figura 2.4: Forma de una onda vibratoria simple	18
Figura 2.5: Forma de una onda vibratoria compuesta	18
Figura 2.6: Equipo de medición de vibraciones de 0 a 5 V	22
Figura 2.7: Equipo de medición de vibraciones Minimate – Instante	23
Figura 2.8: Equipo de medición de vibraciones Minimate – Instantel	24
Figura 2.9: Vibrómetro para velocidad (RMS) y aceleración (PEAK).....	25
Figura 2.10: Equipo de medición vibratoria estable modelo GSR18.....	26
Figura 2.11: Vibrometro para determinar el estado completo de máquinas y diagnóstico mediante análisis FFT modelo PCE-VT 250.....	27
Figura 2.12: El girómetro PCE-VT 250D le permite diagnosticar el estado de sus máquinas y rodamientos	28
Figura 2.13: Espectro de velocidad de un problema de desequilibrio.....	30
Figura 2.14: Realineamiento vertical y horizontal	32
Figura 2.15: Alineamiento de ejes en equipo rotativo	33
Figura 2.16: Manual de alineamiento de ejes en equipo rotativo	34
Figura 2.17: Fallo en la pista exterior (BPFO).....	37
Figura 2.18: Fallo en la pista interior (BPFI)	37
Figura 2.19: Fallo en elemento rodante (BSF).....	38
Figura 2.20: Fallo en jaula (FTF).....	39
Figura 2.21: Lugar correcto de ubicación de transductor	42
Figura 2.22: Esquema de las normas OHSAS.....	44
Figura 4.1: Coordenadas de ubicación	58
Figura 4.2: Ubicación geográfica	59
Figura 4.3: equipos críticos y separados por sectores según funcionalidad de la planta	60
Figura 4.4: Proceso de Hipoclorito	63

Figura 4.5: Bombas para salmuera filtrada	66
Figura 4.6: Bombas del proceso de hipoclorito	69
Figura 4.7: Bomba despacho de hipoclorito	71
Figura 4.8: Compresor sabroe de freón	72
Figura 4.9: Soplador de cloro.....	74
Figura 4.10: Bombas para agua de enfriamiento	75
Figura 4.11: Bombas para agua bruta	78
Figura 4.12: Compresores para amoniaco	79
Figura 4.13: Compresores para aire comprimido	82
Figura 5.1: Señales gráficas	85
Figura 5.2: Componentes de una máquina y espectros	87
Figura 5.3: Análisis de sonido	88
Figura 5.4: Análisis vibratorios grabados en tiempo real	90
Figura 6.1: Costos por mantenimientos predictivos	94
Figura 6.2: Esquema no favorable	95
Figura 6.3: costos por mantenimiento	96

RESUMEN

El actual trabajo tiene como objetivo principal realizar el respectivo levantamiento de información y diagnósticos actuales a los diferentes equipos rotatorios en base a los análisis vibratorios. Repotenciando así el mantenimiento predictivo para conocer e identificar las fallas más comunes en los equipos rotatorios ocasionados por, malos alineamientos, golpeteos por desgastes, temperaturas inadecuadas, engranajes en posiciones no correctas. También Como es necesario tener claros los conceptos básicos asociados con vibraciones, la secuencia de medición, espectros y diagramas vibratorios en cada una de ellas y el comportamiento analítico vibratorio de los diferentes casos por fallas. Por otra parte realizar el debido estudio económico y posibles impactos que encierran los márgenes de conveniencia donde se plantea los costos por los equipos de adquisición, personal con cocimientos amplios en las pruebas de los equipos y capacitación del personal de mantenimiento sobre la repotenciación del mantenimiento predictivo con los aparatos apropiados. Los diferentes tipos de normas y de qué manera son implementadas en los diferentes equipos que se encuentran asociados al proceso continuo de producción. Se considera una revisión de los beneficios y probabilidades de manera desfavorable. Como último evento se contempla la aplicación de la repotenciación mantenimiento predictivo en el sistema, tanto a los espectros, graficas estadísticas de procesos con un historial vibratorio y con ello las consideraciones que se pueden optar a la hora de aplicar los mantenimientos debidos de manera predictiva.

PALABRAS CLAVES: ROTATORIOS, EQUIPOS, ANALISIS, VIBRATORIOS, PREDICTIVO, PRODUCCION, MEDICION

ABSTRACT

The main objective of the present work is to carry out the respective information survey and current diagnoses to the different rotating equipment based on the vibratory analysis. Repotenciando thus the predictive maintenance to know and identify the most common failures in the rotating equipment caused by, bad alignments, tapping by wear, inadequate temperatures, gears in positions not correct. Also, it is necessary to be clear about the basic concepts associated with vibrations, the measurement sequence, spectra and vibratory diagrams in each of them and the analytical vibratory behavior of the different cases due to faults. On the other hand, perform the due economic study and possible impacts that enclose the margins of convenience where costs are raised by the acquisition teams, personnel with extensive knowledge in the tests of the equipment and training of maintenance personnel on the repowering of predictive maintenance with the appropriate devices. The different types of standards and how they are implemented in the different teams that are associated with the continuous production process. It is considered a review of the benefits and probabilities in an unfavorable way. As a last event, the application of the repowering of predictive maintenance in the system is contemplated, both to the spectra, statistical graphs of processes with a vibratory history and with it the considerations that can be chosen when applying predictive maintenance.

KEYWORDS: ROTATORIES, EQUIPMENT, ANALYSIS, VIBRATORY, PREDICTIVE, PRODUCTI, MEASUREMENT

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Generalidades de la investigación

1.1 Planteamiento del problema

Evolucionar en el método de mantenimiento de las máquinas previniendo fallas catastróficas por desalineación, desbalanceo, inclusive un defecto mínimo no visible de un rodamiento, que causara un cambio en la vibración de cualquier maquina provocando una cantidad de otras fallas, es por eso necesario, el uso de instrumentos electrónicos para la medición de parámetros relacionados al funcionamiento de estos y asegurar así la calidad del mantenimiento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Repotenciar el mantenimiento predictivo basado en los análisis de vibración en equipos rotatorios en una planta química.

1.2.2 Objetivos específicos

- ❖ Levantamiento de información y diagnostico actual de los equipos rotatorios.
- ❖ Repotenciar el mantenimiento predictivo basado en los análisis de vibración en equipos rotatorios.
- ❖ Estudio económico y posibles impactos.

1.3 Justificación y alcance

El detener el proceso de la producción por un mantenimiento correctivo puede representar gastos y perdidas den la empresa sea de cualquier tipo,

es por eso la aplicación y el empleo del mantenimiento predictivo para poder actuar, o a su vez adquirir las piezas que están por averiarse y así reducir los costos y paralización de mano de obra por la reparación a realizarse.

La búsqueda y toma de datos para un mantenimiento predictivo, aplicarlas en equipos rotatorios, identificar variables, generación de procesos, para evitar la pérdida de producción es uno de los objetivos del área de mantenimiento en toda empresa.

El detectar los problemas de forma temprana para tener continuidad en la operatividad de la maquinaria es una forma de tener ventajas de este método de mantenimiento, el tener personal muy calificado para este trabajo para que se fiable y concreto, y justificar el valor de los precios costosos de los equipos, y la programación de estos.

1.4 Tipo de investigación

La siguiente investigación es de tipo cualitativa y cuantitativa, detallando no solo el mantenimiento predictivo como parte principal de la solución para la producción y calidad, sino dando un conocimiento más amplio de las diferentes descripciones generales de las diferentes optativas de métodos a emplearse para la identificación de problemas, aplicando técnicas de investigación de campo, bibliográficas, exploratorias y descriptivas.

1.5 Metodología

Se enfoca en la revisión literaria por el cual conocemos de forma teórica analítica, mediante la recopilación de datos obtenida en base a la información de los parámetros que podemos tomar en cuenta para un procedimiento adecuado debidamente aplicable en los pasos siguientes tal como lo es el mantenimiento predictivo y su debida documentación actualizada en las maneras de implementación de mantenimientos vibratorios. Se busca la forma de organizar la información dada en los

diferentes sitios bibliográficos y que se redacte una información resumida y dando evaluar los resultados de este tipo de mantenimiento.

Tener en cuenta todos los principios, ilustraciones y mediciones del tipo de mantenimiento predictivo como estudio equitativo y de tipo experimental porque el mismo tiene como objetivo la formulación de una dificultad para viabilizar un tipo de investigación más exacta.

Así obtienen de manera inicial los documentos más actuales a la fecha sobre los nuevos métodos y tecnologías de mantenimientos predictivo y en base a estos análisis una base de datos, índices, catálogos virtuales, libros literarios, listados de referencias, consulta en revistas científicas, bibliotecas virtuales, repositorios la búsqueda en internet respectiva, revistas electrónicas, también se realizan filtros de la información obtenida, Se identifican los datos frecuentes y diferenciadores de cada escrito, Se clasifican los escritos por técnicas realizadas y sobre los métodos de mantenimiento predictivo hasta 5 años atrás a la presente fecha.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Mantenimiento

2.1.1 Definición

La normativa francesa AFNOR X 60-010 define el mantenimiento como un conjunto de actividades destinadas a establecer o mantener un bien en un estado o en unas condiciones funcionamiento con toda seguridad, para cumplir con esta función a realizarse. Aquellas actividades suponen una mezcla de prácticas administrativas, técnicas y de gestión. Es decir, todo sistema que este funcional en cualquier proceso productivo tiende a dañarse de una forma progresiva y puntual, el mantenimiento se encarga de restablecer la manera inicial del mismo, es decir, que una máquina o instalación cumpla las funciones correctamente para las cuales fueron creadas, de la manera más económica y eficiente (Estevez, 2015).

El mantenimiento predictivo es más utilizado todos los días en todo tipo de industria debido a su uso ventajoso para obtener mayor confiabilidad, menores costos por mantenimientos, y ventajas de ser realizados a sus equipos, comúnmente se clasifican en tres categorías: Mantenimiento preventivo basado en tiempo, Mantenimiento predictivo o basado en la condición de la máquina (Saavedra, 2018).

Esta técnica busca detectar señales de advertencia que muestren que parte no está trabajando de manera habitual, haciéndolo de una manera no minuciosa para la máquina y que la producción no sea perjudicada mediante una serie de muestrarios no dañinos. La meta es advertir de manera rápida, prediciendo los daños antes de que aparezcan (Sánchez, 2017).

El continuo y eficiente trabajo es una necesidad de las industrias, y el mantenimiento en las empresas de gran importancia para la conservación de las instalaciones y máquinas, siendo el mantenimiento preventivo el encargado de detectar fallas en los equipos posterior de que estos dejen de

funcionar y detengan el proceso productivo, mediante el seguimiento de variables relacionadas para predecir daños y realizar acciones correctivas en el momento adecuado (Olarte & Botero, 2015).

2.1.2 Historia del mantenimiento

Desde los comienzos de las personas los siglos 17 y 18 la prevención y mantenimiento que se le hacían en las maquinarias no obtuvo un gran avance debido a la menor importancia que tenían esto con respecto a la mano de obra, por ende, el mantenimiento que se daba en ese tiempo era de mantenimiento correctiva. Sólo se reparaba la máquina cuando tenía paros o fallas y no se pensaba en el servicio que ésta daba (Lopez E. , 2016).

A lo largo del avance industrial la función de los mantenimientos ha pasado por algunas etapas. En los principios de la revolución industrial eran los mismos operadores quienes se encargaban de los arreglos de los equipos. Conforme las máquinas se iban haciendo más avanzadas y los trabajos de reparación subían, comenzaron a crearse las primeras áreas de mantenimiento. En esta época (mitad del siglo 19), las tareas de mantenimiento eran solamente correctivas, y se dedicaba todo el empeño en reparar las fallas que se producían en los elementos. (Lopez E. , 2016).

En todos los tiempos, la persona ha tenido la necesidad de mantener sus maquinarias y equipos de trabajo en las mejores condiciones. Por lo general ocurrían daños en ciertos equipos, consecuencia del mal manejo de los operadores. Los mantenimientos se realizaban al momento del daño, eso quiere decir, mientras el equipo estaba en pleno funcionamiento, a este evento se le llamó mantenimiento de ruptura o reactivo (Cervantes, 2015).

Los estudios que realizó el científico Frederick W. Taylor cambiaron de manera muy simplificada las malas aplicaciones que tenían en las empresas antiguas. “A raíz de sus observaciones empíricas llegó a crear maneras de trabajo donde el personal y la máquina contemplaban una sola entidad, una

unidad motivada por un sueldo bueno para operar la máquina acorde con las instrucciones que se requerían” (Cervantes, 2015).

2.1.3 Evolución del mantenimiento

Conforme paso el tiempo y a través de los muchos esfuerzos para mejorar su trabajo haciendo de las maquinarias más rápidas y de precisión, en la actualidad se logra obtener un producto o buen servicio con máquinas que se encargan de crear más de 90% de esto, lo cual ha sido posible por el esfuerzo que la humanidad le ha puesto al avance de la labor de cuidado a sus recursos físicos, materia a la que desde sus principios se lo llamó mantenimiento (sisib.unmsm.edu & sisib, 2016).

En ese tiempo el tipo de mantenimiento que se usaba en países de aplicación antes del SIGLO 19. Mantenimiento de conservación predictiva: solo se reparaban las máquinas cuando presentaban paradas o daños (Lopez E. , 2016).

Países más Industrializados De los años 1916 - 1950 Mantenimiento preventivo, detección y trataban las anomalías antes de que causen daños o pérdidas. ESTADOS UNIDOS DE AMERICA AÑOS 50 y 60. Se complementaba al mantenimiento preventivo con el mantenimiento productivo, se le daba más importancia a la confiabilidad para la entrega de atención al cliente. JAPON AÑOS 70 y 80. Mantenimiento Productivo Total TPM, estaba basado en la participación y respeto de todas las personas de las empresas (Lopez E. , 2016).

EPOCA	TIPO DE MANTENIMIENTO APLICADO	PAISES DE APLICACIÓN
ANTES - SIGLO XIX	Mantenimiento de conservación correctiva: solo se arreglaban las máquinas cuando presentaban paros o fallas	PAISES INDUSTRIALIZADOS DE LA EPOCA
1916 - 1950	Mantenimiento preventivo, detección y tratamiento de anomalías antes de que causen defectos o pérdidas.	ESTADOS UNIDOS DE AMERICA
AÑOS 50'S y 60's	Se complementa al mantenimiento preventivo con el mantenimiento productivo, se le da más importancia a la fiabilidad para la entrega de servicio al cliente.	JAPON
AÑOS 70'S y 80's	Mantenimiento Productivo Total TPM, basado en el respeto y participación de todo el personal de las compañías.	JAPON Y ALGUNOS PAISES OCCIDENTALES
AÑOS 90'S Y PRINCIPIO DE SIGLO XXI	Se presenta un mantenimiento más participativo y enfocado a la eliminación de desperdicios y pérdida en cualquier área de las compañías a partir de la aplicación del TPM.	GLOBALIZACIÓN, EN TODO EL MUNDO

Tabla 2.1: Evolución del mantenimiento.

Fuente: (Lopez E. , 2016)

Analizando en ese modelo nuestra historia está basada al mantenimiento. Simplificación de la línea del tiempo (sisib.unmsm.edu & sisib, 2016)

1780 Mantenimiento Correctivo (CM)

1798 Uso de varias partes intercambiables en las máquinas

1903 Producción masiva Industrial

1910 Creación de cuadrillas de Mantenimiento Correctivo

1914 Mantenimiento Preventivo (MP)

1916 principios del Proceso Administrativo

1927 Uso de las estadísticas en producción

1931 Control Económico de la Calidad del producto creado

1937 Conocimiento del Principio de W. Pareto

1939 Se controlan las labores de Mantenimiento Preventivo con estadística.

12 1946 Se mejora el Control Estadístico de Calidad (SQC)

1950 En Japón prevalece el Control Estadístico de Calidad

1950 En Estados Unidos de América mejora el Mantenimiento Productivo (PM)

1951 Se da a relucir el “Análisis de Weibull”

1960 Se mejora el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

1961 Se principia el Poka-Yoke

1962 Se mejora los Círculos de Calidad (QC)

1965 Se mejora el análisis- Causa- Raíz (RCA)

1968 Se conoce la Guía MSG-1 conocida como el RCM mejorado.

1970 Difusión del uso de la computadora para la administración de los Activos (CMMS)

1971 Se mejora el Mantenimiento Productivo Total (TPM)

1978 Se presenta la Guía MSG-3 para mejorar el mantenimiento en naves aéreas.

1980 Se mejora la Optimización del Mantenimiento Planificado (PMO)

1980 Se aplica el RCM-2 en toda clase de empresas industriales

1995 Se mejora el proceso de los 5 Pilars of the Visual Workplace (5S's) (sisib.unmsm.edu & sisib, 2016)

1200	1780	1914	1927	1950	1960	1970	1971	1995	A la fecha
M	CM	MP	SQC	PM	RCM	CMM S	TPM	5 S	IC

*Tabla 2.2: Línea del tiempo en modo simplificado.
Fuente: (sisib.unmsm.edu & sisib, 2016).*

2.2 Tipos de mantenimientos

2.2.1 Mantenimiento predictivo

Este es un caso particular del mantenimiento basándose en condición, o mantenimiento sobre condición, que es de manera preventiva realizado acorde a los resultados de la monitorización del equipo. Cuando este tipo de mantenimiento se realiza siguiendo una predicción, a consecuencia del análisis y las evaluaciones de los parámetros significativos de la degradación del equipo, se llama mantenimiento predictivo. Son muchas las ventajas que traen consigo este tipo de mantenimiento, como, conocimiento del estado de la máquina en todo momento, se reducirán prácticamente los daños imprevistos, se minimiza el tiempo de reparación pues se conoce cuál es la causa del daño que ha provocado la parada del elemento, se identifican daños ocultos, se reducen las piezas de refacción, etc. A pesar de estas muchas ventajas, el inconveniente principal que

representa la implantación de un mantenimiento predictivo es una gran inversión inicial en formación y tecnología (Estevez, 2015).

2.2.2 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es el más común en la mediana y pequeña empresa y aunque es el que tradicionalmente se ha ido empleando, lidera desde hace algunos tiempos las introducciones de programas de mantenimiento preventivo cuyos resultados a mayor plazo son mucho más falibles. El mantenimiento correctivo está basado en la intervención en el caso de averías, manifestadas como el colapso de una instalación o un elemento, es decir la interrupción total de la producción, no siempre las averías toman el mismo tiempo en arreglarse y esto causa retrasos del programa y colapso de fuentes de trabajo. Existen averías un poco inusuales que paralizan el elemento por largos tiempos, lo cual obliga a cambiar el elemento o tomar uno en Alquiler, esto eleva los costos de la industria significativamente (Villegas, 2016).

2.2.3 Mantenimiento Preventivo

El fin del mantenimiento preventivo es: eliminar la mayoría de los accidentes por la falta o carencia de dicho mantenimiento en las instalaciones y equipos. Además el mantenimiento productivo prolonga el buen funcionamiento la vida útil de todos los equipos. Debemos tener claro que es una inversión necesaria; que los elementos con el tiempo se deterioran y para hacerlo más rentable por su costo y prolongar su vida útil, es necesario darle un respectivo y adecuado mantenimiento (Hidalgo, 2014).

Se define también como el conjunto de tareas de mantenimiento necesarias para evitar que se produzcan daños en equipos, maquinaria, instalaciones en general (prevenir), se denomina también por algunos autores como Mantenimiento Proactivo Programado. El objetivo de esto último del Mantenimiento Preventivo es asegurar la disponibilidad continua de los equipos, edificaciones, sistemas e instalaciones en una empresa,

Institución u organización, evitando al máximo las paras forzadas e interferencias en las actividades y procesos inherentes de la industria y a las personas que trabajan en ella (Ticlavilca, 2016).

2.2.4 Mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración

El mantenimiento predictivo mediante análisis de vibraciones es, hoy en día, uno de los métodos certeros en los que más se ha desarrollado dentro de las tecnologías de mantenimiento de actual generación. Su principio es relativamente sencillo: por muy buenas que sean las tuberías, máquinas, intercambiadores de calor, válvulas, entre otros, vibran en funcionamiento, y dentro de dicha vibración se guarda gran cantidad de información que puede ser útil para conocer el estado de las máquinas. El estado de una máquina se puede conocer con una rápida base de datos, un análisis de comparaciones y tendencias con espectros de vibración patrones, para así, programar la intervención de los elementos en el momento en que realmente lo necesite, es decir, cuando las condiciones de deterioro han pasado de un determinado punto y posterior de que se llegue a producir el daño (Gonzalez, 2015).

2.3 Vida útil de la planta

La esperanza de vida útil de una planta se sitúa entre los 20 y 30 años, teniendo una planificación del estado de degradación de manera que ni la fiabilidad ni el costo por mantenimiento estén fuera de los objetivos dados en un largo periodo de tiempo. El aspecto que se observa no corresponde con su juventud, por la cual se debe realizar un mantenimiento gestionado (Garrido, 2015).

2.4 Técnicas del mantenimiento predictivo

Se puede clasificar en dos técnicas, las que son de fácil trabajo y las técnicas que requieren ciertos equipos sofisticados y conocimientos. La primera son equipos de inspección de manera visual instalada de forma

permanente como son los manómetros, termómetros, caudalímetros. Dentro de la segunda destacan las más complejas como análisis de termografía, análisis de aceite, vibraciones, ultrasonido y baroscopia (Neita & Peña, 2014).

2.5 Vibración

Según la norma ISO 2041: 2009, “Vibración y Choques - Vocabulario”, define a la vibración como: “Oscilación mecánica sobre un punto de equilibrio. Las oscilaciones pueden ser aleatorias o periódicas” (ISO 2041, 2009). Es decir es el movimiento oscilatorio de un cuerpo entorno a su punto de equilibrio, el cual es realizado por una fuerza de excitación. Cuando la fuerza que actúa sobre el cuerpo es nula éste volverá a su punto inicial de equilibrio (Montero & Narvaez, 2015).

También se dice que un cuerpo vibra cuando tiene cambios alternativos, de tal modo que sus puntos oscilen sincrónicamente en torno a sus lugares de equilibrio, sin que el campo cambie de sitio. Como concepto alterno de vibración, se puede decir que es un intercambio de energía cinética en cuerpos con rigidez y masa finitas, el cual surge del ingreso de energía dependiente del tiempo (Gonzalez, 2015).

2.6 Vibraciones de diferentes equipos

La vibración como definición se puede decir que es el movimiento de vaivén de una maquina o elemento de ella en cualquier sentido del espacio desde su posición de equilibrio, el llevar un seguimiento constante y estricto de las maquinarias nos da una señal previo de un daño, y disminuir costos en los cambios de piezas programados y dar mayor tiempo para que continúen trabajando, destacando más importantes características como: frecuencia, energía de impulsos, velocidad, aceleración y desplazamiento (Torres, 2018).

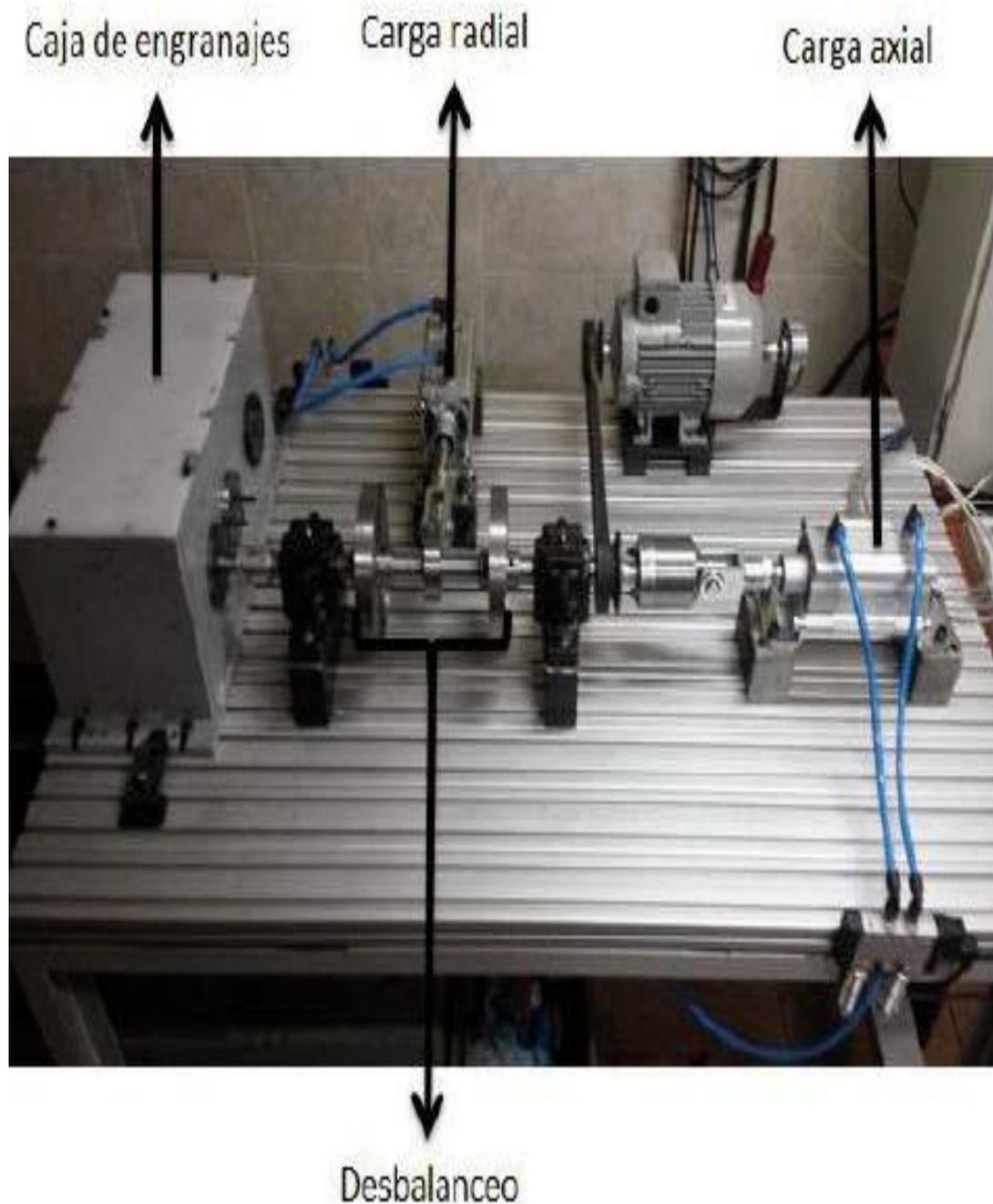


Figura 2.1: Diagnóstico de maquinaria por vibraciones.
Fuente: (Nivelo & Romero, 2014)

Un cambio en la vibración básica de una máquina, sabiendo que está laborando en condiciones habituales, será señal de algún defecto incipiente en alguno de sus equipos, siendo los daños los que dan lugar a varios tipos de cambios de la vibración característica de la máquina, impulsando a determinar el origen del problema (IMEM, 2018).

La frecuencia se define como el número de ciclos completos en un periodo de tiempo, existiendo una relación importante entre velocidad y

frecuencia angular de elementos rotativos. La unidad que lo caracteriza es cpm (ciclos por minuto) siendo esta la que identificará el inconveniente y la pieza responsable de la vibración (Torres, 2018).

La velocidad es tomada del recorrido que se realiza al vibrar y es medida en mm/s, el cambio de esta trae consigo un diferencial de aceleración el cual está relacionada con la fuerza que provoca la vibración algunas de ellas en alta frecuencia, aunque desplazamiento y la velocidad sean pequeños (Torres, 2018).

La energía de impulsos mide los impulsos de energía de la vibración de poca duración y por lo tanto de alta frecuencia, proporcionando información a la hora de realizar los análisis de vibraciones, generalmente dado por defectos de elementos de engranajes o rodamientos, rozamiento, contacto, impacto, cavitación o fugas de vapor. Siendo esto necesario para detectar rodamientos o engranajes defectuosos (Torres, 2018).

Las señales de vibraciones están conformadas por muchas frecuencias. Análisis de frecuencia es el proceso de deteriorar las señales de vibración en sus componentes independientes de frecuencia. El análisis del dominio de la frecuencia puede dar información sobre las fuentes que crean la señal. La función de frecuencia de respuesta (FRF) es la mezcla entre la salida (respuesta) y la entrada (excitación) de ese sistema (Súnico, 2015).

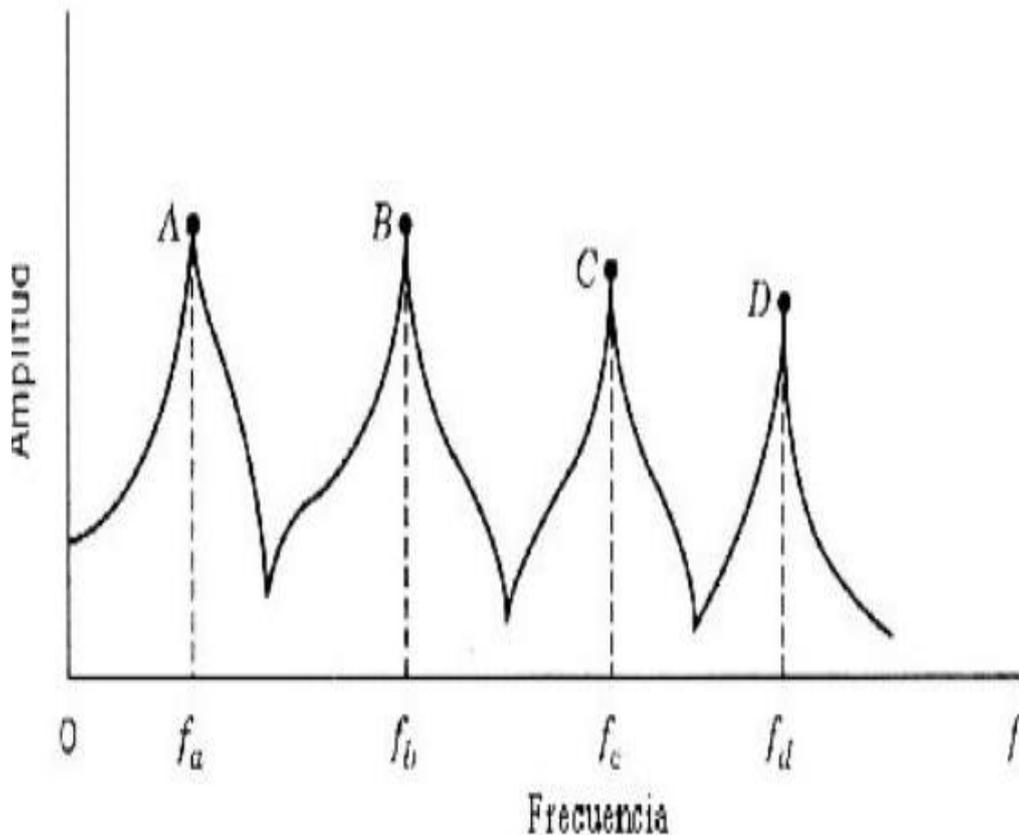


Figura 2.2: Espectro de frecuencias con cuatro picos.
Fuente: (Rodríguez , 2015)

2.7 Ventajas del análisis por vibraciones

Entre las primordiales ventajas se puede identificar algún defecto en la maquinaria sin la necesidad de desbaratar el equipo, al presentar una avería se puede pedir con anticipación los repuestos que se requieran, e ir solicitando el personal idóneo para la reparación. El personal que opera la maquina obtendría las mejores condiciones ambientales para laborar con un nivel bueno de vibración (Victor Manuel, 2017).

2.8 Desventajas del análisis por vibración

La definición de los límites adecuados, debido que si manejamos límites bajos se tiende a generar alarmas falsas y con límites muy elevados muchas averías pasaría sin ser notorias, es esa la necesidad del personal

especializado para procesar la toma de decisiones y mediciones. Los costos iniciales por la adquisición de los elementos son altos (Victor Manuel, 2017).

2.9 Vibración simple

La vibración simple tiene como principal base las ondas sinusoidales en el dominio del tiempo, siendo las oscilaciones puras la representación de ellas. Las unidades más utilizadas son periodo de oscilación que es la representación de un ciclo, periodo, y frecuencia que es la reciproca de periodo, generalmente representada en (ciclos por segundo) (A-MAQ, 2005).

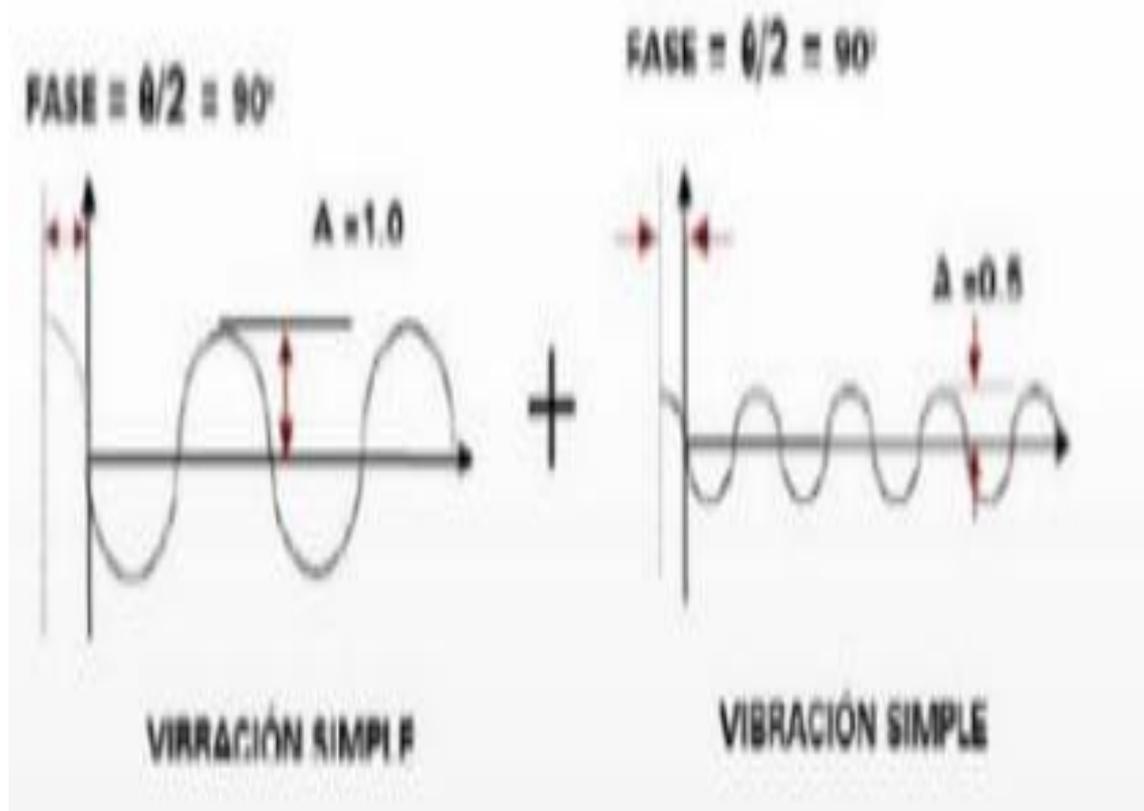


Figura 2.3: Vibración simple en dos rangos.
Fuente: (Moreno, 2016)

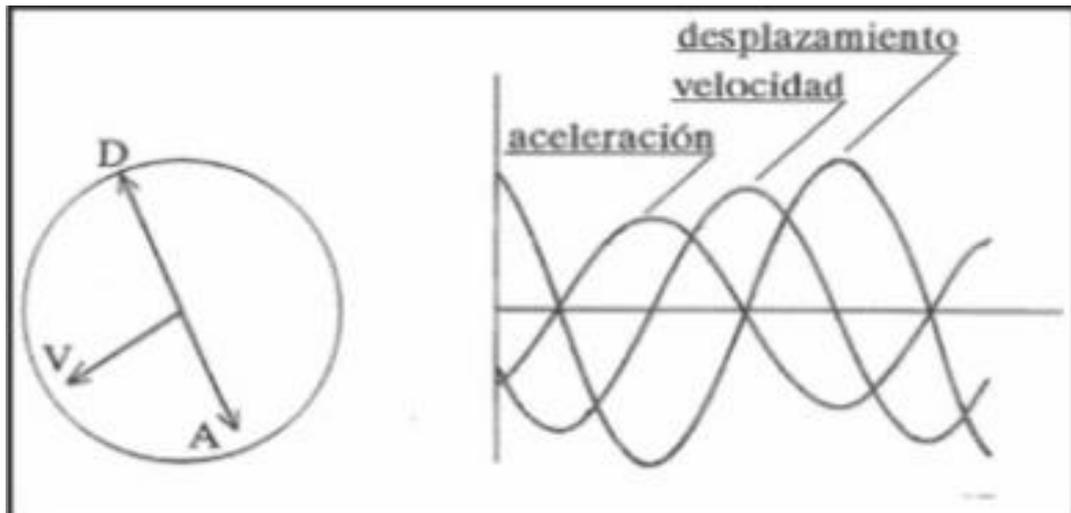


Figura 2.4: Forma de una onda vibratoria simple
Fuente: (Moreno, 2016)

2.10 Vibración compuesta

Es la suma de vibraciones simples, componiéndose de una serie de vibraciones simples unidas a los componentes internos en funcionamiento. Una vibración compuesta es la sumatoria de algunas señales sinusoidales que comprenden todos los componentes de la máquina, más todas las vibraciones aleatorias y golpeteos (A-MAQ, 2005).



Figura 2.5: forma de una onda vibratoria compuesta
Fuente: (Moreno, 2016)

2.11 Vibración libre

No debe de tener fuerzas externas y el sistema oscila bajo acción de fuerzas inherentes al mismo, puede vibrar una o más de sus frecuencias naturales y sus modos de vibrar son independientes de la distribución de rigidez y masa (Pérez & Bermejo, 2014).

2.12 Vibración forzada

Sucede cuando existen excitaciones directas aplicadas a lo largo del tiempo, además de las fuerzas o momentos internos. Si la excitación coincide con una de las frecuencias naturales del sistema, se produce una situación de resonancia que puede ocasionar oscilaciones de grandes proporciones peligrosas (Pérez & Bermejo, 2014).

2.13 Vibración aleatoria y golpes intermitentes

La vibración aleatoria no cumple patrones especiales que constantemente se repitan y es difícil determinar donde comienza un ciclo y donde termina, se asocian con turbulencias en bombas y Browser a problemas de contacto y lubricación metal-metal en elementos rodantes o a cavitación en bombas y se los interpreta mejor en espectros y no en la onda en el tiempo (A-MAQ, 2005).

Las vibraciones aleatorias están unidas generalmente a turbulencias en bombas y sopladores. No cumplen con patrones concretos lo que hace totalmente imposible detectar donde empiezan y donde termina un ciclo, en los golpeteos intermitentes se asocian a golpes repetitivos que crean una señal repetitiva, este modelo de señales tiende a morir a la amortiguación del medio. Se encuentran más en engranajes, rodamientos paso de aspas de un ventilador o impulsor comúnmente (Fernandez, 2017).

2.14 Vibraciones mecánicas

En esta definición de vibración mecánica se habla de sistema o cuerpo ya que si un cuerpo no tiene la característica de vibrar se puede unir a otro y formar un sistema vibratorio; por ejemplo, en un sistema resorte-masa, la masa posee características energéticas cinéticas y el resorte características restauradoras. Es necesario poner claro que para que un sistema vibre es necesario que posea por lo menos un elemento inercial (energía cinética) y un restaurador (energía potencial). Aunque en otros casos los elementos restauradores se generalizan como elementos elásticos, existen sistemas en las que no hay un elemento elástico y aun así pueden vibrar, por ejemplo el péndulo que se visualiza como elemento restaurador (Gutierrez & Serna, 2014)

2.15 Vibración por lubricación inadecuada.

Una inadecuada lubricación, incluyendo la falta de lubricación y el uso de lubricantes incorrectos, puede ocasionar consecuencias de vibración en un rodamiento de chumacera. En igualdad de casos, la lubricación inadecuada causa mayor fricción entre el eje rotante y rodamiento estacionario, y dicha fricción produce vibración en el rodamiento y en las demás piezas relacionadas. Este tipo de vibración se llama "dry whip", o sea látigo seco, y es muy parecido al pasar sobre el cristal seco un dedo mojado (Alvarez, 2016)

La frecuencia de la vibración debida al látigo seco, habitualmente es muy alta y produce un sonido chillón característico de los rodamientos que están trabajando en seco. No es muy característico que dicha frecuencia sea algún múltiplo integral de las rpm del eje, de tal manera que no es de esperar ningún significativo patrón bajo la luz estroboscópica. En este respecto, la vibración ocasionada por el látigo seco es similar a la vibración creada por un rodamiento antifricción que está en mal estado. Cada vez que se crea hay un látigo seco sea la causa de la vibración, se deberá revisar el

lubricante, la holgura del rodamiento y el sistema de lubricación (Alvarez, 2016).

2.16 Vibración por Aflojamiento Mecánico.

El aflojamiento mecánico y la acción de golpeteo (machacado) resultante, producen vibración a una frecuencia que a menudo es $2x$, y también múltiplos muy elevados, de las rpm. La vibración pueden ser resultado de holgura excesiva en los rodamientos, de pernos de montaje sueltos, pedestal de soporte o fisuras en la estructura, también la vibración se da por aflojamiento mecánico y es generada por alguna otra fuerza de excitación, como una falta de alineamiento o desbalance. Sin embargo, el aflojamiento mecánico agranda la situación, convirtiendo cantidades relativamente pequeñas de desbalance o falta de alineamiento en amplitudes de vibración bastantes altas. Corresponde por ende decir que el aflojamiento mecánico permite que se den grandes vibraciones de las que ocurrirían de por sí, ocasionadas por otros problemas (Gutierrez & Serna, 2014).

2.17 Vibración por Problemas de Engranaje

Las vibraciones inherentes al funcionamiento de cualquier transmisión por engranajes son ocasionadas por el error de transmisión (ET), el cual se refiere a la diferencia de la posición angular del eje de salida entre una transmisión perfecta y una transmisión real. Las vibraciones producidas por el error de transmisión tienen tiempo determinado por la frecuencia con que los dientes ingresan sucesivamente en contacto, la que es llamada frecuencia de engrane. Se lo puede demostrar con las transmisiones de ejes fijos a diferencia de transmisión planetaria (Parra, 2016).

2.18 Instrumentación en mediciones por vibración

En vibraciones, el sensor es la parte del sistema que responde a una excitación externa, mientras que el transductor es el que se encarga de

transformar la respuesta del sistema en una señal eléctrica. Comúnmente a el conjunto sensor/transductor se le dice simplemente sensor. La descripción formal del sensor, transductor e instrumentación está muy fuera del alcance de este proyecto, una explicación de ese tipo puede ser encontrada por ejemplo en Thomson (1982); (1980 Ogata (1987); Proakis y Manolakis (1998) entre otros. El punto es entonces mostrar informalmente la característica esencial para este proyecto del sensor: sensibilidad, y describir los tipos de transductores que son usados generalmente cuando se quiere proponer señales para su comparación con las normas (Medicion, 2014).

2.19 Diferentes equipos de medición de análisis vibratorios

2.19.1 Equipo GSR18

Durante la operación habitual, este equipo realiza continuamente las fases de: filtrado análogo y conversión digital del voltaje de salida del sensor. Una vez digitalizada la señal y amplificación, esta a su vez es guardada en un segmento de memoria dedicado a pre-eventos, que luego mediante un algoritmo de detección es clasificada, guardada o borrada. En la fase de amplificación, las señales análogas de cada una de los elementos –3 en total– son amplificadas por medio de circuitos electrónicos análogos (amplificadores operacionales) independientes (Medicion, 2014).



*Figura 2.6: Equipo de medición de vibraciones de 0 a 5 V.
Fuente: (Medicion, 2014)*

2.19.2 Medidor de vibraciones portable FLUKE 805

Los medidores de nivel global de vibración no son herramientas útiles para el desarrollo de programas de análisis de vibraciones debido a su falta de capacidad. Solo son posiblemente útiles en el seguimiento de elementos no críticos, ya que el nivel de vibración en ciertas frecuencias no puede ser medido por estos equipos. En este caso, los problemas mayoritariamente graves no pueden implementar un efecto sobre el nivel global, es decir, engranajes, desgaste en cojinetes, fisuras, entre otras fallas, no podrían ser detectadas con este método (Gutierrez & Serna, 2014).



*Figura 2.7: Equipo de medición de vibraciones Minimate – Instante.
Fuente: (Gutierrez & Serna, 2014)*

2.19.3 Equipo de medición de vibraciones Minimate – Instante

Sistema de adquisición con un filtro de 6 polos Butterworth pasabajo de 100 Hz. La señal análoga filtrada es luego digitalizada por un microchip conversor análogo-digital a 200 Hz. Los algoritmos de detección incluidos en este sistema de adquisición son de relación STA/LTA la cual graba un evento cuando la relación entre el promediado absoluto de la señal en una ventana de tiempo mínima y el promedio en una ventana extensa supera un valor preestablecido, si la señal supera un valor dado en un canal determinado, o en una mezcla de ellos, entonces se graba un archivo. Entre otras cuestiones particulares de este sistema de adquisición es la sincronización del reloj dentro por medio de GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Con capacidad de almacenamiento interno de datos de aproximadamente 144 minutos a 200 Hz (Medicion, 2014).



*Figura 2.8/: Equipo de medición de vibraciones Minimate – Instantel
Fuente: (Medicion, 2014)*

2.19.4 Vibrómetro

El vibrómetro sirve básicamente para la prevención en el mantenimiento de maquinarias, instalaciones y mide los parámetros de velocidad y aceleración. Este comprobador pequeño es ideal para el personal técnico de mantenimiento y los de reparación. Este aparato se puede usar en cualquier lugar gracias a su trabajo por batería (medidores, 2017).

- Mide velocidad y aceleración
- Mantiene el valor máximo después de cada medición
- Gran pantalla • Amplio rango de frecuencia
- Muestra el estado bajo de la batería
- Función de desconexión automática.



*Figura 2.9: Vibrómetro para velocidad (RMS) y aceleración (PEAK)
Fuente: (medidores, 2017)*

2.19.5 Equipo GSR18

Este sistema fue diseñado para varias aplicaciones, es prácticamente igual en su concepción al GSR18, y la mayoría de información es dada en la sección anterior. Los cambios de este sistema son parecidos respecto al GSR18 con una resolución digital de 16 bits, con un rango de velocidades entre 0.0031 y 100 mm/s en 65536 divisiones, inferior capacidad de almacenamiento (guarda aproximadamente 72 minutos registrando a 200 Hz), los algoritmos de detección de este sistema están dadas por nivel de señal, fecha, hora programada y continuo, sin GPS, contiene tres niveles de ganancia x1, x10 y x100, cuatro frecuencias de muestreo: 125, 250, 500 y 1000 Hz. (Medicion, 2014).



*Figura 2.10: Equipo de medición vibratoria estable modelo GSR18.
Fuente: (Medicion, 2014)*

2.19.6 Vibrometro de precisión pce-vt 250

Es ideal para el personal de mantenimiento y sirve para la rápida detección de vibraciones en máquinas, piezas e instalaciones. Para indicar el estado se usan los colores indicativos verde, rojo y amarillo. El vibrometro diagnostica problemas de vibración mediante el análisis FFT y por tanto es capaz para la detección precoz de fluctuaciones en instalaciones o máquinas (medidores, 2017).



*Figura 2.11: Vibrometro para determinar el estado completo de máquinas y diagnóstico mediante análisis FFT modelo PCE-VT 250
Fuente: (medidores, 2017)*

2.20 Diagnóstico de rodamientos en maquinas

La búsqueda y determinación de averías se realizan directamente con el vibrómetro. Con este equipo puede realizar todos los análisis básicos de vibraciones en el ámbito del mantenimiento preventivo. Con el auricular incluido puede transmitir las vibraciones de forma acústica al oído humano. Este método no es para nada antiguo. En la medición de rodillos o cojinetes en funcionamiento lento detectará las averías ágilmente, contiene adicionalmente una memoria interna de 4 MB para guardar los datos en el

mismo equipo. Podrá enviar los datos a través de un cable USB al software (PCE, 2016).



*Figura 2.12: El vibrómetro PCE-VT 250D le permite diagnosticar el estado de sus máquinas y rodamientos
Fuente: (PCE, 2016)*

2.21 Maquinas rotativas

Las maquinas rotativas son un grupo de mecanismos diseñados para cumplir específicamente una función, y se componen de una parte generadora de movimiento y otra que lleva la energía a todos los mecanismos que la conforman como los son eje y motor respectivamente. Siendo el primero el componente que determina la velocidad de giro de la máquina y el encargado de transmitir las vibraciones a elementos rodamientos o rodantes, acoples, soportes o ruedas dentadas (García, 2017).

El análisis de vibraciones puede ampliarse a un sistema de procesos continuos como en un tren de maquinaria que por concepto consiste en una fuente de acoplamientos, potencia y una serie de elementos móviles que genera una serie de fuerzas dinámicas durante el trabajo de la máquina, cada una de esas fuerzas dará lugar a frecuencias de vibración que ubicara a las diferentes piezas de la máquina (IMEM, 2018).

2.22 Falla

Se define como la forma en que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función, pueden ser dirigidas por desviaciones de factores o humanos procesos. Como efecto de falla es como se va perturbando el sistema ante el daño del equipo o activo manifestándose como cambio de temperatura, cambio de nivel, alarmas o dispositivos, activación de señales, , aumento de vibraciones (Aguilar et al, 2015).

Las vibraciones pueden ser de origen mecánico o eléctrico. Los de origen eléctrico son detectables con la técnica de análisis de vibración, corriente, y tensión en seis partes de fallos: problemas en la calidad de alimentación, defectos en el aislamiento, fallos en el circuito de potencia, fallos en el estator, defectos en el entrehierro y fallos de rotor, (Preditec, 2018).

2.23 Causa de fallos

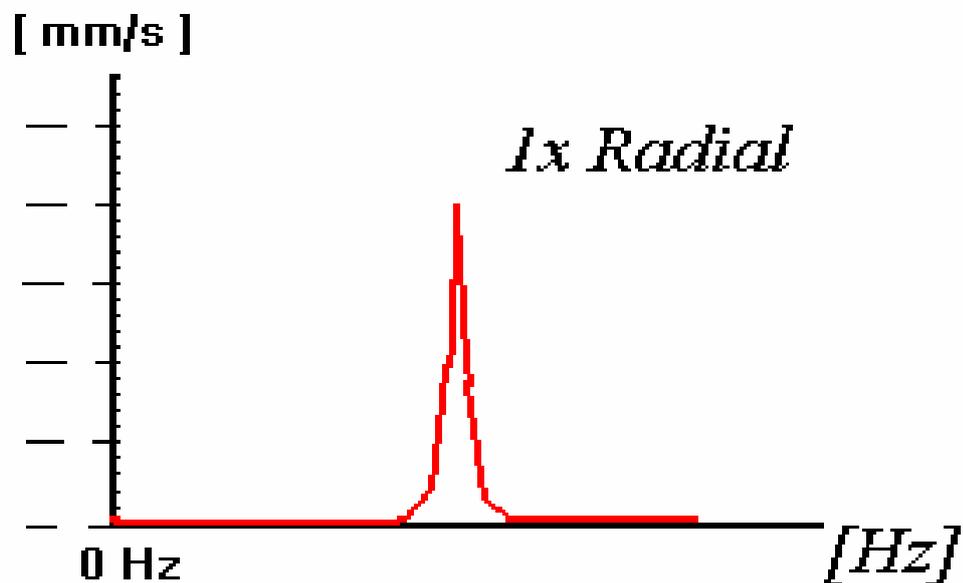
2.23.1 Desequilibrio

El desequilibrio existe en toda máquina rotativa. Una pieza se encuentra en desequilibrio al no coincidir su centro geométrico con su centro de masa con su, o en su defecto que no coincida el eje longitudinal principal de inercia del rotor y el eje de rotación, siendo el eje el que une los centros de gravedad de cada una de las infinitas secciones transversales, que al no

coincidir con el eje de rotación podría ocasionar a varios tipos de desbalances de una vibración axial (Solar, 2014).

Esta es una de las causas más probable de que exista vibración en las máquinas, en la mayoría de los elementos es fácil encontrar un pico en el gráfico de amplitud frente a frecuencia, que muestre un pequeño desequilibrio (Steven & Kingsiño, 2015).

Espectro característico:



*Figura 2.13: Espectro de velocidad de un problema de desequilibrio
Fuente: (Steven & Kingsiño, 2015)*

Para conocer la cantidad de desequilibrio hay que hallar la amplitud de la vibración en la frecuencia igual a 1 x rpm. La amplitud es igual a la cantidad de desequilibrio. Normalmente, la amplitud de vibración es mayor en sentido radial (horizontal y vertical) en las máquinas con ejes horizontales, aunque la manera de forma de la gráfica sea igual (Steven & Kingsiño, 2015).

Como se dijo antes, para analizar datos de vibraciones son muy importantes el conocimiento y la experiencia en la máquina como los datos tomados en ella. Cuando aparece un pico en frecuencia igual a 1 x rpm. El

desequilibrio no es la única causa probable, la desalineación también puede producir picos a esta frecuencia. Al verse vibraciones en esta frecuencia como otras causas posibles están las poleas excéntricas o engranajes, falta de alineamiento o eje torcido si hay alta vibración axial, bandas en mal estado (si coincide con sus rpm) (Steven & Kingsiño, 2015).

2.23.2 Desalineamiento

El desalineamiento es producido entre dos ejes conectados por acoplamientos, siendo el defecto más común en la industria. Existiendo dos desalineaciones: Paralela que se presenta entre dos ejes entre sí que no están en el mismo plano y genera una vibración radial y la desalineación angular que se produce cuando los ejes no están iguales o en paralelo entre sí, es decir, que exista un pequeño ángulo entre los ejes, generando del 12% en la disponibilidad de la máquina y simplifica a la mitad las fallas por desalineación. Otra ventaja que presenta es un ahorro de energía del 11%, debido a que se usa menos energía moviendo el acoplamiento en grupo de bombas a motor sencillos (White, 2015).

2.23.3 Desalineamiento vertical y horizontal

Debido a que los motores eléctricos convierten la energía eléctrica en energía mecánica. Los motores eléctricos se suelen acoplar a otras máquinas que tienen un habitual funcionamiento, una banda transportadora ejes transversales, etcétera. La principal fuente de vibración debida a la falta de alineamiento sucede cuando el eje del motor eléctrico no está bien alineada con el eje de la máquina acoplada, aunque también suele pasar entre rodamientos o en un par de ruedas dentadas. Este acoplamiento se

realiza a través de un elemento flexible o rígido. La falta de alineación puede ser vertical u horizontal (Mejia , 2014).

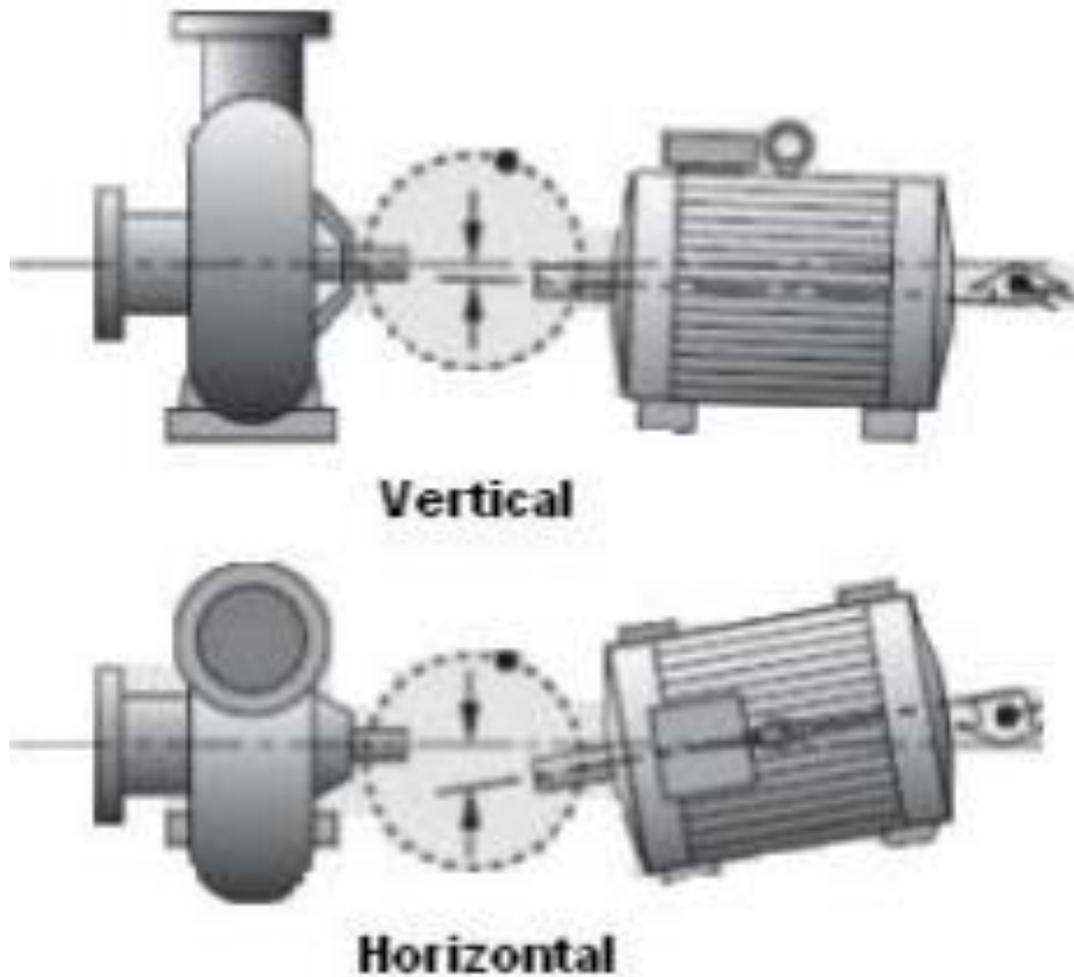


Figura 2.14: Desalineamiento vertical y horizontal
Fuente: (Mejia , 2014)

2.24 Sistemas de alineación

Los sistemas de alineación son los siguientes:

2.24.1 Alineación de precisión

Una alineación ayuda en la extensión de la vida útil de los rodamientos, reporta un ahorro del 7% en costos de mantenimiento general, un incremento en beneficio de la industria (García, 2017).

También se dice que es el proceso en el que los ejes geométricos de los ejes de transmisión coinciden colonialmente o se mantienen dentro de las tolerancias permisibles de desalineación, por medio de procedimientos mecánicos (Lagla & Lanche, 2016).

2.24.2 Sistema de alineación con reloj y carátula.

Es el procedimiento básico de alineación, este método se basa en que el reloj comparador se sujeta firmemente en la manzana de un acople y luego se lo desliza sobre el acople adverso una vuelta completa de 360°, cada 90° se hacen registros. La apreciación que se puede lograr es de 1/100 mm. Alineamiento de ejes en equipo (Lagla & Lanche, 2016)

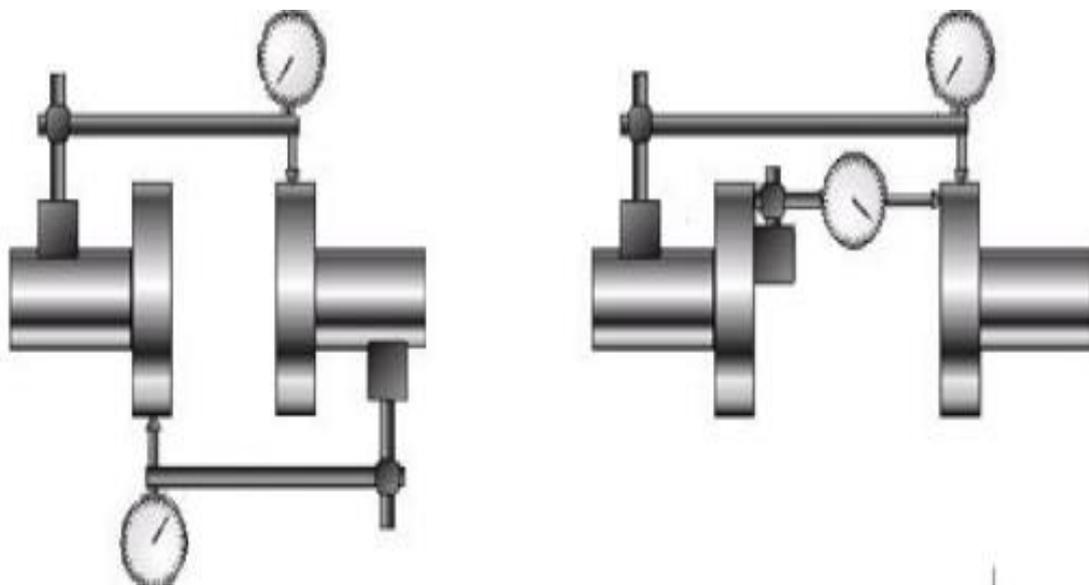


Figura 2.15: Alineamiento de ejes en equipo rotativo
Fuente: (Lagla & Lanche, 2016)

2.24.3 Sistema de alineamiento láser

Es una herramienta mucho más ágil para la alineación de ejes, su funcionamiento está basada en la radiación láser con solo una longitud de

onda, el efecto de dispersión es mínima y por tanto es alta la precisión (Lagla & Lanche, 2016)



*Figura 2.16: Manual de alineamiento de ejes en equipo rotativo
Fuente: (Lagla & Lanche, 2016)*

2.25 Cojinetes

Un cojinete está compuesto por dos piezas con capacidad de movimiento relativo entre ellas, habiendo dos tipos: el cojinete de rodamiento y de fricción, siendo de apoyo y condiciona de importante manera el esfuerzo que necesita para mantener girando el elemento (Rivas, 2016).

Los cojinetes dan ayuda a ejes giratorios como el árbol de levas, balancín, cigüeñal, siendo elevadas las exigencias de un cojinete de motor de combustión como adaptabilidad, resistencia a la corrosión, alta capacidad de carga, resistencia a la fatiga, mínimo rozamiento, todo esto para que funcione de forma segura y que cumpla normas de calidad (MAHLE, 2015).

2.26 Cojinetes macizos

La mayoría de los cojinetes son casquillos, están compuestos en su totalidad por metal antifricción siendo este a menudo de aleaciones especiales en bronce. En la mayoría de los casos los cojinetes se auto protegen con una capa de estaño aplicada por galvanizado en contra la corrosión (MAHLE, 2015).

2.27 Cojinetes de dos compuestos

Se utilizan aleaciones de aluminio como metal antifricción y poseen una estructura de acero, una capa mediana y una capa de material antifricción. Estos cojinetes de dos componentes son usados en motores de combustión y eléctricos (MAHLE, 2015).

2.28 Cojinetes de tres componentes

Se componen por la estructura de acero, una capa barrera, la capa de deslizamiento y una capa de rodamiento. El cojinete tipo Sputter es también un cojinete de tres componentes por su proceso de bombardeo iónico tienen dureza y resistencia a desgaste mayores. Están indicados para su empleo en motores de alta carga con enfriamiento de refrigeración por aire de sobrealimentación (MAHLE, 2015).

2.29 Rodamientos

Los rodamientos están formados por lo general por dos anillos, una jaula, y los elementos rodantes, pueden ser radiales o de apoyo, teniendo cada uno diferentes ventajas, de fácil intercambio, y tienen capacidad de

resistir cargas tanto radiales como axiales en cualquier dirección de forma repetitiva, siendo adecuado en aplicaciones en las que se requieran muy altas velocidades y bajas pérdidas de potencia (NSK, 2018).

Los rodamientos no suelen fallar a corto plazo de no ser que otra fuerza actúe sobre ellos, siendo estas fuerzas las que provocan vibración. Entre las causas más comunes están, carga excesiva, falta de alineamiento, ajuste incorrecto, lubricación inadecuada, montaje defectuoso, falsa brinelación, corriente eléctrica. La vibración generada por el rodamiento habitualmente no es transmitida a otros puntos de la máquina (Escobar, 2016).

2.30 Defectos en pista

En la pista exterior se caracterizan por tener picos armónicos de la frecuencia de deterioro de la pista exterior entre 8 y 10 armónicos de la BPFO. En la pista interior los espectros demuestran algunos picos armónicos de la frecuencia de deterioro en la pista interior entre 8 y 10 armónicos de la BPF1 modulado por bandas laterales a $1 \cdot \text{RPM}$ (Fernandez, 2017).

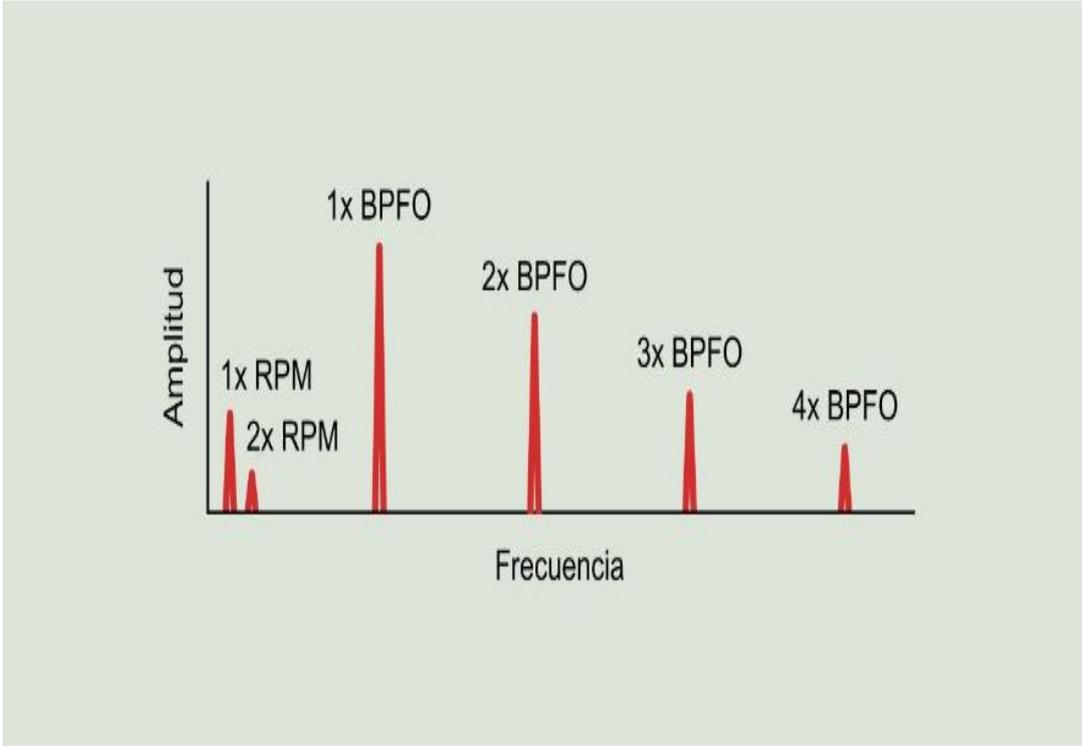


Figura 2.17: Fallo en la pista exterior (BPFO)
Fuente: (Fernandez, 2017).

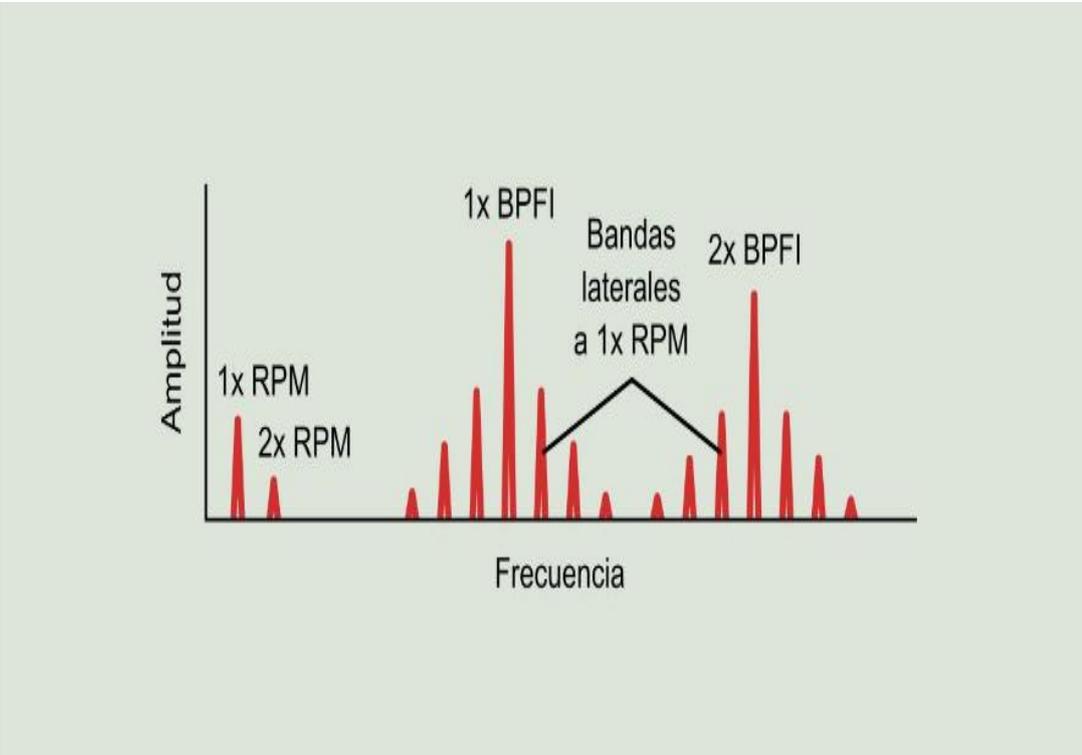


Figura 2.18: Fallo en la pista interior (BPFI)
Fuente: (Fernandez, 2017).

2.31 Defectos en bola o rodillos

Se presenta en los espectros las frecuencias de deterioro de los elementos rodantes (BSF). El armónico con mayor amplitud es el que no suele indicar el número de bolas o rodillos dañados, pudiendo ser acompañados por avería en la pista (Fernandez, 2017).

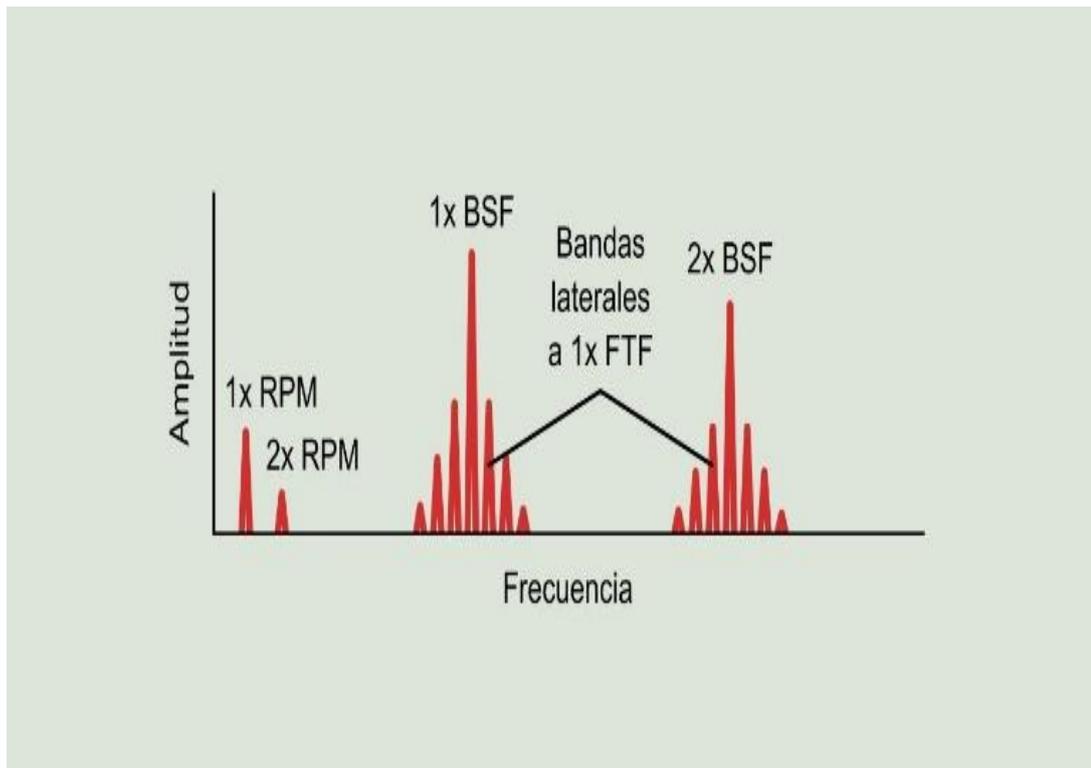


Figura 2.19: Fallo en elemento rodante (BSF)
Fuente: (Fernandez, 2017).

2.32 Deterioro en la jaula

Habitualmente el defecto en la jaula va a la par por defectos en pistas y la frecuencia de deterioro de jaula (FTF) generalmente las modulas a unas de estas frecuencias de deterioro de pista dando posición a sumas o diferencias de frecuencias (Fernandez, 2017).

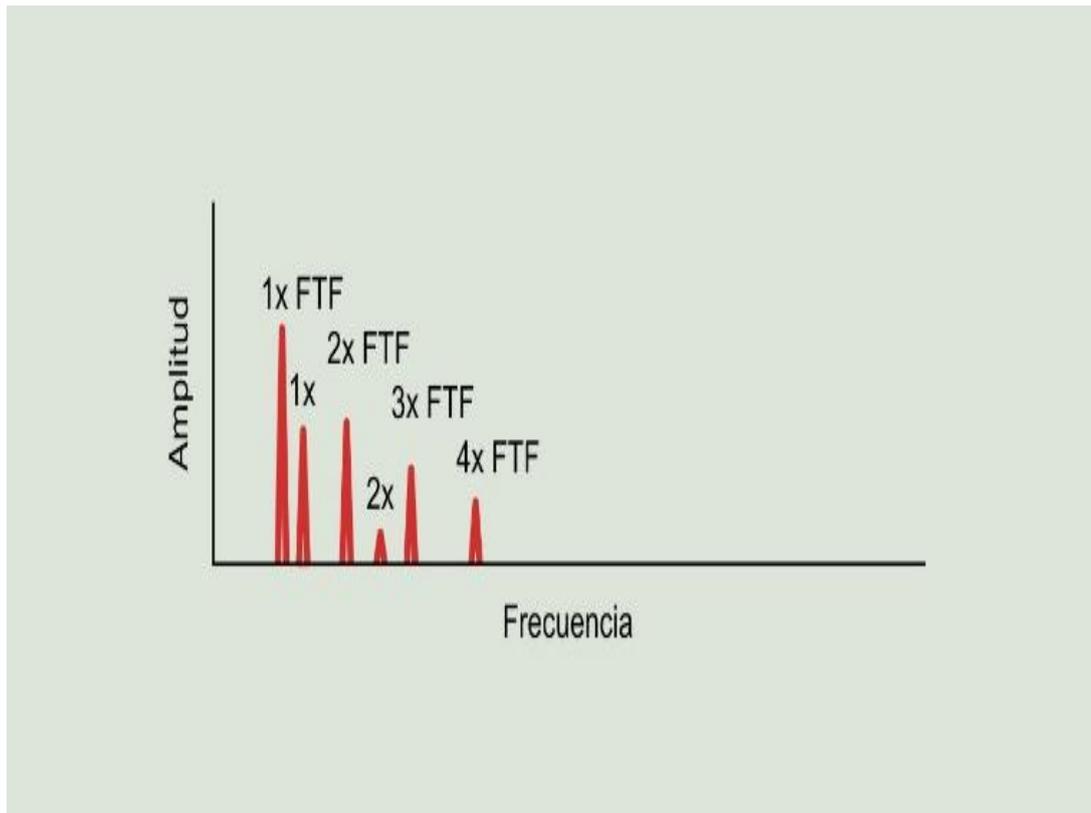


Figura 2.20: Fallo en jaula (FTF)
Fuente: (Fernandez, 2017).

2.33 Correas

La transmisión por correas está compuesto por un juego de poleas y un número definido de correas que se basa en el proceso de diseño del sistema. Los sistemas de transmisión por correas permiten montajes con múltiples poleas y montajes cruzados y de esta misma manera transmite el movimiento generado en una polea conductora a varios componentes de la máquina (Ruiz, 2018).

De las maquinas rotativas son los daños más comunes debido a que tienen su inicio en distintos sistemas de transmisión de movimientos, siendo la de correa que consta de una banda colocada con tensión entre dos poleas; una motriz y otra conducida, y sus primordiales problemas son por desalineación , desgaste, resonancia ,destensadas y excentricidad (Trujillo, 2014).

Para determinar el tipo de correa a utilizar en la transmisión es necesario saber la potencia nominal del motor dada en Kilovatios (KW), la velocidad de rotación de la polea menor, y la potencia efectiva de la transmisión (P_e). Entre otras cosas tenemos velocidad requerida por la máquina, horas de funcionamiento diarias, diámetro exterior, distancia entre ejes, (Lopera, 2014).

2.34 Engranajes

Un engranaje sirve para transmitir movimiento circular mediante contacto de ruedas dentadas, es el mecanismo más utilizado para transmitir potencia mecánica entre las diferentes partes de una máquina, formados por un piñón y una corona. El trabajo más importante es transmitir el movimiento desde el eje de una fuente de energía, puede ser motor de combustión interna o motor eléctrico, hasta otro eje situado a otra distancia para realizar un trabajo (Ligero, 2008).

Las transmisiones por engranajes que están formadas por acoplamiento de dos ruedas dentadas, una motriz (piñón) y otra conducida (rueda o corona), y sus principales problemas son por holgura y problemas de cazado, desgaste, excentricidad, desalineación, sobrecarga (Trujillo, 2014).

2.35 Etapas para medir vibraciones

La amplitud de la vibración indica la importancia, o gravedad, dando una idea de la condición de la máquina. La energía de impulsos da información importante a la hora de analizar vibraciones. Las fases para medir y analizar una vibración son (Moreno - García et al, 2014).

Etapa transductor

Etapa de acondicionamiento de la señal

Etapa de análisis o medición

Etapa de registro

2.36 Medida de vibraciones

2.36.1 Vibraciones severas

La vibración severa es la medida de precipitación de vibración como medio para localizar el inestabilidad de las maquinas rotativas, siendo los recomendables acopiados de la norma ISO 10816-1, que se representan los niveles de vibración según el tipo de maquina: Grupo K: motores eléctricos hasta 15kW; Grupo M: motores eléctricos de 15 a 75kW; Grupo T: turbomáquinas, ejecutando la medida en el nivel de velocidad y en cualidad RMS (Solar, 2014).

2.36.2 Vibraciones en motores alternativos

La vibración de los motores alternativos es más grande que la de los rotativos y se caracterizan por instalar de elementos en tendencias y se clasifican según el tipo de motor alternativo como maquinas nuevas, máquinas de funcionamiento continuo, no aconsejable su uso para funcionamiento continuo, alta vibración, las fallas en la maquina no son excluibles (Solar, 2014).

2.36.3 Aspectos en la medición de vibración

Se busca poner el transductor de prueba lo más cerca posibles del cojinete, con metal solido entre el cojinete y el sensor, evitando el empleo en las gorras de cojinetes, ya que son de metal estrecho y conducen muy poco la energía de vibración, impidiendo también cárteres de ventiladores y extremidades de motores y elegir los lugares donde no haya juntas entre metal y metal, entre el cojinete y el sensor (White, 2015).

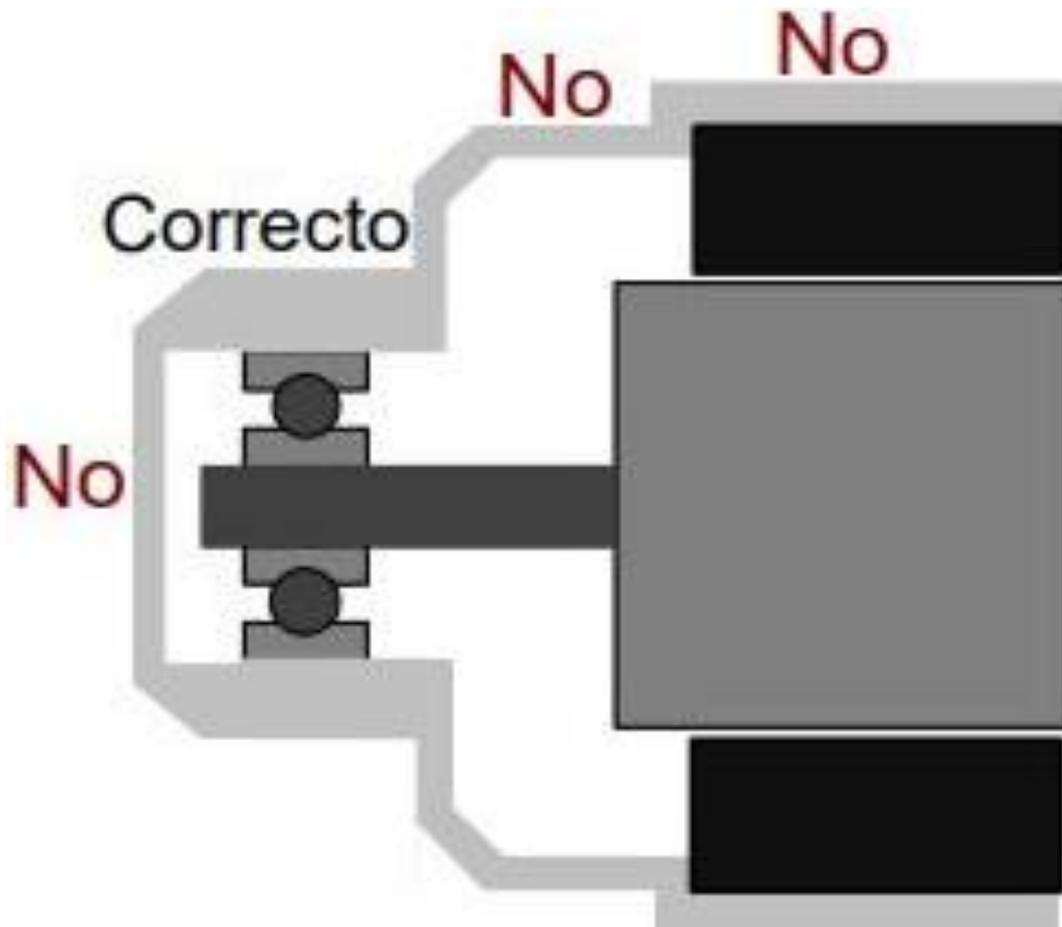


Figura 2.21: Lugar correcto de ubicación de transductor
Fuente: (White, 2015)

2.36.4 Medición de vibraciones

La medición de vibraciones se las realiza por medio de enseres analizadores de vibración, la cual se colocan solamente en puntos susceptibles a fallas, siendo los ejes los que se dañan con mayor frecuencia, para una mayor calidad de las medidas es que hagan un buen contacto con la estructura de la máquina y se pueda tomar lectura en tres trayectorias: vertical, horizontal y axial (Olarde, 2010).

2.37 Frecuencia de las vibraciones

2.37.1 Frecuencias generadas

Son aquellas que se elaboran en la máquina durante su trabajo general, se las asemeja como frecuencias obligadas o frecuencias de diagnóstico siendo las más específicas los desbalances, frecuencia de engranaje, paso de las paletas de una turbina y paso de unos elementos rotatorios en un cojinete de rodamiento (Marín, 2014).

2.37.2 Frecuencias excitadas

Son las frecuencias de resonancias de los elementos que se componen las aparatos, rodeando elementos no rotatorios y estructuras portantes, siendo el problema que más estimula a las frecuencias de resonancias más cercanas a la frecuencia de rotación de la maquina es el desbalance, que puede ser amplificado si se sincroniza con la frecuencia de trabajo del rotor que esta desbalanceado (Marín, 2014).

2.38 Resonancia

Se la conoce como la relación de la fuente emisora de vibraciones con la frecuencia del resonador y se precisa como la propensión de un sistema físico a oscilar con extensión mayor en varias frecuencias que depende de la dimensión de la fuerza que se le aplique habitualmente al excitador de vibraciones (Pérez & Bermejo, 2014).

2.39 Normativa vigente de mantenimientos por vibraciones

Las normativas internacionales sobre mantenimientos vibratorios son estándares aprobados y creados los cuales regulan las vibraciones mecánicas con la finalidad de calificar la rigidez vibratoria que está presente en un equipo. Minuciosos estudios que realizaron atreves de los años sobre el tema, han permitido poner niveles de alarma y riesgos cuándo se trata de una vibración que se convierte en amenaza para la maquinaria en sí y para

lo que lo rodea (ISO 10816-1, 1995). En la actualidad son varias las asociaciones que han determinado varias normas que ayudan a definir la certeza de una vibración, a continuación comenzaremos con algunas de las primordiales (Montero & Narvaez, 2015).

2.40 Seguridad en el mantenimiento predictivo

En materia de seguridad industrial el modelo de gestión Según Leticia Sesento García en su tesis Doctoral denominada “Modelo Sistémico basado en Competencias”, menciona que: “puede contemplarse al modelo, en términos generales, como representación de la verdad, explicación de un fenómeno, digno de igualarse, canon, paradigma, guía o secuencia de acción; una idea de la realidad; prototipo, arquetipo, uno entre una variedad de objetos iguales, elementos en conjunto esenciales o los ficticios teóricos de una línea social”. La gestión es un modelo de “una estructura de administración eficiente y eficaz que busca desarrollar el funcionamiento de una organización. Implica un proceso de planeación, ideación, implementación y control” (Jairala , 2015).



Figura 2.22: Esquema de la norma OHSAS.
Fuente: (Jairala , 2015).

2.41 Normativas De Seguridad

Acuerdo N°. 0132 Registro de Accidentes y Enfermedades de Origen Laboral:

- Código de la Salud (Decreto Supremo 188).
- Código del Trabajo de la República del Ecuador.
- Constitución Política de la República del Ecuador.
- Decisión 584: Sustitución de la Decisión 547; Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Guía para Elaboración de Reglamentos Internos de Seguridad y Salud de las Empresas. (Acuerdo N°. 00132).
- Ley de Defensa contra Incendios (Codificación de la Ley de Defensa contra Incendios (Registro Oficial 815, 19-IV-79) / Decreto Legislativo 29 (Registro Oficial 152, 21-III-80).
- Ley de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas (Codificación 2004-025).

- Ley Orgánica de la Salud (Ley 67).
- Normas INEN y Normas Técnicas INEN
- Normas Técnicas y Criterios para la Calificación del Nivel de Complejidad en las Unidades Médicas del IESS y Acreditación de las Unidades Médicas del IESS (Resolución N°. C.D. 020). (zambrano, 2016)
- Normativa para el Proceso de Investigación de Accidentes - Incidentes del Seguro de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales (Resolución N°. C.I. 118).
- Registro de Profesionales en Seguridad y Salud. Acuerdo Ministerial 0219 (Registro Oficial N°. 83) (zambrano, 2016).

CAPITULO III

MARCO REFERENCIAL

En el presente trabajo se realiza una investigación registrada sobre las distintas técnicas de mantenimiento predictivo, utilizadas en la actualidad dando como consecuencias el análisis de las vibraciones, de termografía, de ultrasonido y de aceites. (Sánchez, 2017)

Mediante estas técnicas se pretende efectuar una serie de mediciones no destructivos, para anticiparse a una falla, debido a que cada día el transcurso de producción exige más, este tipo de mantenimiento genera un valor agregado, debido a que se implementa con la producción en marcha, sin interrupción del proceso productivo de la maquinaria, prevé el daño mediante el seguimiento del funcionamiento de la máquina. (Sánchez, 2017)

Por lo habitual un sistema vibratorio contiene un medio para acumular energía potencial (resorte o elasticidad), un medio para almacenar energía cinética (masa o inercia) y un medio por el cual la energía se pierde progresivamente (amortiguador). La vibración de un sistema implica la evolución de su energía potencial en energía cinética y de ésta en energía potencial, de manera alterna. Si el sistema se amortigua, una parte de su energía se disipa en cada ciclo de vibración y se le debe substituir por una fuente externa para que se mantenga un estado de vibración estable. (Aldaz, 2015)

El traslado de un cuerpo que está sujeto a un movimiento armónico simple es una onda sinusoidal. También la velocidad y la aceleración del movimiento son ondas sinusoidales. Cuando el desplazamiento está en su máximo, la velocidad vale cero, porque esa es la posición en la que la trayectoria del movimiento se invierte. Cuando el desplazamiento vale cero (en el punto de equilibrio), la velocidad estará en su máximo. Esto quiere decir que la fase de la onda de velocidad se trasladará hacia la izquierda 90 grados, comparada con la forma de onda del alejamiento. En otras palabras,

la velocidad está adelantada 90 grados con respecto al desplazamiento. La aceleración es la proporción del cambio de velocidad. Cuando la velocidad está en su máximo, la aceleración vale cero ya que la velocidad no cambia en ese momento. Cuando la velocidad vale cero, la aceleración está en su máximo en ese instante dado que es cuando más rápido cambia la velocidad. La curva sinusoidal de la aceleración en función del tiempo se puede ver de esta manera como desplazada en fase hacia la izquierda con relación a la curva de velocidad y por eso la aceleración tiene un avance de 90 grados respecto a la velocidad y de 180 grados afinidad al desplazamiento. (Aldaz, 2015)

Se realiza la identificación de las principales técnicas de mantenimiento predictivo, así como sus características principales, luego de realizar esta investigación documental se evidencia la importancia de la ejecución en la organización, debido a que estas técnicas presuponen un alto costo de ejecución en la organización, por causa de los equipos especializados para la implementación, por eso toma tanta importancia el diseño de implementación en la organización. (Sánchez, 2017)

Se asume que la masa se pone en movimiento debido a una perturbación inicial sin ninguna fuerza aplicada exteriormente que la fuerza del resorte, la fuerza del resorte o la fuerza de la dificultad. Si se deja que un sistema vibre por sí mismo después de una perturbación inicial, la vibración resultante se conoce como vibración libre. Si un sistema se somete a una fuerza externa (a menudo, una fuerza repetitiva), la vibración resultante se conoce como vibración forzada, un sistema mecánico o estructural experimenta vibración forzada siempre que se suministra energía externa al sistema durante la vibración. La energía exterior se puede suministrar ya sea mediante una fuerza aplicada o por una excitación de desplazamiento impuesta. (Aldaz, 2015)

En este trabajo se desarrolla una metodología de pronóstico de fallas con base en modelos vibratoriales aplicados a los rodamientos radiales. Los ejes principales de estudio consisten, en el estudio de la función que

describe la degradación del material de las pistas interna y externas del rodamiento, se establece la pertinencia de la ecuación con la inclusión de ruido gaussiano en su solución para describir la aleatoriedad del proceso, seguido se estudian diferentes modelos de rodamiento con diferentes niveles de complicación, unos basados en la dinámica newtoniana y otros con base en la dinámica de fallas. (Lopez J. , 2017)

Subsiguientemente se plantea un modelo basado en la dinámica de cinco grados de libertad que permite modelar rodamientos de una hilera y rodamientos de doble hilera, con posibilidad de simular, además de las fallas típicas (pista externa, pista interna, elementos rodantes), efectos externos del sistema mecánico tales como momentos giroscópicos, desbalanceos, precargas y cargas externas en general, a esto adicionalmente se estudia la obtención de los parámetros del sistema vibratorio masaresorte-amortiguador mediante el análisis modal estratégico, en este sentido se extraen las frecuencias naturales y los factores de amortiguamiento aplicando el decremento aleatorio y el análisis. (Lopez J. , 2017)

Se estudia la formulación de pronóstico de fallas como un espacio de estados donde los estados corresponden a la degradación del rodamiento en función de la profundidad de la falla, y las observaciones son las características en frecuencia y el tiempo calculadas de la señal de vibración del experimento real. Se soluciona dicho sistema mediante métodos probabilísticos, filtros de partículas y procesos gaussianos, esto es un aporte importante de este trabajo es la integración del modelo vibratorio en un esquema de pronóstico de falla, enfocado en la inferencia de la hondura de falla del rodamiento, y se aplica en la base de datos de fallas de rodamientos proveniente del repositorio de pronósticos. (Lopez J. , 2017)

En esta sistemática de pronóstico se calcula un residuo entre la señal del modelo y la señal de vibración real para posteriormente hacer la inferencia de la hondura de falla, aunque la concepción de este trabajo difiere parte del diseño y montaje de los bancos de prueba para la recolección de las señales

de vibración, se utilizó la base de datos, en las pruebas de validación de la metodología. Finalmente se comparan estas metodologías hacia una orientación de pronóstico basado en datos, en esta dirección se propone la solución del problema de pronóstico mediante un modelo de mezcla de gaussianas ajustando el modelo a una distribución de probabilidad y realizando la inferencia de la vida útil de los equipos instalados. (Lopez J. , 2017)

La fuerza aplicada o la excitación de desplazamiento pueden ser armónica, no armónica pero periódica, no periódica, o aleatoria. Si se pierde o disipa energía por fricción u otra resistencia durante la oscilación, la vibración se conoce como vibración amortiguada. En muchos sistemas físicos, la cantidad de amortiguamiento es tan pequeña que puede ser ignorada en la mayoría de las aplicaciones de ingeniería. Sin embargo, la consideración del amortiguamiento se vuelve extremadamente importante al analizar sistemas vibratorios próximos a la resonancia. Si el valor o magnitud de la excitación (fuerza o movimiento) que actúa en un sistema vibratorio se conoce en cualquier tiempo dado, la excitación se llama determinística. La vibración resultante se conoce como vibración determinística. (Aldaz, 2015)

Mediante los resultados obtenidos de la investigación documental se realiza una metodología de ejecución en las organizaciones, en la cual se establecen los parámetros que las organizaciones deben tener en cuenta para poder realizar una ejecución adecuada, direccionada a la obtención de resultados esperados. Se elabora una serie de pasos a seguir como curso de acción para que el mantenimiento predictivo se realice del mejor modo posible, cumpliendo con los requisitos que estas exigen. (Sánchez, 2017)

En unos casos la excitación es no determinística o fortuita; el valor de la excitación en un instante dado no se puede adivinar. En estos temas, un resumen de registros de la excitación puede presentar cierta exactitud estadística. Es posible estimar cocientes como los valores medios o medios al cuadrado de la excitación. Los sistemas que requieren dos coordenadas independientes para describir su movimiento se llaman sistemas de dos

grados de libertad, pensaremos sólo sistemas de dos grados de libertad, para proporcionar una introducción simple al comportamiento de sistemas con un número arbitrariamente grande de grados de libertad, un sistema de n grados de libertad requiere n coordenadas independientes para referir su distribución. (Aldaz, 2015)

Por lo común, estas coordenadas son cantidades geométricas independientes medidas con respecto a la posición de equilibrio del cuerpo vibratorio. Sin embargo, es posible seleccionar algún otro conjunto de n coordenadas para describir la configuración del sistema. El segundo conjunto puede ser, por ejemplo, diferente del primero en que las coordenadas pueden tener su origen alejado de la posición de equilibrio del cuerpo. Podría haber otros conjuntos de coordenadas para describir la configuración del sistema. Cada uno de estos conjuntos de n coordenadas se conoce como coordenadas generalizadas (Aldaz, 2015).

Un estudio analítico. En tales casos podemos utilizar métodos experimentales para medir la respuesta de vibración del sistema ante una situación conocida, ayuda a identificar el sistema en función de su masa, rigidez y amortiguamiento, así presenta los diversos aspectos de la medición y aplicaciones de la vibración. Primero se delinea el esquema básico de medición de vibración, también se describen los transductores, dispositivos que transforman variables físicas en señales eléctricas equivalentes, de igual modo los detectores de vibración y los instrumentos de medición de frecuencia que se utilizan para medir vibraciones. Se presentan los principios de trabajo de agitadores o excitadores mecánicos y electrodinámicos, que se utilizan para excitar una máquina o sistema a fin de estudiar sus características dinámicas. Se describen el análisis de señales, el cual determina la respuesta de un sistema sometido a una excitación conocida y los presenta de una forma cómoda junto con descripciones del analizador de espectros, el filtro pasa banda y analizadores de ancho de banda. (Aldaz, 2015)

Las crecientes demandas de una mayor productividad y diseño económico conducen a velocidades de operación más altas de la maquinaria y al uso eficiente de materiales mediante estructuras ligeras. Estas tendencias provocan la ocurrencia de condiciones resonantes más frecuentes durante la operación de la maquinaria y reducen la confiabilidad del sistema. De ahí que la medición periódica de las características de vibración de maquinaria y estructuras llega a ser esencial para garantizar márgenes de seguridad adecuados. Cualquier cambio de las frecuencias naturales u otras características de vibración indicaran o una falla, o la necesidad de mantenimiento, la medición de las frecuencias naturales de una estructura o máquina es útil al seleccionar las velocidades de operación de maquinaria cercana para evitar condiciones de resonancia. (Aldaz, 2015)

Las características de vibración teóricamente calculadas de una máquina o estructura pueden ser diferentes de los valores reales debido a las suposiciones hechas en el análisis, la medición de frecuencias de vibración y las fuerzas desarrolladas es necesaria en el diseño y operación de sistemas de aislamiento de vibración activos, en muchas aplicaciones se tiene que determinar la supervivencia de una estructura o máquina en un entorno de vibración especificado. Si la estructura o máquina es capaz de realizar la tarea esperada incluso después de completar una prueba en el entorno de vibración especificado, se espera que sobreviva a las condiciones especificadas. Por motivos de sencillez, los sistemas continuos se suelen representar de forma aproximada como sistemas de varios grados de libertad. Si las frecuencias naturales medidas y modos de un sistema continuo son comparables a las frecuencias naturales medidas y modos del modelo de varios grados de libertad, entonces la aproximación demostrara ser válida. (Aldaz, 2015)

Por lo habitual, un transductor es un dispositivo que convierte los cambios de cantidades mecánicas (desplazamiento, velocidad, aceleración o fuerza) en cambios de cantidades eléctricas (voltaje o corriente). Como la señal de salida (voltaje o corriente) de un transductor es muy débil para ser registrada de forma directa, se utiliza un instrumento de conversión de

señales para amplificar la señal al valor requerido. La salida del instrumento de conversión de señales se puede presentar en una pantalla de visualización para su inspección visual, capturar en una unidad de registro, o guardar en una computadora para usarla posteriormente. Los datos se pueden analizar entonces para establecer las características de vibración deseadas de la máquina o estructura. Dependiendo de la cantidad medida, un instrumento de medición de vibración se conoce como vibrómetro, medidor de velocidad, acelerómetro, medidor de fase o medidor de frecuencia (Aldaz, 2015)

Se sugieren los criterios de rigor de vibración, las técnicas de mantenimiento de máquinas, de monitoreo de la condición de máquinas y los sistemas de instrumentación para el monitoreo y diagnóstico de la condición de máquinas, se realizó el Análisis Vibracional para la Estandarización de Tareas de Mantenimiento Predictivo en la Línea de Producción con la finalidad de alcanzar mayor disponibilidad en los equipos, optimizar los recursos de mantenimiento, verifica y monitorear la condición del estado de los dispositivos en tiempo real, para lo cual se ejecutó, el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento, recolección de datos técnicos, inspecciones de campo y análisis de vibraciones. (Tandalla, 2014)

El estudio preliminar contempla, conceptos teóricos, perfil del proceso de elaboración de paneles EPS, representación y evaluación de los equipos, que sirvió como base para el análisis vibracional y estandarización de tareas de mantenimiento. La determinación de los equipos críticos, permite definir las políticas de mantenimiento, luego con la información alzada se plantea fichas técnicas, diseño de la configuración del sistema a monitorear mediante el software Trendline 2 para posteriormente cargar al Detector II. (Tandalla, 2014)

La recopilación de datos vibratoriales ingresa a ser analizados y evaluados para establecer tareas en los equipos rotatorios, que finalmente son ajustadas en el proceso de mantenimiento. Las tareas estipuladas son

programadas, basándose en las frecuencias de mantenimiento y programas de producción. (Tandalla, 2014)

Estandarizar las tareas en función del análisis vibracional permitió, la reducción severa de fallas y fallas en los equipos, disminución de paros imprevistos, eliminación de acciones correctivas no programadas, control y evaluación de la condición real de los equipos, admitiendo así alcanzar mayor rentabilidad económica en la empresa. (Tandalla, 2014)

El causal de falla según la norma ISO 13381-1 [3] es la evaluación del tiempo de falla y el riesgo de existir o presentarse en el futuro uno o más modos de falla. También se puede definir según Engel, como la capacidad de proveer detección temprana del predecesor del defecto y/o una condición de falla incipiente de un componente, y poseer la tecnología y los medios para controlar y predecir la graduación de dicha condición de avería hasta la falla del elemento. Finalmente esta capacidad de proveer detección anticipada y predecir la cantidad de la falla, que se resume en la estimación de la vida útil remanente del sistema (RUL), esta estimación está basada en el resultado de modelos predictivos, los cuales integran investigación proveniente del monitoreo del uso, monitoreo de la salud estructural, las condiciones de operación de la máquina, las condiciones ambientales futuras, pasadas y actuales, las condiciones iniciales de diseño y el historial de mantenimiento de los elementos de máquina. (Lopez J. , 2017)

Hay dos enfoques principales para el pronóstico con base en la predicción de la condición: modelos basados en conceptos matemáticos y modelos basados en datos. Los modelos con base en datos intentan inferir modelos de falla con base en técnicas de monitoreo de la condición (CM). Los modelos con base en datos se desarrollan utilizando el historial de fallas de la máquina y se realizan predicciones en términos de la condición del dispositivo, según los modelos de datos requieren gran cantidad de información en el entrenamiento y una base de datos abundantes y bien etiquetados en algunos métodos de pronóstico son computacionalmente costosos y es imposible aplicarlos en período real. (Lopez J. , 2017)

Estos modelos de pronóstico con base en principios físicos implican componentes estocásticos y probabilísticos integrados a la conducta determinista del régimen dada las ecuaciones diferenciales son modificadas para incluir dichos parámetros y el sistema se hace no lineal, siendo ese el caso de modelos tienen en cuenta el incremento de la falla a partir del punto de vista de la microestructura del material y adicionalmente la solución o modelo de predicción de falla desarrollado es válido solamente para la máquina o sistema modelado, uno de los componentes más comunes en las máquinas rotativas son los rodamientos, los cuales deben ser cambiados periódicamente debido al desgaste y debilidad de sus partes, las rutinas de mantenimiento predictivo propenden por el uso óptimo de este tipo de componentes, pero en la industria usualmente se programan sus cambios o se espera hasta que exista una falla definitiva del componente. (Lopez J. , 2017)

Al proyectar el canje del rodamiento se puede estar dejando de utilizarlos por un tiempo significativo, de esta manera los rodamientos han sido objeto de estudio para lograr predecir su vida útil, debido entre otras cosas a su simpleza, comparada con una máquina completa dado que la normativa demanda una estimación probabilista de la vida útil del rodamiento, sin embargo, esta estimación en la mayoría de los casos no concuerda con los datos del fabricante o no arroja una consecuencia acorde con los materiales del rodamiento, debido a las suposiciones inherentes de la fórmula situada, por ende el pronóstico de rodamientos con base en modelos matemáticos debe ser abordado mediante el desarrollo de un modelo realista que permita introducir las fallas más comunes y los de carga futuras, pero en la literatura no existe un consenso en cuanto a cuál es el mejor modelo de rodamiento; hoy existen diferentes modelos con diferentes grados de complicación, que buscan atacar el modelado de fallas o problemas particulares, los cuales proponen modelos de rodamientos con base en la dinámica, donde la falla se modela como un pulso en la fuerza de excitación del sistema, logrando sistemas que se acercan al comportamiento vibratorio experimental pero que no representan la dinámica de crecimiento

de la falla y no representan de manera realista la forma de la misma. (Lopez J. , 2017)

Este simulacro de la falla es una forma conceptual que limita a los primeros modelos de rodamientos realizados en las décadas de los 80 y 90. Entre los modelos de rodamiento modernos realizan un modelo con holgura y ondulado de las pista, este sistema posee 5 grados de libertad, y no se realiza el modelado de fallas en pistas y componentes rodantes y proponen modelos en los cuales la excitación del sistema se encuentra en el amortiguamiento Hertziano de los elementos rodantes, y aunque en la creación de la ecuación diferencial presentan enfoques diferentes, los modelos son similares en comportamiento y posibilidades de simulación de fallas. (Lopez J. , 2017)

En estas labores se estudian fallas en las pistas externa e interna y se analiza el modelo durante el arranque de la máquina. En estos trabajos no se simula la holgura y ondulado de las pistas y se emplean dos grados de libertad en el modelo del rodamiento, realizan el modelado de fallas en rodamientos y obtienen sistemas dinámicos no lineales que se estudian utilizando teoría de caos, exponentes por medio de la linealización del sistema, de lo anterior funciona para soluciones particulares acotadas a un rango estrecho de las coordenadas generalizadas y aunque este tipo de modelo posee una gran complicación, es una solución exclusiva de ciertas condiciones iniciales. (Lopez J. , 2017)

Como parte conclusa podemos decirque el modelado del sistema como un espacio de estados es útil en la etapa final del pronóstico de falla. De esta manera el modelo exacto del rodamiento y el modelo de crecimiento de la falla componen las ecuaciones del sistema donde el estado corresponde a la profundidad de la falla y la observación corresponde a la señal de vibración. La señal efectiva actualiza el sistema y permite inferir o estimar la vida útil. Existen diferentes estudios en cuanto a la metodología de la solución del proceso de espacio de estados donde se observan métodos tan variados como redes neuronales, máquinas de soporte vectorial, modelos ocultos de

y filtros de partículas, entre otros, sin embargo no existe un trabajo concluyente sobre la metodología apropiada para el pronóstico de fallas en rodamientos con base en modelo, por eso se propone una metodología de pronóstico de falla en rodamientos de bolas radiales con base en el modelo matemático, que incorpore la ley de crecimiento de la falla por fatiga y el modelado matemático del rodamiento junto con la simulación de sus fallas en pistas y elementos rodantes, para realizar la deducción de vida útil de más extensión. (Lopez J. , 2017)

En el presente trabajo investigativo se analiza las vibraciones mecánicas producidas por desalineación paralela como angular existentes entre una configuración muy utilizada en la industria como lo es el acoplamiento entre motor – bomba, para lograr este objetivo se dispuso de un banco de simulación de dicha configuración pero por motivos de experimentación de la anomalía se optó por un modelo a escala como lo es un banco de pruebas motor - bomba de un 1 HP de potencia esto con el fin de emular en una escala menor una bomba de gran potencia que se utiliza en las industrias actualmente. (Aldaz, 2015)

Se requirió de dispositivos electrónicos para la toma de los datos análogos para esto se utilizó dos acelerómetros electrónicos y una tarjeta de adquisición de datos, luego se desarrolló un programa básico computacional desarrollado en el entorno de programación de NI , para finalmente obtener los signos de la aceleración de la vibración en unidades (G) en los tres ejes tanto radial, axial y tangencial, mostrando numéricamente y gráficamente la variación de onda en función del tiempo de la aceleración (G) y luego integrando esa señal para obtener la velocidad (mm/s - rms) en función de la frecuencia (espectros) de esta manera se procedió a la toma de los gráficos espectrales particulares para cada configuración como lo es alineado, desalineado paralelamente 3mm y desalineado angularmente 15 grados, todo esto a una frecuencia y velocidad de funcionamiento del motor de la bomba de 40Hz (2400 rpm) y 60Hz (3600 rpm) respectivamente. (Aldaz, 2015)

Luego se coteja numéricamente y gráficamente con esquemas gráficos de barras los picos de velocidad (mm/s - rms) más sobresalientes de los espectros en sus relativas frecuencias características como lo son 1X, 2X y 3X, los espectros tanto alineado y cuando se encuentra desalineado paralelamente o angularmente. (Aldaz, 2015)

Finalmente en la etapa de la propuesta se opta por crear e implementar un plan de mantenimiento predictivo mediante la implementación de una aplicación informática que monitoree en tiempo real las vibraciones mecánicas del equipo a evaluar, dicha propuesta tiene implícito tres principales sistemas para su correcto trabajo como los son sistema eléctrico de XVII potencia, sistema electrónico de mando y sistema de control – monitoreo, una vez realizado la ejecución de estos sistemas la aplicación es la encargada de manejarlo sistemáticamente de acuerdo a la magnitud de la vibración censada se genera un informe técnico de las anomalías contradictorias por el análisis de vibraciones . (Aldaz, 2015)

CAPITULO IV

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y DIAGNOSTICO ACTUAL DE LA EMPRESA QUÍMICA Y SUS EQUIPOS

4.1 Levantamiento de información

La planta en la cual se desarrollará el estudio se especializa en la producción de químicos derivados de la sal como Soda Cáustica, Hipoclorito de Sodio, Ácido Clorhídrico, Cloro gas, etc. Tienen presencia con plantas productivas en Colombia, Ecuador, Perú y Brasil, consolidándose como el productor más grande de la costa pacífica de Sudamérica.

Adicionalmente, la empresa., comercializan una gran variedad de productos químicos, para diversos sectores Industriales. Sus principales clientes están en sectores como Alimentos, Flexografía, Acuicultura y Pesca, Agrícola, Tratamiento de Aguas, etc.

4.1.1 Ubicación

Las instalaciones de la empresa se encuentran ubicado en el Km 16.5 Vía a Daule sector Parque Industrial Pascuales, Avenida Rosavin y Calle Cobre. Cantón Guayaquil, Provincia del Guayas.

Las coordenadas de referencia de los cuatros vértices de la empresa son:

COORDENADAS UTM (17M)		
1	615899	9771828
2	615891	9771836
3	615885	9771824
4	615895	9771818

*Figura 4.1: Coordenadas de ubicación.
Fuente: (Quimpac , 2018)*



Figura 4.2: Ubicación geográfica.

Fuente: Google Maps (<https://www.google.com/maps/@-2.0649893,-79.956642,442m/data=!3m1!1e3>)

4.1.2 Determinación para la toma de datos según norma ISO 10816

En cumplimiento con la estrategia de mantenimiento establecida por el departamento de mantenimiento de la empresa se ha efectuado la inspección de maquinaria rotativa crítica de la planta. La inspección tiene el propósito de adquirir los registros vibracionales de los puntos más significativos de las maquinarias para efectuar el seguimiento de condición de estos activos críticos del proceso productivo.

El propósito del desarrollo del mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración es de presente un informe al departamento de mantenimiento de la empresa, en el mismo se incluirá todas las observaciones pertinentes relacionadas con el funcionamiento de la maquinaria instalada en su planta.

De la misma manera proponer recomendaciones a corto, mediano y largo plazo que se puedan tomar en cuenta para corregir desviaciones y alargar la vida útil de su maquinaria y componentes de la misma.

Para el presente trabajo se toma en consideración lo establecido en la normativa 10816 Vibraciones Mecánicas- Evaluación de vibraciones de maquinarias por mediciones en partes no rotatorias; Parte 3, Maquinarias industriales con potencia nominal superior a 15 KW y velocidad nominal entre 120 rpm y 15000 rpm medidas en campo.

Se cataloga a todas las máquinas en el Grupo 2 de maquinarias de potencia mediana “Máquinas rotatorias medianas con potencia entre 15 y 300 kW. Máquinas eléctricas con altura de eje $160 \leq H \leq 315$ mm”.

4.1.3 Levantamiento de equipos crítico de planta.

Con la ayuda del jefe de mantenimiento se procede a la verificación física de los equipos del proceso productivo catalogados como críticos, a pesar de que hay equipos redundantes para la producción el impacto es muy alto en caso de averías ya que disminuye la confiabilidad y la continuidad para producir de manera normal y segura.

En la figura se detallan los equipos críticos y se separan por sectores según funcionalidad de la planta.

EQUIPOS CRÍTICOS DEL PROCESO PRODUCTIVO	
ITEM	PROCESO DE SALMUERA
1	BOMBEO DE SALMUERA FILTRADA
PROCESO DE HIPOCLORITO	
2	BOMBAS DE PROCESO DE HIPOCLORITO
3	BOMBAS PARA DESPACHO DE HIPOCLORITO
PROCESO DE CLORO LÍQUIDO	
4	COMPRESOR DE FREÓN SABROE
5	SOPLADOR DE CLORO
SERVICIOS AUXILIARES DEL PROCESO	
6	BOMBEO DE AGUA BRUTA
7	BOMBEO AGUA DE ENFRIAMIENTO
ÁREA DE SERVICIOS	
8	COMPRESORES PARA AIRE COMPRIMIDO
9	COMPRESORES DE AMONIACO

Figura 4.3: Equipos críticos y separados por sectores según funcionalidad de la planta
Fuente: (Quimpac , 2018)

4.1.4 Descripción de los procesos productivos.

Debido a que la sal (cloruro de sodio) tiene impurezas sean éstas calcio, magnesio e insolubles se debe tener una solución de sal en agua (salmuera) con bajo contenidos de impurezas de las antes mencionadas. Para conseguir esto se debe realizar un tratamiento de la salmuera y así poder obtener un óptimo funcionamiento de las celdas electrolíticas.

Para obtener esto es necesario tener un sistema en serie de las etapas abajo detalladas, es por esta razón que las bombas de este proceso se tornan críticas ya que por condiciones desfavorables se envían señales automáticas para un Trip de planta perdiendo así la productividad continua de la planta.

- ❖ Salmuera saturada.
- ❖ Salmuera sedimentada.
- ❖ Salmuera ultra pura.
- ❖ Salmuera clorada.
- ❖ Salmuera declorada.

4.1.5 Salmuera saturada.

La sal en grano proviene de la planta de una planta ubicada en la Provincia de Santa Elena del Cantón Mar Bravo. Esta es analizada en el laboratorio y se determina si es o no apto para el consumo en el proceso.

Una vez analizada se procede a verterla en unas piscinas de concreto donde se disuelven con agua y forma una salmuera agotada, se realizan análisis de laboratorios en según su condición se le agrega carbonato de calcio regulado por un rotámetro para eliminar el carbonato de sodio, en caso que disminuya el PH se le agrega soda cáustica para formar hidróxido de magnesio y disminuir el magnesio en la salmuera.

4.1.6 Salmuera sedimentada.

En este proceso la salmuera entra en reposo por un tiempo de 18 horas mismo que después del tiempo de reposo es bombeado a un tanque de almacenamiento, de éste tanque se bombea hacia unos filtros de antracita que trabajan en serie, los filtros tienen la función de retener las partículas que no hayan sido decantadas en el proceso anterior, las partículas existentes pueden ser el carbonato de calcio e hidróxido de magnesio).

4.1.7 Salmuera ultra pura.

Es la salmuera que entra al electrolizador donde se rompe la cadena molecular y separa el cloruro de sodio para producir cloro y enriquecer la soda del 30% al 32%.

La salmuera se produce mediante columnas de intercambio iónico que contienen resina y atrapan todas las impurezas que no fueron decantadas en los procesos anteriores.

4.1.8 Salmuera clorada.

En la Celda Electrolítica se produce la electrólisis del cloruro de sodio y se obtiene cloro en estado gaseoso, una parte del cloro se mezcla en la salmuera y toma el nombre de salmuera clorada, pasa por tanques declorinadores para sacarle parte del cloro y poder usarlo en la producción de hipoclorito.

4.1.9 Salmuera declorada.

Es la salmuera que proviene del declorinador y se reutiliza en el proceso de salmuera saturada previo tratamiento de tal manera que no afecte al proceso.

4.1.10 Proceso de hipoclorito.

Para la producción de hipoclorito sodio se usan dos torres, una se encuentra rellena con anillos de PVC, una se encuentra en funcionamiento con recirculación de soda caustica y cloro, mientras que en la otra circula soda caustica sin admisión de cloro.

La torre rellena tiene dos aspiradores, dos bombas y un intercambiador de calor. Los aspiradores sirven para generar vacío en la torre y en la línea de cloro, las bombas sirven para recircular una solución de soda caustica e hipoclorito de sodio en proceso. El intercambiador sirve para enfriar la solución.

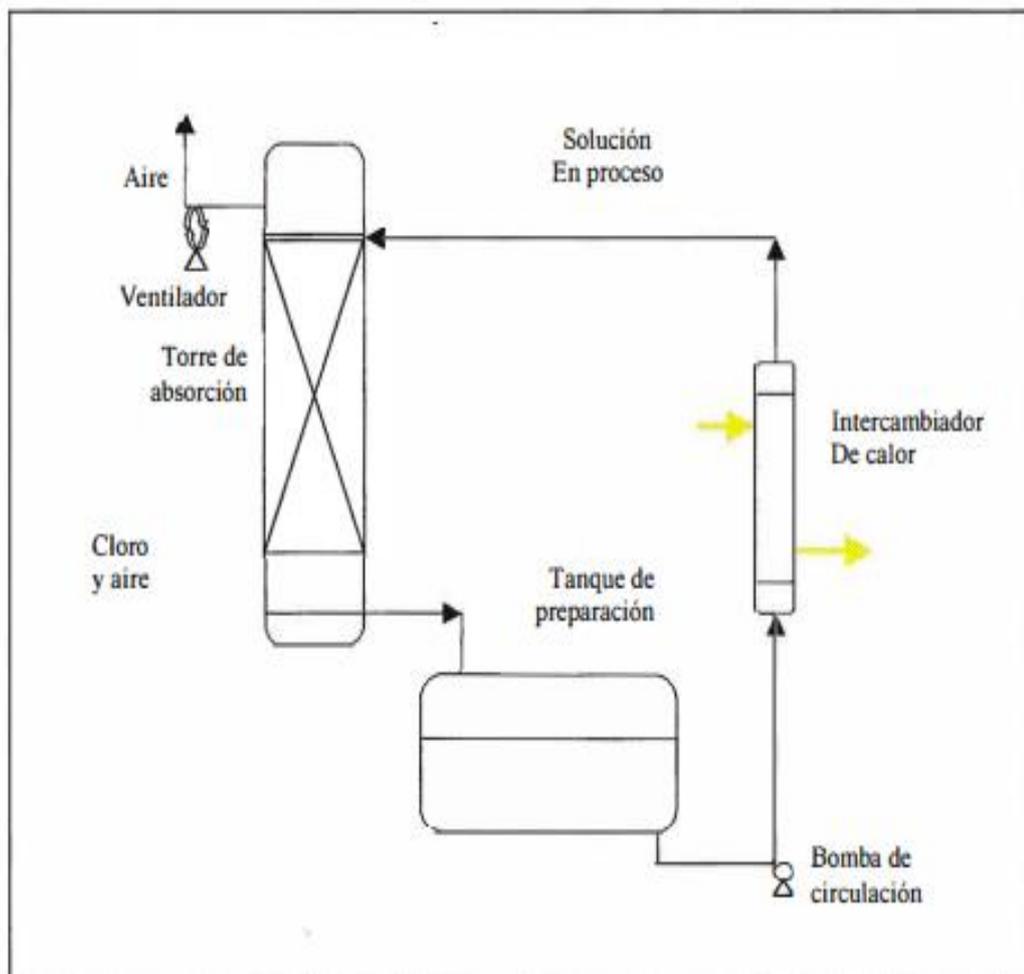


Figura 4.4: Proceso de Hipoclorito.
Fuente: (BARRETO, 2015)

4.1.11 Proceso de cloro líquido.

4.1.12 Secado de cloro.

El secado del cloro húmedo tiene como finalidad el sacar eliminar el vapor de agua del cloro en estado gaseoso. El proceso se lo realiza en dos torres instaladas en serie en una pasa ácido sulfúrico al 75% y en la otra al 98%.

El flujo del ácido es en contracorriente del cloro gas y absorbe el vapor de agua que arrastra el cloro húmedo. En la fase de gas saliente hay un cloro seco.

4.1.13 Producción de cloro líquido.

Para la producción del cloro líquido se usa un sistema de refrigeración con Freón, donde el vapor del freón frío proviene del evaporador que es alimentado del compresor donde se comprime y por ende aumenta su temperatura.

Con la finalidad de evaporar el freón líquido se usa un intercambiador, donde el freón pasa por la parte externa de los tubos, en tanto que el vapor de cloro pasa en estado líquido por el interior de los tubos.

La mayor cantidad de producción de cloro líquido depende fundamentalmente de la pureza del vapor de cloro y el buen estado de los equipos.

4.1.14 Servicios auxiliares del proceso.

Los procesos son:

4.1.15 Agua de enfriamiento.

El agua de enfriamiento se genera a través de torres de enfriamiento en las que ingresa el agua caliente por la parte superior, donde son distribuidas por boquillas para producir pequeñas gotas y poder expulsar la temperatura de la misma.

Las torres tienen un relleno plástico cuya función es incrementar la superficie de contacto entre el agua y el aire de su interior, en la parte superior de la torre se encuentra un ventilador que extrae el calor de las gotas de agua.

En la parte externa se encuentran las bombas centrífugas cuya función principal es de distribuir el agua fría por las diferentes unidades del proceso con la finalidad de retirar la energía calorífica que se genera.

4.1.16 Área de servicios.

Las áreas de servicios instalas:

4.1.17 Compresores de amoniaco.

Se usa compresores de amoniaco para el sistema de refrigeración de la producción de agua helada que sirve para los sistemas productivos de hipoclorito y cloro líquido.

Existen tres compresores marca Frick de pistón cada uno con motores de 75HP 1200RPM, se vuelve crítico el uso de éstos debido a que si aumenta la temperatura del agua helada por condiciones de seguridad envía una señal de Trip de planta y se pierde la producción.

4.2 Diagnostico actual de los equipos instalados

Se plantea el detalle del diagnóstico en:

4.2.1 Análisis de vibraciones en bombas de salmuera filtrada.

En este proceso existen dos bombas marca durco acopladas con matrimonio tipo Lovjoy, el motor es de 10HP a 3500RPM.

Según lo descrito anteriormente estas bombas son críticas ya que el proceso es continuo y en serie mismo que alimenta directamente al electrolizador.



Figura 4.5: Bombas para salmuera filtrada.
Fuente: (Planta, 2018)

							2/2/2018		
Área	Activo	Pto	Dir	Vel RMS (mm/s)	GE RMS (G's)	Acc RMS (G's)			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103B	1	H	7.89	0.19	0.632			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103B	1	V	6.227	0.217	0.557			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103B	2	H	6.233	0.228	0.542			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103B	2	V	7.229	0.136	0.663			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103B	2	A	5.659	0.214	0.599			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103B	3	H	20.167	1.294	2.343			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103B	3	V	16.09	0.53	1.907			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103B	3	A	13.516	0.414	1.334			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103B	4	H	9.518	0.552	1.248			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103B	4	V	12.188	0.415	1.438			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103B	4	A	10.97	0.549	1.346			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103A	1	H	5.06	0.963	1.73			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103A	1	V	4.126	1.388	2.329			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103A	2	H	5.268	1.528	2.775			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103A	2	V	5.788	4.32	7.025			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103A	2	A	3.853	2.756	4.361			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103A	3	H	4.614	0.97	1.67			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103A	3	V	17.731	0.934	1.673			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103A	3	A	4.381	1.058	1.685			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103A	4	H	3.729	1.194	1.959			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103A	4	V	11.645	1.339	2.055			
Bombas de Salmuera Filtrada Corcoran	P-103A	4	A	6.361	1.167	1.978			

Tabla 4.1: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones.
Fuente: (Planta, 2018).

4.2.2 Bomba P-103A

Se pudo observar que los niveles de vibraciones del motor son moderados, con un pico significativo a la velocidad de giro del eje. Se observa una cantidad importante de energía proveniente de los rodamientos, sobre todo en el lado acople del motor.

En la bomba se observa una gran cantidad de movimiento en dirección vertical, adicionalmente ruido considerable de los rodamientos.

Durante la inspección de esta maquinaria se observa que el dispositivo de compensación de aceite contiene una mínima cantidad de aceite y se observa oxidación y agua.

4.2.3 Bomba P-103B

Se pudo observar que los niveles de vibraciones del motor son moderados, con un pico significativo a la velocidad de giro del eje. Se observa cierto ruido proveniente de los rodamientos.

En la bomba se observa una gran cantidad de movimiento en dirección vertical, adicionalmente cierto ruido de los rodamientos. Se presume que la bomba o algún elemento cercano a la bomba (Grating) no se encuentra anclado correctamente y la soldadura amplifica los niveles de vibraciones.

Durante la inspección de esta maquinaria se observa que el dispositivo de compensación de aceite contiene una mínima cantidad de aceite y se observa oxidación y agua.

4.2.4 Análisis de vibraciones en bombas de hipoclorito.

En este proceso existen tres bombas marca corcoran acopladas de acople directo a la bomba, el motor es de 7.5HP a 1750RPM.

Según lo descrito anteriormente estas bombas son críticas ya que el proceso es continuo y en serie, en caso que estas fallen se sube el diferencial de presión de cloro y envía una señal de Trip de parada de planta.



Figura 4.6: Bombas del proceso de hipoclorito.
Fuente: (Planta, 2018)

2/2/2018							
Área	Activo	Pto	Dir	Vel RMS (mm/s)	GE RMS (G's)	Acc RMS (G's)	
Bombas de Hipoclorito	P-601A	1	H	1.843	0.187	0.331	
Bombas de Hipoclorito	P-601A	1	V	2.052	0.201	0.365	
Bombas de Hipoclorito	P-601A	2	H	1.621	0.2	0.341	
Bombas de Hipoclorito	P-601A	2	V	1.821	0.321	0.526	
Bombas de Hipoclorito	P-601A	2	A	1.632	0.186	0.349	
Bombas de Hipoclorito	P-601A	3	H	2.23	0.344	0.573	
Bombas de Hipoclorito	P-601A	3	V	1.898	0.491	0.808	
Bombas de Hipoclorito	P-601A	3	A	2.226	0.419	0.692	
Bombas de Hipoclorito	P-601B	1	H	1.633	0.187	0.311	
Bombas de Hipoclorito	P-601B	1	V	1.617	0.214	0.376	
Bombas de Hipoclorito	P-601B	2	H	2.033	0.19	0.307	
Bombas de Hipoclorito	P-601B	2	V	1.672	0.19	0.311	
Bombas de Hipoclorito	P-601B	2	A	1.708	0.175	0.276	
Bombas de Hipoclorito	P-601B	3	H	1.772	0.465	0.691	
Bombas de Hipoclorito	P-601B	3	V	1.884	0.25	0.425	
Bombas de Hipoclorito	P-601B	3	A	1.99	0.391	0.634	
Bombas de Hipoclorito	P-601C	1	H	1.432	0.224	0.356	
Bombas de Hipoclorito	P-601C	1	V	1.673	0.217	0.325	
Bombas de Hipoclorito	P-601C	2	H	1.322	0.148	0.254	
Bombas de Hipoclorito	P-601C	2	V	1.881	0.148	0.244	
Bombas de Hipoclorito	P-601C	2	A	1.441	0.096	0.173	
Bombas de Hipoclorito	P-601C	3	H	1.516	0.191	0.319	
Bombas de Hipoclorito	P-601C	3	V	1.922	0.216	0.359	
Bombas de Hipoclorito	P-601C	3	A	1.621	0.146	0.264	

Tabla 4.2: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones.
Fuente: (Planta, 2018)

4.2.5 Bomba P-601A

Se pudo observar que los niveles de vibraciones del motor se encuentran dentro de condiciones operativas. Se puede observar un ligero

pico de frecuencia 2XFL y cierto nivel de ruido de rodamientos, se puede considerar dentro de condiciones operativas.

En la bomba se observan niveles de vibraciones dentro de condiciones operativas.

4.2.6 Bomba P-601B

Se pudo observar que los niveles de vibraciones del motor se encuentran dentro de condiciones operativas, existe cierto nivel de ruido de rodamientos.

En la bomba se observan niveles de vibraciones dentro de condiciones operativas, espectro asociado a fenómeno hidráulico puede ser causado por bomba recirculando.

4.2.7 Bomba P-601C

Se pudo observar que los niveles de vibraciones del motor se encuentran dentro de condiciones operativas, existe cierto nivel de ruido de rodamientos.

En la bomba se observan niveles de vibraciones dentro de condiciones operativas

4.2.8 Bomba despacho hipoclorito



Figura 4.7 Bomba despacho de hipoclorito.
Fuente: (Planta, 2018)

2/2/2018						
Área	Activo	Pto	Dir	Vel RMS (mm/s)	GE RMS (G's)	Acc RMS (G's)
Bombas de Despacho de Cloro	P-602A	1	H	3.474	0.239	0.424
Bombas de Despacho de Cloro	P-602A	1	V	1.742	0.204	0.332
Bombas de Despacho de Cloro	P-602A	2	H	3.02	0.108	0.186
Bombas de Despacho de Cloro	P-602A	2	V	3.531	0.197	0.332
Bombas de Despacho de Cloro	P-602A	2	A	2.073	0.358	0.569
Bombas de Despacho de Cloro	P-602A	3	H	2.4	0.121	0.216
Bombas de Despacho de Cloro	P-602A	3	V	5.335	0.133	0.262
Bombas de Despacho de Cloro	P-602A	3	A	2.251	0.181	0.294

Tabla 4.3: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones.
Fuente: (Planta, 2018)

4.2.9 Bomba P-602A

Se pudo observar que los niveles de vibraciones del motor son ligeramente elevados, posiblemente por la baja rigidez de la estructura de la base. Se observa cierto nivel de ruido de rodamientos, se puede considerar dentro de condiciones operativas.

En la bomba se observa mayor libertad de movimiento en dirección vertical.

4.2.10 Análisis de vibraciones en compresor sabroe y soplador de cloro.

En este proceso existen un compresor de pistones marca sabroe acoplado con un motor de 75HP 1200 RPM. Adicional hay un aspirador de cloro que contiene una caja de transmisión que eleva las RPM de 3500 a 6000, está acoplado a través de poleas con un motor de 20HP 1500RPM.

Estos equipos son críticos debido a que el cloro líquido es el de mayor producción y en caso que fallen los equipos el proceso se pararía y por ende se para la plata debido a que envía una señal de Trip por seguridad.



Figura 4.8: Compresor sabroe de freón.
Fuente: Planta de productos químicos

2/2/2018

Área	Activo	Pto	Dir	Vel RMS (mm/s)	GE RMS (G's)	Acc RMS (G's)
Compresor de Freon Sabroe	U-401C	1	H	6.408	1.946	2.887
Compresor de Freon Sabroe	U-401C	1	V	4.589	1.545	2.732
Compresor de Freon Sabroe	U-401C	2	H	5.246	0.71	1.383
Compresor de Freon Sabroe	U-401C	2	V	4.458	0.43	0.724
Compresor de Freon Sabroe	U-401C	2	A	4.248	0.392	0.709
Compresor de Freon Sabroe	U-401C	3	H	6.481	0.605	0.95
Compresor de Freon Sabroe	U-401C	3	V	3.404	0.751	1.154
Compresor de Freon Sabroe	U-401C	4	H	6.936	0.885	1.48
Compresor de Freon Sabroe	U-401C	4	V	4.06	1.507	2.168

Tabla 4.4: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones.
Fuente: (Planta, 2018)

4.2.11 Compresor U-401C

En el motor se observan picos de muy alta frecuencia asociados al inicio de una falla eléctrica, merecen seguimiento durante el siguiente

monitoreo. Presenta mayores vibraciones en dirección horizontal que en dirección vertical por lo que se entiende que existe flexibilidad estructural.

En el compresor se observa niveles de vibraciones dentro de condiciones operativas, aunque se identifica el fenómeno de flexibilidad de la estructura.



*Figura 4.9: Soplador de cloro.
Fuente: (Planta, 2018)*

2/2/2018						
Área	Activo	Pto	Dir	Vel RMS (mm/s)	GE RMS (G's)	Acc RMS (G's)
Soplador de Cloro	K-401C	1	H	8,607	0.275	0.838
Soplador de Cloro	K-401C	1	V	4,699	0.272	0.609
Soplador de Cloro	K-401C	2	H	7,495	0.22	0.723
Soplador de Cloro	K-401C	2	V	5,327	0.31	0.621
Soplador de Cloro	K-401C	2	A	3,839	0.206	0.488
Soplador de Cloro	K-401C	3	H	7,556	0.428	1.033
Soplador de Cloro	K-401C	3	V	3,257	0.352	0.635
Soplador de Cloro	K-401C	3	A	4,699	0.363	0.726
Soplador de Cloro	K-401C	4	H	5,528	0.446	0.962
Soplador de Cloro	K-401C	4	V	3,973	0.467	0.865
Soplador de Cloro	K-401C	4	A	4,806	1.192	1.814

*Tabla 4.5: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones.
Fuente: (Planta, 2018)*

4.2.12 Soplador K-401C

El motor y las chumaceras del ventilador presentan niveles de vibraciones moderadas, es posible que este sea su comportamiento normal.

4.2.13 Análisis de vibraciones en bomba agua de enfriamiento.

Para el bombeo de agua de enfriamiento existen tres bombas de las mismas características, cuando se realizó la medición una había salido a mantenimiento por lo que sólo se tomó el dato de dos bombas, estas son de acople directo con motor de 25HP a 1750RPM.



Figura 4.10: Bombas para agua de enfriamiento.
Fuente (Planta, 2018):

2/2/2018						
Área	Activo	Pto	Dir	Vel RMS (mm/s)	GE RMS (G's)	Acc RMS (G's)
Agua de Enfriamiento	P-701A	1	H	3.481	0.428	0.677
Agua de Enfriamiento	P-701A	1	V	1.37	0.606	0.963
Agua de Enfriamiento	P-701A	2	H	1.375	0.404	0.636
Agua de Enfriamiento	P-701A	2	V	1.18	0.366	0.6
Agua de Enfriamiento	P-701A	2	A	2.301	0.602	1.169
Agua de Enfriamiento	P-701A	3	H	2.558	0.294	0.475
Agua de Enfriamiento	P-701A	3	V	1.626	0.395	0.596
Agua de Enfriamiento	P-701A	3	A	1.161	0.495	0.75
Agua de Enfriamiento	P-701B	1	H	1.618	0.494	0.98
Agua de Enfriamiento	P-701B	1	V	1.949	0.462	0.76
Agua de Enfriamiento	P-701B	2	H	1.283	0.44	0.69
Agua de Enfriamiento	P-701B	2	V	1.172	0.435	0.667
Agua de Enfriamiento	P-701B	2	A	2.281	0.464	0.717
Agua de Enfriamiento	P-701B	3	H	1.687	0.277	0.481
Agua de Enfriamiento	P-701B	3	V	2.168	0.453	0.687
Agua de Enfriamiento	P-701B	3	A	2.261	0.378	0.645

Tabla 4.6: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones.
Fuente: (Planta, 2018)

4.2.14 Bomba P-701A

En el motor se observa que existe un pico de vibraciones a 19,41 Hz, el mismo que se presume no está relacionado con el motor sino es transmitido a través de la tubería. Presenta mayores vibraciones en dirección horizontal que en dirección vertical por lo que se entiende que existe flexibilidad estructural (durante la visita se pudo observar que el motor no se encuentra adecuadamente anclado).

Adicionalmente se observó que el motor se encontraba trabajando a alta temperatura, se debe considerar que esto reduce la vida útil del aislamiento.

Se capta pico eléctrico 2XFL (2 veces la frecuencia de línea) y bandas laterales de la frecuencia de paso de polos posiblemente exista un deterioro en el devanado, ligera excentricidad en el giro del rotor o una deformación de la carcasa del motor.

Por último, se observa cierto nivel de ruido de rodamientos, se puede considerar dentro de condiciones operativas. En la bomba se observa menor grado de flexibilidad y cierto ruido de alta frecuencia relacionado a algún fenómeno hidráulico.

4.2.15 Bomba P-701B

En el motor se observa que existe un pico de vibraciones a 19,41 Hz, el mismo que se presume no está relacionado con el motor sino es transmitido a través de la tubería. Adicionalmente se observó que el motor se encontraba trabajando a alta temperatura, se debe considerar que esto reduce la vida útil del aislamiento. Se capta pico eléctrico 2XFL (2 veces la frecuencia de línea) y bandas laterales de la frecuencia de paso de polos posiblemente exista un deterioro en el devanado, ligera excentricidad en el giro del rotor o una deformación de la carcasa del motor.

Por último, se observa cierto nivel de ruido de rodamientos, se puede considerar dentro de condiciones operativas.

En la bomba se observa cierto ruido de alta frecuencia relacionado a algún fenómeno hidráulico.

4.2.16 Agua bruta.

Para el consumo de agua la planta tiene sus propios pozos profundos de la cual se toma y se almacena en tanques de 170 m³ para el abastecimiento de la planta.

Las bombas en este proceso son muy importantes para el abastecimiento de agua a la planta ya que aproximadamente el consumo por turno de 12 horas es del 50% de su contenido total.

Además de sal y la electricidad el agua es otra materia prima para la continuidad de la producción.

4.2.17 Análisis de vibraciones en bomba agua de enfriamiento.

Para el bombeo de agua bruta hacia planta existen dos bombas con acople tipo matrimonio Lovjoy de diferentes potencias, la primera es de 40HP a 3500PRM esta bomba no se consideró como crítica debido a que es nueva, en cambio la bomba de 20HP 1750RPM tiene varios años de servicio y se le dio prioridad.



Figura 4.11: Bombas para agua bruta.
Fuente: (Planta, 2018)

2/2/2018							
Área	Activo	Pto	Dir	Vel RMS (mm/s)	GE RMS (G's)	Acc RMS (G's)	
Bombas de Agua Bruta	P-708A	1	H	5.258	0.163	0.428	
Bombas de Agua Bruta	P-708A	1	V	2.958	0.412	0.682	
Bombas de Agua Bruta	P-708A	2	H	2.976	0.329	0.555	
Bombas de Agua Bruta	P-708A	2	V	19.481	0.383	0.929	
Bombas de Agua Bruta	P-708A	2	A	15.775	0.34	0.822	
Bombas de Agua Bruta	P-708A	3	H	1.931	0.372	0.679	
Bombas de Agua Bruta	P-708A	3	V	1.968	0.587	1.053	
Bombas de Agua Bruta	P-708A	3	A	1.475	0.684	1.166	
Bombas de Agua Bruta	P-708A	4	H	1.566	0.558	0.943	
Bombas de Agua Bruta	P-708A	4	V	1.366	0.472	0.862	
Bombas de Agua Bruta	P-708A	4	A	1.753	1.161	1.983	

Tabla 4.7: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones.
Fuente: (Planta, 2018)

4.2.18 Bomba P-708A

Se pudo observar que el motor no se encuentra adecuadamente anclado y es probable que presenta una nivelación deficiente. En el lado acople del motor se observa soltura de una base y se asume desalineamiento.

Se capta pico eléctrico 2XFL (2 veces la frecuencia de línea) significativo, puede existir excentricidad en el giro del rotor o una deformación de la carcasa del motor. Por último, se observa cierto nivel de ruido de rodamientos, se puede considerar dentro de condiciones operativas.



*Figura 4.12: Compresores para amoniaco.
Fuente: (Planta, 2018)*

2/2/2018							
Área	Activo	Pto	Dir	Vel RMS (mm/s)	GE RMS (G's)	Acc RMS (G's)	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702B	1	H	1.225	0.397	0.513	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702B	1	V	1.167	0.231	0.349	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702B	2	H	1.417	0.178	0.282	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702B	2	V	1.547	0.211	0.345	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702B	2	A	1.56	0.175	0.273	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702B	3	H	3.495	0.33	0.313	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702B	3	V	3.382	0.408	0.377	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702B	3	A	3.475	0.899	0.794	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702B	4	H	5.304	0.321	0.367	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702B	4	V	2.571	0.306	0.293	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702B	4	A	3.338	0.799	0.729	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702B	5	H	7.465	0.877	0.77	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702B	6	H	8.073	0.626	0.605	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702A	1	H	1.193	0.286	0.491	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702A	1	V	1.631	0.249	0.444	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702A	2	H	1.329	0.163	0.288	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702A	2	V	2.161	0.242	0.373	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702A	2	A	1.472	0.201	0.336	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702A	3	H	2.784	0.351	0.356	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702A	3	V	1.563	0.32	0.309	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702A	3	A	0.948	0.415	0.436	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702A	4	H	2.824	0.279	0.331	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702A	4	V	1.175	0.293	0.343	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702A	4	A	0.858	0.546	0.651	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702A	5	H	4.601	0.454	0.486	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702A	6	H	4.586	0.798	0.756	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702C	1	H	1.346	0.323	0.52	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702C	1	V	1.304	0.253	0.424	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702C	2	H	2.134	0.33	0.511	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702C	2	V	3.497	0.266	0.426	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702C	2	A	3.377	0.164	0.289	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702C	3	H	2.443	1.251	1.162	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702C	3	V	1.882	1.244	1.17	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702C	3	A	2.081	1.675	1.641	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702C	4	H	2.539	0.823	0.86	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702C	4	V	1.678	0.682	0.726	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702C	4	A	2.054	1.709	1.667	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702C	5	H	4.559	2.417	2.13	
Compresor Frick de Amoniaco	K-702C	6	H	4.268	2.218	1.996	

Tabla 4.8: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones.
Fuente: (Planta, 2018)

4.2.19 Compresor K-702A

El motor presenta niveles de vibraciones dentro de condiciones operativas.

En el compresor se observa niveles de vibraciones dentro de condiciones operativas, aunque se identifica en el cojinete lado polea con mayor impacto.

4.2.20 Compresor K-702B

El motor presenta niveles de vibraciones dentro de condiciones operativas.

En el compresor se observa niveles de vibraciones dentro de condiciones operativas, aunque se identifica en el cojinete lado polea con mayor impacto.

Durante la inspección se pudo observar que el compresor presenta movimiento elevado producto de un deficiente asentamiento.

4.2.21 Compresor K-702C

El motor presenta niveles de vibraciones dentro de condiciones operativas.

En el compresor se observa niveles de vibraciones dentro de condiciones operativas, aunque se identifica gran cantidad de impacto en el lado acople, por encima de los niveles de vibraciones que se presentan en los otros compresores.



Figura 4.13: Compresores para aire comprimido.
Fuente: (Planta, 2018)

2/2/2018							
Área	Activo	Pto	Dir	Vel RMS (mm/s)	GE RMS (G's)	Acc RMS (G's)	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701A	1	H	1.961	0.788	1.3	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701A	1	V	3.39	1.424	2.744	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701A	2	H	2.089	0.974	1.656	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701A	2	V	2.801	0.861	1.783	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701A	2	A	3.41	1.885	3.152	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701A	3	H	2.709	0.835	1.632	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701A	3	V	3.527	0.912	1.662	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701A	4	H	1.702	0.617	1.139	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701A	4	V	2.423	0.941	1.788	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701A	4	A	2.277	0.968	1.799	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701C	1	H	1.377	0.486	0.813	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701C	1	V	2.242	0.623	1.172	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701C	2	H	1.233	0.384	0.742	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701C	2	V	2.06	0.542	0.968	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701C	2	A	2.044	0.846	1.509	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701C	3	H	3.431	1.12	1.81	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701C	3	V	6.287	1.135	2.628	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701C	3	A	2.909	1.261	2.239	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701C	4	H	1.984	0.426	0.767	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701C	4	V	2.919	0.822	1.46	
Compresor Kaiser Aire Comprimido	K-701C	4	A	2.302	1.153	1.97	

Tabla 4.9: Datos del estado de la bomba según analizador de vibraciones.
Fuente: (Planta, 2018)

4.2.22 Compresor K-701A

El motor presenta niveles de vibraciones dentro de condiciones operativas.

En el compresor se observa niveles de vibraciones dentro de condiciones operativas, se observa la presencia del pico de engrane entre lóbulos.

4.2.23 Compresor K-701C

El motor presenta niveles de vibraciones dentro de condiciones operativas.

En el compresor se observa la presencia del pico de engrane entre lóbulos.

CAPITULO V

PROPUESTA

5.1 Mantenimiento predictivo basado en los análisis vibratorios de equipos rotatorios utilizadas en el proceso de producción de una planta química

La presente propuesta busca cumplir con criterios técnicos basados en la amplia experiencia de los inspectores y en normativas internacionales. Se buscará la sinergia para efectuar un servicio de calidad y con la meta en dar los resultados óptimos para su trabajo continuo.

La mayoría de las máquinas producen bajos niveles de vibración cuando están diseñadas apropiadamente. Durante su operación, las máquinas se someten a fatiga, desgaste, deformación y asentamiento de los cimientos. Estos efectos incrementan las holguras entre partes en contacto, desalineaciones en flechas, principio de grietas en sus piezas y desbalances en rotores, todo lo cual aumenta el nivel de vibración, con lo que se provocan cargas dinámicas adicionales en los rodamientos. Conforme pasa el tiempo, los niveles de vibración siguen aumentando y acaban provocando fallas o descomposturas de la máquina, dando como resultado el común de fallas o condiciones de operación que conducen a niveles aumentados de vibración en máquinas incluyen flechas flexionadas o excéntricas, componentes desalineados o desbalanceados, rodamientos o engranes defectuosos, propulsores con aspas defectuosas, y partes mecánicas flojas (Aldaz, 2015)

5.2 Propuesta Técnica

5.2.1 Análisis de señales

En el análisis de señales determinamos la respuesta de un sistema sometido a una excitación conocida y lo presentamos en una forma conveniente. Suele suceder que con el tiempo la respuesta de un sistema no

proporcione mucha información útil. Sin embargo, la respuesta de frecuencia mostrara una o más frecuencias separadas en torno a las cuales se concentra la energía. Como por lo común se conocen las características dinámicas de los componentes individuales del sistema, podemos relacionar los distintos componentes de frecuencia (de la respuesta de frecuencia) con componentes específicos (Aldaz, 2015).

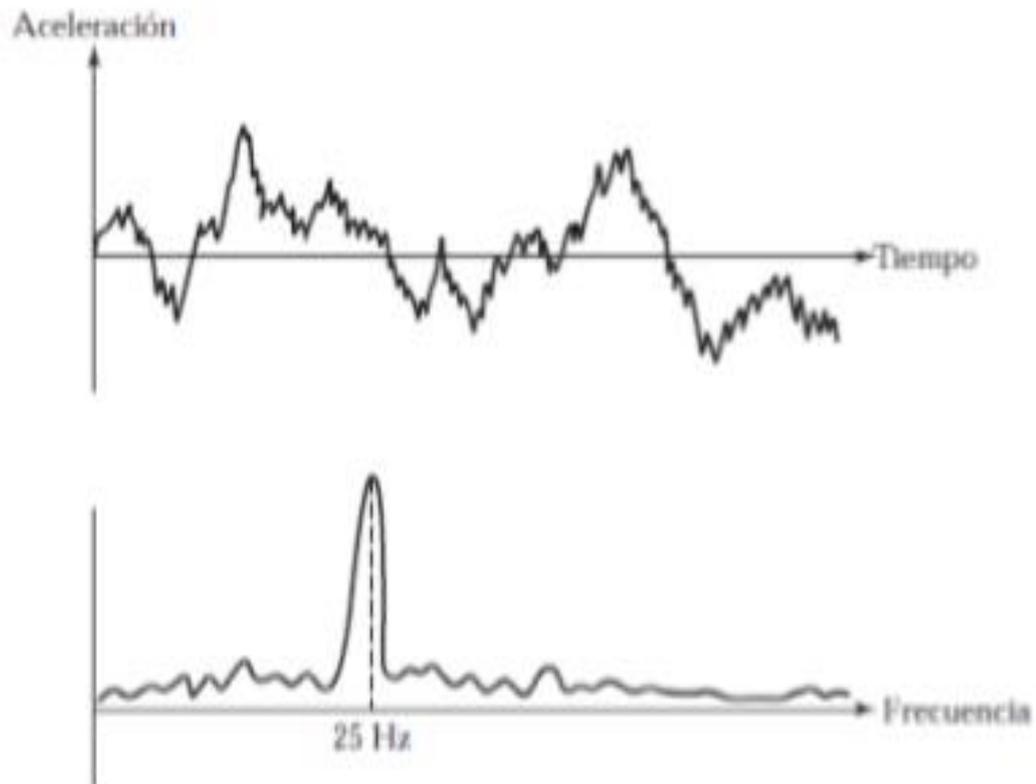


Figura 5.1: Señales gráficas
Fuente: (Aldaz, 2015)

5.2.2 Análisis de espectros

Se pueden utilizar analizadores de espectro o de frecuencia para analizar señales. Estos dispositivos analizan una señal en el dominio de la frecuencia separando la energía de la señal en varias bandas de frecuencia. La separación de la energía de la señal en bandas de frecuencia se realiza por medio de un conjunto de filtros. Los analizadores se suelen clasificar según el tipo de filtro empleado. Por ejemplo, si se utiliza un filtro de banda octava, el analizador de espectro se conoce como analizador de banda

octava, recientemente los analizadores digitales se han hecho muy populares para el análisis de señales en tiempo real. En un análisis de frecuencia en tiempo real, la señal se analiza de forma continua en todas las bandas de frecuencia. De este modo, el proceso de cálculo no debe llevarse más tiempo que el de reunir los datos de las señales. Los analizadores en tiempo real son especialmente útiles para monitorear la salud de la maquinaria, puesto que se puede observar un cambio en el espectro de ruido o de vibración al mismo tiempo que ocurre un cambio en la máquina. Hay dos tipos de procedimientos de análisis de tiempo real: el método de filtración digital, y el método rápido de la transformada de Fourier. (Aldaz, 2015).

5.2.3 Análisis en dominio de la frecuencia

La señal o espectro de frecuencia en el dominio de la frecuencia es una curva de la amplitud de la respuesta de vibración contra la frecuencia y se puede derivar por medio del análisis de Fourier digital rápido de la forma de onda en el dominio del tiempo. El espectro de frecuencia proporciona información valiosa con respecto a la condición de una máquina. La respuesta de vibración de una máquina depende no solo de sus componentes sino también por su ensamble, montaje e instalación. Por lo tanto, las características de vibración de cualquier máquina son un tanto únicas para esa máquina particular; de ahí que el espectro de vibración se considera como la firma de vibración de dicha máquina. En tanto las fuerzas de excitación sean constantes o varíen en pequeñas cantidades, el nivel de vibración medido de la máquina también permanecerá constante o variara en pequeñas cantidades. Sin embargo, a medida que la máquina comienza a desarrollar fallas, su nivel de vibración, y por consiguiente la forma del espectro de frecuencia, cambia. Comparando el espectro de frecuencia de la máquina dañada con el espectro de frecuencia de referencia correspondiente a la máquina en buenas condiciones, se puede detectar la naturaleza y ubicación de la falla. Otra importante característica de un espectro es que cada elemento rotatorio en una máquina genera una frecuencia identificable. (Aldaz, 2015)

Dado que los picos en el espectro se relacionan con varios componentes de la máquina, es necesario ser capaz de calcular las frecuencias fallidas. Se pueden derivar varias fórmulas para determinar las frecuencias fallidas de componentes estándar como rodamientos, cajas de engranes, bombas, ventiladores y poleas. Asimismo, ciertas condiciones se pueden describir para fallas estándar por ejemplo desbalance, desalineación, aflojamiento, remolineo de aceite y resonancia. (Aldaz, 2015)

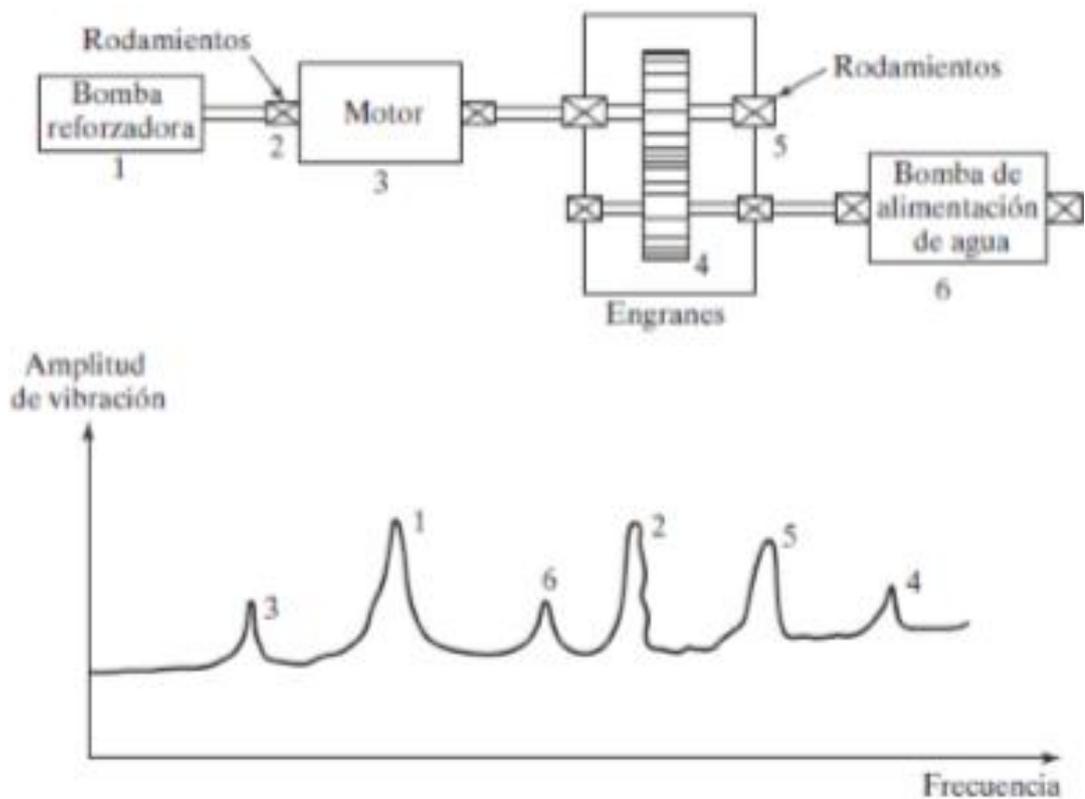


Figura 5.2: Componentes de una máquina y espectros
Fuente: (Aldaz, 2015)

5.2.4 Análisis por ultrasonido.

Se define como un procedimiento de inspección no destructiva de tipo mecánico, que se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad de un material⁴², esto quiere decir que se basa en el estudio de las ondas sonoras que produce la maquina cuando está en funcionamiento y que cuando están presentando alguna falla el sonido se vuelve de alta frecuencia (Sánchez, 2017).

Cuando se presenta la falla la frecuencia con la que se produce el sonido es muy alta por lo cual no puede ser captado por el hombre debido a que “El oído humano puede percibir el sonido cuando su frecuencia se encuentra entre 20 Hz. El ultrasonido es una vibración mecánica con un rango mayor al audible por el oído humano que se transmite a través de un medio físico y es orientado, registrado y medido en Hertz con ayuda de un aparato creado para ese fin. Estas ondas tienden a atenuarse rápidamente por su corta longitud, esto lo que produce es una detección rápida de la falla que se presenta, debido a que se identifica a pesar del ruido del ambiente. (Sánchez, 2017)

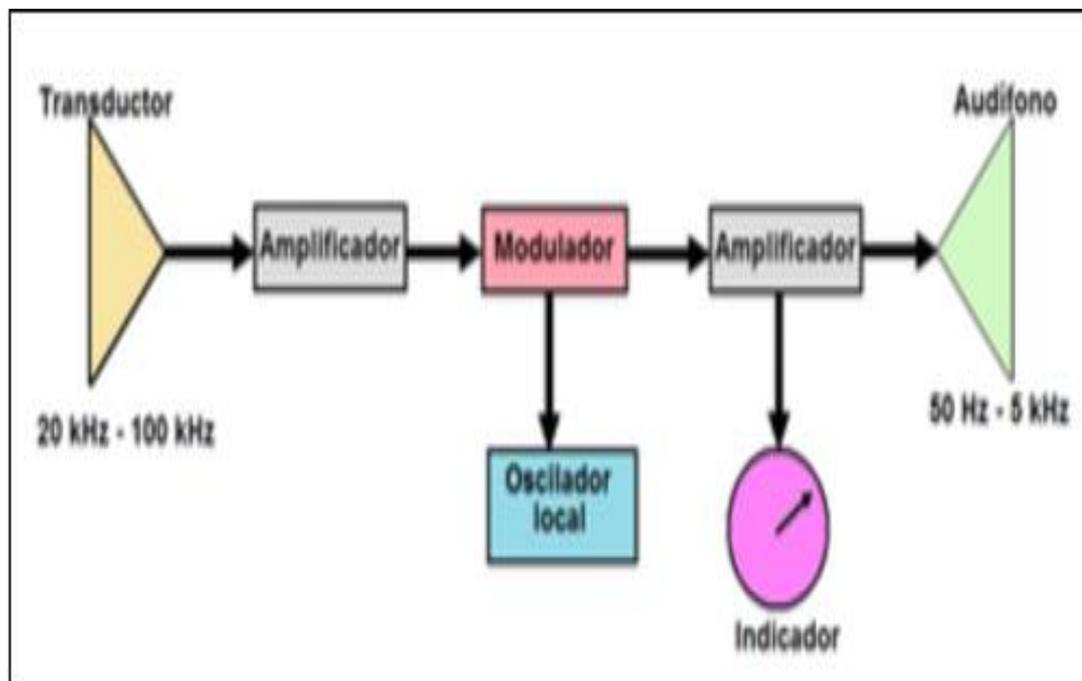


Figura 5.3: Análisis de sonido.
Fuente: (Sánchez, 2017)

Los medidores de ultrasonido o detectores ultrasonidos son los encargados de convertir las ondas de ultrasonido en ondas audibles al oído humano, estas señales pueden ser escuchadas una vez transformadas por audífonos o se convierten en imágenes que serán proyectadas en pantallas. De acuerdo al comportamiento que las ondas presenten al interior de la máquina, a cada pieza o componente de la misma se conoce el estado por la propagación de las ondas en su exterior, “lo que permite evaluar aquella

discontinuidad acerca de su forma, tamaño, orientación, debido que la discontinuidad opone resistencia (conocida como impedancia acústica) al paso de una onda. Para entender este tipo de técnica debido a las especificaciones es necesario tener unos conceptos de física básicos los cuales se especifican a continuación:

Oscilación que es el cambio periódico de la condición o el comportamiento del cuerpo, sonido la onda mecánica longitudinal que se propaga a través de un medio elástico, periodo el tiempo necesario para realizar una oscilación, frecuencia el inverso del periodo y la amplitud que es la máxima desviación del cuerpo oscilante desde la posición de equilibrio (posición cero). (Sánchez, 2017)

Rango	Limites
Subsónico	Frecuencias menores a 16 Hz, no se escucha ningún tono no es percibido por el oído humano.
Sonido audible	Este rango va a partir de los 16Hz hasta los 20 Hz, el oído humano percibe todo sonido dentro de este rango.
Ultrasonido	Son frecuencias mayores a 20Hz, se encuentra por encima del sonido audible humano.

*Tabla 5.1: Limites de audibilidad.
Fuente: (Sánchez, 2017)*

5.2.5 Análisis computarizados

Es útil y económico cuando se incrementan la cantidad de máquinas, los puntos de monitoreo y la complejidad de la detección de fallas. Se compone de un analizador de vibración por transformada rápida de Fourier (FFT) acoplado a una computadora para mantener una base de datos centralizada que también tiene capacidades de diagnóstico. Los datos se guardan en un disco, lo que permite utilizarlos para comparar los espectros o

para trazar gráficas tridimensionales (vea la figura 2.32). Determinados sistemas basados en la computadora utilizan grabadoras de cinta para registrar señales de vibración de cada máquina en todos los puntos de medición. Estas mediciones se pueden volver a reproducir en la computadora para su almacenamiento y posterior procesamiento. (Aldaz, 2015)

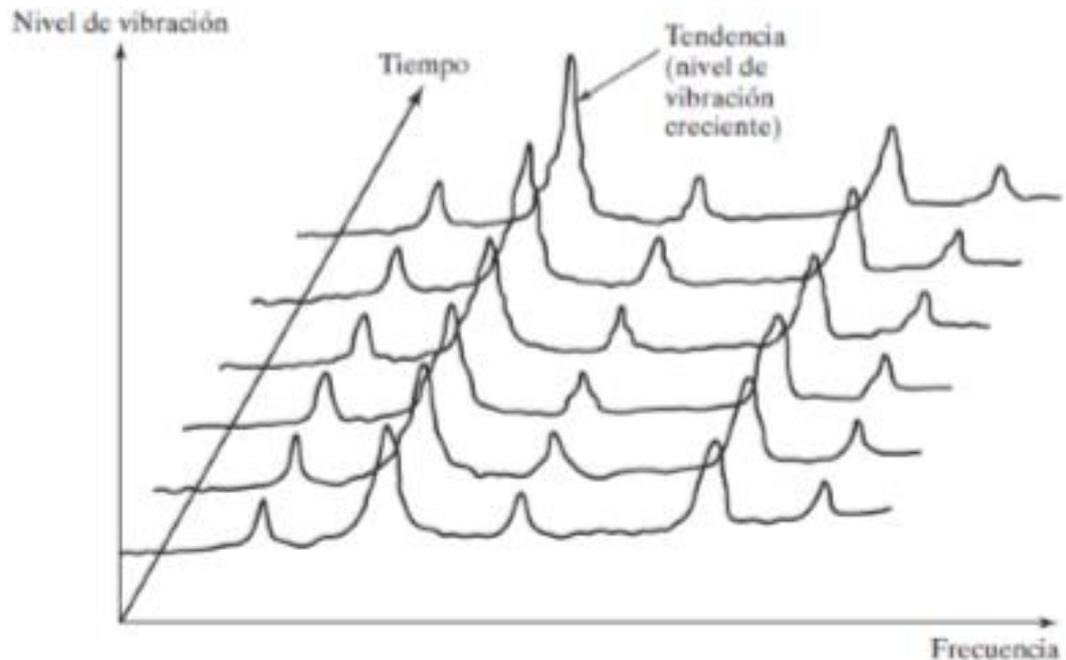


Figura 5.4: Análisis vibratorios grabados en tiempo real.
Fuente: (Aldaz, 2015)

Comúnmente se utilizan acelerómetros piezoeléctricos para medir la vibración de máquinas. Se prefieren por su reducido tamaño, frecuencia superior y rango dinámico, confiabilidad durante largos periodos y robustez. Cuando se utiliza un acelerómetro como detector de vibración, la velocidad y desplazamientos se pueden obtener de los integradores construidos en el analizador. Por lo tanto, el usuario puede seleccionar entre aceleración, velocidad y desplazamiento como parámetro de monitoreo. Aunque cualquiera de estos tres espectros se puede utilizar para monitorear la condición de una máquina, por lo común el espectro de velocidad será el más plano (lo que indica que el rango de amplitudes de velocidad es el más pequeño). Como el cambio de la amplitud de la velocidad es fácil de observar en un espectro muy plano, se suele utilizar la velocidad como parámetro para monitorear la condición de máquinas. (Aldaz, 2015)

Servicios de Monitoreo en condición de reforzar el mantenimiento predictivo en QUIMPAC S.A. en el que se realiza una inspección de monitoreo y análisis de vibraciones para la siguiente maquinaria:

- P-701a bomba agua enfriamiento
- P-701b bomba agua enfriamiento
- P-701c bomba agua enfriamiento
- K-702a compresor frick de amoniaco
- K-702b compresor frick de amoniaco
- K-702c compresor frick de amoniaco
- U-401c compresor de freon sabroe
- P-601a bomba de hipoclorito
- P-601b bomba de hipoclorito
- P-601c bomba de hipoclorito
- K-401c soplador de cloro
- P-602b bomba despacho hipoclorito
- P-103a bomba salmuera filtrada corcoran
- P-103b bomba salmuera filtrada corcoran
- K-701a compresor kaeser aire comprimido
- K-701c compresor kaeser aire comprimido

Monitoreo y Análisis de Vibraciones:

- ❖ El monitoreo de vibraciones y el respectivo análisis de registros es efectuado por un Analista de Vibraciones de Maquinarias CAT III de acuerdo a estándares ISO 18436 con amplia experiencia en Maquinaria Rotativa.
- ❖ El análisis de vibraciones efectuado es realizado con un equipo de monitoreo de vibraciones Erbesd Instruments Digivibe MX M30 y utilizando el software Digivibe MX 9. <https://erbessdreliability.com/wp-content/uploads/2017/04/DigivibeMX-FINAL>.

- ❖ El monitoreo comprende la identificación de los puntos más idóneos para el seguimiento y diagnóstico de los modos de falla que pueden presentarse en cada uno de los activos señalados por su cliente.
- ❖ El monitoreo de vibraciones consistirá en el registro secuencial de cada punto y cada dirección establecida para captar los registros de vibraciones y efectuar el respectivo análisis y diagnóstico de los posibles modos de falla que se presenten en la máquina inspeccionada.
- ❖ Los registros de vibraciones serán analizados en base a las normativas internacionales (por lo general se utiliza la norma ISO 10816-3), tendencia de niveles de vibraciones y en base a los registros de actividades de mantenimiento que se disponga
- ❖ Para afinar la calidad del análisis de vibraciones es necesario que el cliente proporcione información técnica relevante a la motricidad de la maquinaria. Por ejemplo: Velocidades de giro de máquina conductora y conducida, identificación de rodamientos, datos de diámetros de poleas y longitud de bandas, etc.
- ❖ Es necesario que el cliente designe a una persona durante cada inspección de manera que sea la responsable de coordinar con los encargados de la planta la puesta en servicio de la maquinaria antes descrita.
- ❖ Las tareas de mantenimiento proactivo o análisis complejos de vibraciones representan un costo adicional. A continuación se citan algunas de las tareas que se podrían realizar previo ejecución
 - Alineaciones Laser de Ejes
 - Balanceo Dinámico en Sitio
 - Análisis ODS (Operational Deflection Shapes)

- Análisis multicanal complejos (FRF & Bump tests, Run up coast down tests, Órbitas, Coherence, Cross Channel Phase, Diagramas de Bode/Nyquist, etc
- ❖ Se fija como tiempo máximo de entrega de informes, espectros 15 días en promedio.

CAPITULO VI

ESTUDIO ECONÓMICO Y POSIBLES IMPACTOS

6.1 Estudio económico

Al disminuir los costos de mantenimiento por pérdidas se podría agrandar el margen de ganancias potencialmente, sosteniendo la influencia de los costos del mantenimiento, en el costo final del producto, dentro del rango del 10 al 20%; es por ello que las industrias pueden abrir la mente a la idea de ver en el mantenimiento una oportunidad de mejorar sus márgenes y no un costo más que reduce la rentabilidad. (Garces, 2014)

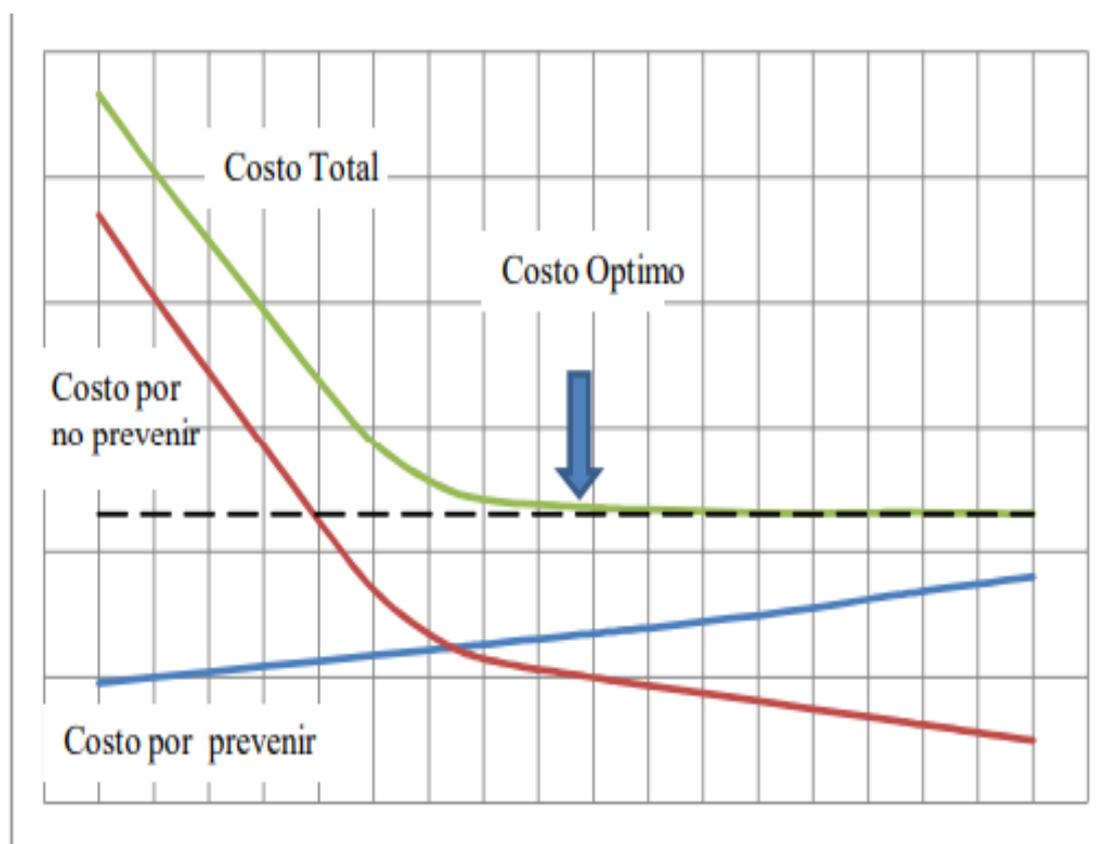


Figura 6.1: Costo óptimo por mantenimiento predictivo.
Fuente: (Garces, 2014)

En esta figura se puede ver que el costo total de mantenimiento es influido por el costo de prevenir y de no prevenir. De esta manera, la estrategia óptima de mantenimiento, es aquella que disminuye el costo total,

o sea, identifica el punto, donde el costo total es mayor para mejorar la rentabilidad de la industria (Garces, 2014).

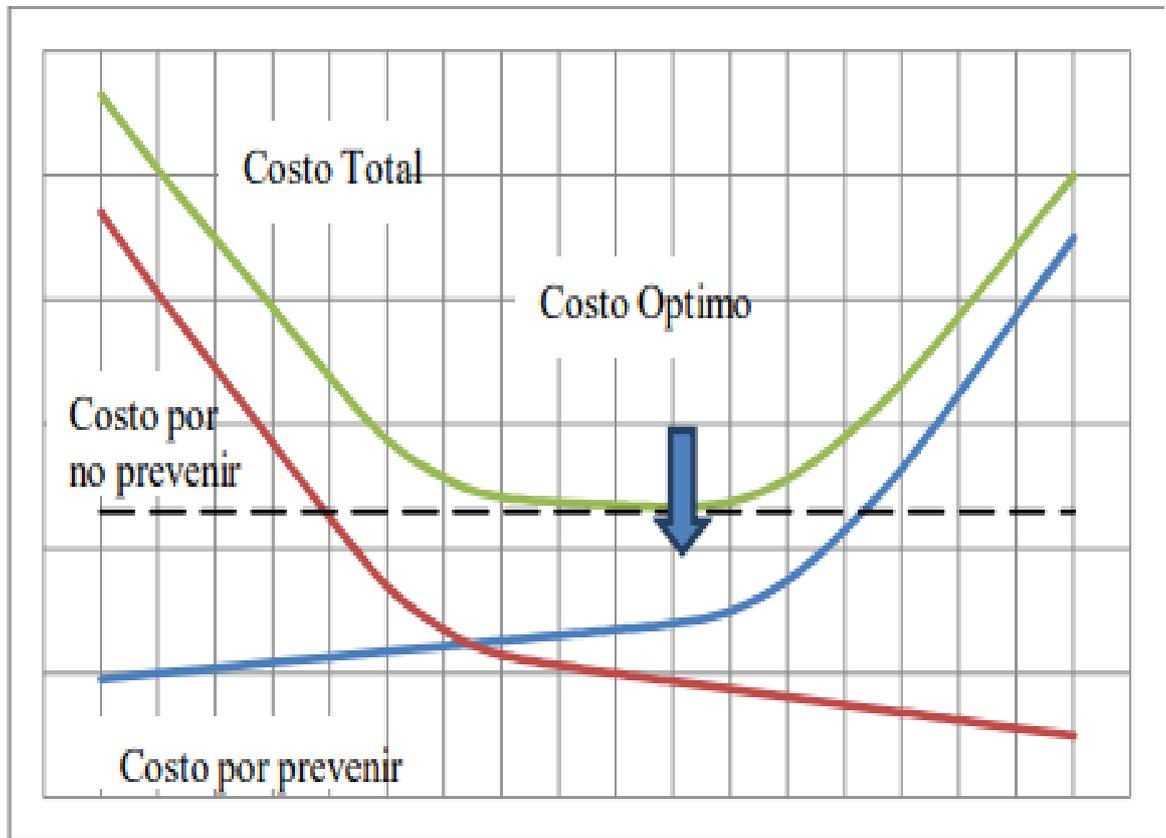


Figura 6.2: Esquema no favorable.
Fuente: (Garces, 2014)

Se puede tener un costo mayor, manteniendo las pendientes de los costos por prevenir y no prevenir iguales pero con signo contrario. Y a esto se puede llegar verificando las herramientas de gestión que agregan un alto valor e implementándolas mesuradamente ya que los costos por el mantenimiento correctivo deben de ser de caída a cero pero no a cualquier costo porque esto puede llevarnos a elevar el gasto (Garces, 2014).

6.1.1 Gastos por mantenimientos

Se indica los gastos por el Servicios de Monitoreo de Condición a continuación se establecen las condiciones económicas del servicio:

Descripción	Precio Unitario	Monto por Visita	
P-701A BOMBA AGUA ENFRIAMIENTO	USD 25,00	USD 400,00	
P-701B BOMBA AGUA ENFRIAMIENTO	USD 25,00		
P-701C BOMBA AGUA ENFRIAMIENTO	USD 25,00		
K-702A COMPRESOR FRICK DE AMONIACO	USD 25,00		
K-702B COMPRESOR FRICK DE AMONIACO	USD 25,00		
K-702C COMPRESOR FRICK DE AMONIACO	USD 25,00		
U-401C COMPRESOR DE FREON SABROE	USD 25,00		
P-601A BOMBA DE HIPOCLORITO	USD 25,00		
P-601B BOMBA DE HIPOCLORITO	USD 25,00		
P-601C BOMBA DE HIPOCLORITO	USD 25,00		
K-401C SOPLADOR DE CLORO	USD 25,00		
P-602B BOMBA DESPACHO HIPOCLORITO	USD 25,00		
P-103A BOMBA SALMUERA FILTRADA CORCORAN	USD 25,00		
P-103B BOMBA SALMUERA FILTRADA CORCORAN	USD 25,00		
K-701A COMPRESOR KAESER AIRE COMPRIMIDO	USD 25,00		
K-701C COMPRESOR KAESER AIRE COMPRIMIDO	USD 25,00		
De acuerdo al requerimiento del Cliente, se establece un plan de inspecciones Trimestrales:			
	Febrero:		USD 400,00
	Junio:	USD 400,00	
	Octubre:	USD 400,00	
	Total:	USD 1200,00	

Figura 6.3: costos por mantenimientos
Fuente: (Planta, 2018)

6.2 Posibles Impactos

Estos pueden ser:

6.2.1 Mejoras en la eficiencia de la maquina

Como resultado de la repotenciación en el sistema de mantenimiento predictivo le daremos una vida más extensa y útil a nuestros equipos instalados y resaltando su trabajo continuo para la producción constante.

6.2.2 Disminución de riesgos

Pensando siempre en la seguridad del personal que trabaja con los equipos de manera frecuente este mantenimiento predictivo evitara que les suceda alguna eventualidad y que su humanidad pudiera sufrir alguna lesión o daño grave y de muerte.

6.2.3 Alternativas del servicio

Es opcional y bajo análisis realizados optar por las consultorías externas o llamadas contratistas las cuales poseen los elementos el personal adecuado y se especializan en trabajos de mantenimientos, con los cuales se realizaría una programación adecuada por sus servicios dando así prolongación los sistemas rotatorios instalados con el respectivo análisis vibratorio.

6.2.4 Posibles repercusiones

Como posibles repercusiones del montaje del sistema de repotenciación del mantenimiento predictivo, podemos notar que la inversión inicial en la compra de equipos de la mayor fiabilidad y la más alta tecnología son de costos elevados, así mismo el personal adecuado para el manejo de las mismas que tendrían que contratarse y aun así capacitarlos en las innovaciones de nuevas tecnologías y métodos de medición, también capacitar al personal interno para manejo sub alterno de los equipos a usar.

6.3 Conclusiones y recomendaciones

6.3.1 Conclusiones

Por medio del Análisis de Vibraciones, pruebas con equipos de mediciones aplicadas a este método, determinamos que el mantenimiento Predictivo es recomendable usarlo previo, durante y aun después de cada proceso de producción, para tratar de evitar los fallos que por más diminutos o imprevistos, se presenten mediante la comparación y resultados arrojados por el análisis de las gráficas o espectros que se obtuvieron en aquel monitoreo y como datos nos muestra las fallas o problemas de desalineación, desbalanceo problemas de reajustes mecánicos, desgaste por roce , daños severos en los elementos rotatorios o rodamientos y sobre esfuerzo de la parte dentada entre engranajes de sujeción.

En el proceso de análisis de equipos rotatorios se optó por analizar desde las diferentes técnicas de mantenimientos basados en la metodología del mantenimiento predictivo, buscando como medio las diferentes e innovadoras tecnologías de las cuales se analizó los de más fácil acceso y de manejo cauteloso basándose en las funciones requeridas para dichos eventos, dando como resultado lo que se esperaba en estos análisis.

Este tipo de mantenimiento de la manera predictiva en cuanto a sus análisis de vibraciones, solo debe realizarse por personal con el debido conocimiento de las tecnologías aplicables y elementos de precisión a usarse en los análisis de los equipos rotatorios, para así tener la garantía de obtener los resultados plenamente certificados, de manera fiable y garantizados los cuales nos darán como consecuencia la vida extensa de equipos.

6.3.2 Recomendaciones

Es de plena importancia tener como opción primaria en una planta química dentro de los varios procesos que esta implementa tener en su programación de mantenimientos eventuales o primordiales el mantenimiento predictivo de la mano con en generalizado mantenimiento preventivo , lo cual les va a permitir de una manera muy provechosa y optima antelar los posibles paros de producción por fallas eventuales que pueden ser analizadas en función de su trabajo de manera continua sin detener el proceso, cualquiera que este sea dándonos como resultado la optimización de costos por mantenimientos y por la no producción de la empresa que generaría un margen de pérdidas a largo o mediano plazo.

Para poder realizar los análisis enfocados en las vibraciones, golpeteos, de manera termografía es de manera primordial tener los mejores equipos tecnológicos con los cuales vamos a detectar cualquier anomalía, pero con la mayor precisión, para esto en bienestar del personal y de la empresa en general es necesario capacitar a los técnicos que laboran dentro del área de mantenimiento con esto le facilitamos la labor de realizar los análisis respectivos y con ello el conocimiento de complementarse en otros análisis con diferentes parámetros relacionados con los efectos vibratorios .

Para no tener averías de manera catastróficas y de esa manera asegurar que el equipo tenga la condición de permanecer en buen estado y de esa manera dar por garantizado para lo que fue diseñado. A los mismos es recomendable realizarse un chequeo total de manera general con frecuencia dando así una mayor extensión de tiempo para su uso

Así mismo es necesario realizar una bitácora o historial de los análisis realizados para así determinar las frecuencias de daños más comunes en los diferentes equipos rotatorios, dándonos como resultado una pre alarma de las fallas que suelen presentarse en base a una estadística formulada por el historial de vibraciones y análisis asociados.

BIBLIOGRAFÍA

- Ticlavilca, J. (20 de febrero de 2016). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ:
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3657/Ticlavilca%20Rauz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Acuña Raga, E. (2016). Obtenido de
<https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/Tesis262.pdf>
- Aguilar et al. (2015). *Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad*. México: Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.
- Aldaz, L. (14 de mayo de 2015). "ANÁLISIS ESPECTRAL DE SEÑALES DE VIBRACIONES MECÁNICAS CAUSADAS POR DESALINEACIÓN COMO MÉTODO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN BOMBAS HIDRAULICAS". Obtenido de UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.892.4498&rep=rep1&type=pdf>
- Alvarez, E. (20 de febrero de 2016). "PROBLEMATICA DE LAS MEDICIONES DE". Obtenido de Universidad Austral de Chi:
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcia473p/doc/bmfcia473p.pdf>
- A-MAQ. (2005). *TUTORIAL DE VIBRACIONES PARA MANTENIMIENTO MECÁNICO*. A-MAQ S.A. Equipos de medición y análisis de vibraciones.
- Baquerizo, J. F. (2015). *Costos del Mantenimiento*. Universidad Tecnológica de Campeche.
- BARRETO, J. A. (2015). *DESARROLLO TECNOLÓGICO EN LA INDUSTRIA CLORO GAS. PERU*.
- Cervantes, G. (1 de agosto de 2015). *PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA MAQUINARIA DEL*. Obtenido de UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA TULA-TEPEJI:
<http://www.uttt.edu.mx/CatalogoUniversitario/imagenes/galeria/71A.pdf>

- CNEL EP. (s.f.). Obtenido de <http://www.cnelep.gob.ec/>
- Escobar, E. (2016). *Diferentes tipos de vibraciones mecánicas I*. Antioquia: SENA - CENTRO DE TECNOLOGÍA DE LA MANUFACTURA AVANZADA.
- Estevez, A. (3 de diciembre de 2015). *ESTUDIO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO*. Obtenido de universidad sevilla: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5309/fichero/memoria+pdf.pdf>
- Fernandez, A. (2017). *Manual Analisis de Vibraciones*. Obtenido de Power-MI: <https://power-mi.com/es/content/defectos-t%C3%ADpicos-en-rodamientos-y-su-identificaci%C3%B3n-espectral>
- Garces, M. (15 de ABRIL de 2014). *“OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN FUNCIÓN DEL COSTO “EN LA*. Obtenido de ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/1159/1/25T00154.pdf>
- García, M. P. (2017). *Vibraciones de Máquinas Rotativas; Análisis de Órdenes*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Garrido, S. G. (2015). *Ingeniería del mantenimiento*. Renovetec.
- Gonzalez, R. (5 de NOVIEMBRE de 2015). *“IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN ANALISIS DE VIBRACION*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE ORIENTE : <http://ri2.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/4345/2/TESIS.IM009G36.pdf>
- Gutierrez, D., & Serna, E. (20 de octubre de 2014). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE*. Obtenido de UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5624/621317G984.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hidalgo, N. (28 de octubre de 2014). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE OPERACIONES Y*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/3957/1/Dise%C3%B1o%20de%20Un%20Sistema%20de%20Operaciones%20y%20Mantenimie>

nto%20Para%20Maquinarias%20y%20Equipos%20Para%20Borsea%20S.pdf

IMEM. (18 de 12 de 2018). *Vibraciones en máquinas. Mantenimiento predictivo*. Obtenido de IMEM:

http://www.imem.unavarra.es/EMyV/pdfdoc/vib/vib_predictivo.pdf

Jairala , D. (2015). Obtenido de

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5155/1/T-UCE-0011-78.pdf>

Jasso, A. C. (2011). *IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA EMPRESA AGR-RACKEND*. Universidad Tecnológica de Tula Tepeji.

Lagla, R., & Lanche, P. (20 de Mayo de 2016). *DESARROLLO DE ESTÁNDARES DE TOLERANCIA DE DESALINEAMIENTO Y SU CONSUMO ENERGÉTICO DE MOTORES ELÉCTRICOS EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS VIBRACIONAL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO*". Obtenido de ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5179/1/25T00269.pdf>

Ligero, J. A. (2008). *Fundamentos de KBE (Knowledge Based Engineering)*. Escuela Superior de Ingenieros Departamento de Ingeniería Gráfica. Obtenido de Aplicación al diseño de engranajes de ejes paralelos con Catia v5.

Lopera, A. (2014). *Calculo de Transmisiones*. Quindio: REXON.

Lopez, E. (17 de julio de 2016). *El Mantenimiento Productivo Total Tpm*.

Obtenido de bogota:

<https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/Tesis262.pdf>

Lopez, J. (24 de Mayo de 2017). *Pronóstico de fallas en máquinas rotativas con base en modelos matemáticos*. Obtenido de Universidad Tecnológica de Pereira:

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7922/6203L864.pdf?sequence=1>

MAHLE. (28 de 01 de 2015). *Tipos de cojinetes*. Obtenido de Informaciones técnicas: <https://www.mahle-aftermarket.com/media/media-global-&>

europe/products-and-
services/engine_components/bearings/gleitlager-
einbauempfehlungen_es.pdf

- Marín, E. P. (2014). *LA MEDICIÓN Y EL ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN EL DIAGNOSTICO DE MÁQUINAS ROTATORIAS*. Cuba: CEIM - Innovación y Mantenimiento.
- Medicion, I. (25 de enero de 2014). *Medición, instrumentación y sitios de medición*. Obtenido de Medición, instrumentación y sitios de medición: <http://www.osso.org.co/docu/tesis/2003/vibracion/medicion.pdf>
- medidores, v. (18 de febrero de 2017). *catalogo tipos de medidores de vibracion*. Obtenido de iberica: <https://www.pce-iberica.es/Catalogo/catalogo-vibraciones.pdf>
- Mejía , J. (7 de septiembre de 2014). *ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN MOTORES ELÉCTRICOS ASÍNCRONOS*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0158_ME.pdf
- Montero, D., & Narvaez, J. (5 de enero de 2015). *DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA*. Obtenido de tesis chimborazo: <http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4205/1/25T00258.pdf>
- Moreno - García et al. (2014). *Diseño de un sistema de análisis temporal y espectral para detectar fallas por vibración en motores eléctricos*. Santander: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Moreno, L. (20 de marzo de 2016). *balanceo dimanico de equipos rotativos*. Obtenido de universidad autral de chile: <https://www.slideshare.net/Giovanny3185/balanceo-dinamico-de-sistemas-rotativos>
- Neita & Peña. (2014). *Principios básicos de la Termografía Infrarroja y su utilizacion como técnica para mantenimiento predictivo*. Floridablanca: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Nivelo, S., & Romero, D. (27 de Diciembre de 2014). *diagnóstico de maquinaria por vibraciones*. Obtenido de Preditecnio-Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca:

<http://www.preditecnico.com/2014/12/la-universidad-politecnica-salesiana-de.html>

- NSK. (19 de 12 de 2018). *TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RODAMIENTOS*. Obtenido de SICORIS-SA: <https://sicoris-sa.com/pdf/catalogos/nsk-rodamientos-catalogo-general-catalogo.pdf>
- Olarte & Botero. (2015). *TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA*. Pereira: Scientia et Technica Año XVI, No 45.
- Olarte, W. (2010). *ANÁLISIS DE VIBRACIONES: UNA HERRAMIENTA CLAVE EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Parra, J. (10 de noviembre de 2016). *Caracterización de síntomas vibratorios producidos por fallas*. Obtenido de Universidad de Concepción: http://repositorio.udec.cl/bitstream/handle/11594/2172/Tesis_Caracterizacion_de_sintomas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- PCE, M. (15 de febrero de 2016). *Instrumento de medicion vibratoria*. Obtenido de pce equipos de medicion: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-vibracion/vibrometro-pce-vt250.htm>
- Pérez & Bermejo. (2013). *Estudio de la vibración en baja frecuencia de motor eléctrico*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Pérez & Bermejo. (2014). *ESTUDIO DE LA VIBRACIÓN EN BAJA FRECUENCIA DE MOTOR ELÉCTRICO*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Planta, Q. (2018). *Planta de productos químicos*. Guayaquil: Quimipac.
- Preditec. (28 de 11 de 2018). *Mantenimiento Predictivo*. Obtenido de Análisis de motores eléctricos de inducción: <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/analisis-de-motores-electricos/>
- Quimpac , E. (2018). *Analiis vibratorios*. Guayaquil: Quimipac.
- Rivas, A. G. (2016). *Kimerius*. Obtenido de MOTORES DE TURBINA DE GAS: <http://kimerius.com/app/download/5780664555/Cojinetes.pdf>
- Rodriguez , m. (16 de marzo de 2015). *ANÁLISIS MODAL OPERACIONAL*. Obtenido de Trabajos y proyectos fin de estudio:

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3828/direccion/Im%C3%A1genes%252F>

Ruiz, C. (24 de 11 de 2018). *Elementos de Máquinas*. Obtenido de Transmisión por Correos:

<http://files.cesarruiz.webnode.com.co/200000095-1e5b7204f2/TransmisionPorCorreas.pdf>

Saavedra, P. (14 de 12 de 2018). *MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y MONITOREO SEGUN CONDICIÓN*. Obtenido de MaquinaVal:

http://www.maquinaVal.org.ar/images/descargables/MANTENIMIENTO_PREDICTIVO_MONITOREO_SEGUN_CONDICION.pdf

Sánchez, A. M. (2 de febrero de 2017). *TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. METODOLOGIA DE APLICACIÓN EN LAS ORGANIZACIONES*. Obtenido de univervdad catolica de colombia:

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15585/1/T%C3%89CNICAS%20DE%20MANTENIMIENTO%20PREDICTIVO.%20METODOLOGIA%20DE%20APLICACI%C3%93N%20EN%20LAS%20ORGANIZACIONES.pdf>

sisib.unmsm.edu, & sisib, e. (2016). Obtenido de

[http://sisib.unmsm.edu.pe/bibVirtualData/Tesis%20para%20marcaci%C3%B3n%20\(para%20Inform%C3%A1tica\)/2011/rivera_re/borrador/convertidas%20pdf/Capitulo%201.pdf](http://sisib.unmsm.edu.pe/bibVirtualData/Tesis%20para%20marcaci%C3%B3n%20(para%20Inform%C3%A1tica)/2011/rivera_re/borrador/convertidas%20pdf/Capitulo%201.pdf)

Solar, G. L. (2014). *Análisis de vibraciones para el mantenimiento predictivo*. Técnica Industrial 255.

Steven, D., & Kingsiño, S. (12 de septiembre de 2015). *ADQUISICIÓN DE VIBRACIONES MECÁNICAS DE UN MOTOR EN*

FUNCIONAMIENTO USANDO LABVIEW. Obtenido de Espol:

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/19459/2/TESES.docx>

Súnico, M. R. (2015). *ANÁLISIS MODAL OPERACIONAL: TEORÍA Y PRÁCTICA*. Sevilla: ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS - Camino de los Descubrimientos.

Tandalla, D. (12 de enero de 2014). *ANÁLISIS VIBRACIONAL PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO*

PREVENTIVO Y PREDICTIVO. Obtenido de ESCUELA SUPERIOR

POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1880/1/25T00168.pdf>

Torres, F. (17 de 12 de 2018). *Análisis de vibraciones e interpretación de datos*. Obtenido de Guemisa:

http://www.academia.edu/18707432/An%C3%A1lisis_de_vibraciones_e_interpretaci%C3%B3n_de_datos

Trujillo, M. (2014). *Análisis de vibraciones en auxiliares de MACI**. Zaragoza: universidad de Zaragoza.

Victor Manuel. (2017). *EL ANALISIS DE VIBRACIONES EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO*. Barcelona: Universidad Nororiental Privada.

Villegas, J. (03 de junio de 2016). *“PROPUESTA DE MEJORA EN LA GESTIÓN DEL ÁREA DE*. Obtenido de FACULTAD DE INGENIERÍA Y COMPUTACIÓN:

file:///C:/Users/Usuario/Downloads/VILLEGAS_ARENAS_JUA_OPT.pdf

White, G. (2015). *Introducción al Análisis de Vibraciones*. 300 TradeCenter, Suite 4610, Woburn, MA 01801 U.S.A: AzimaDLI.

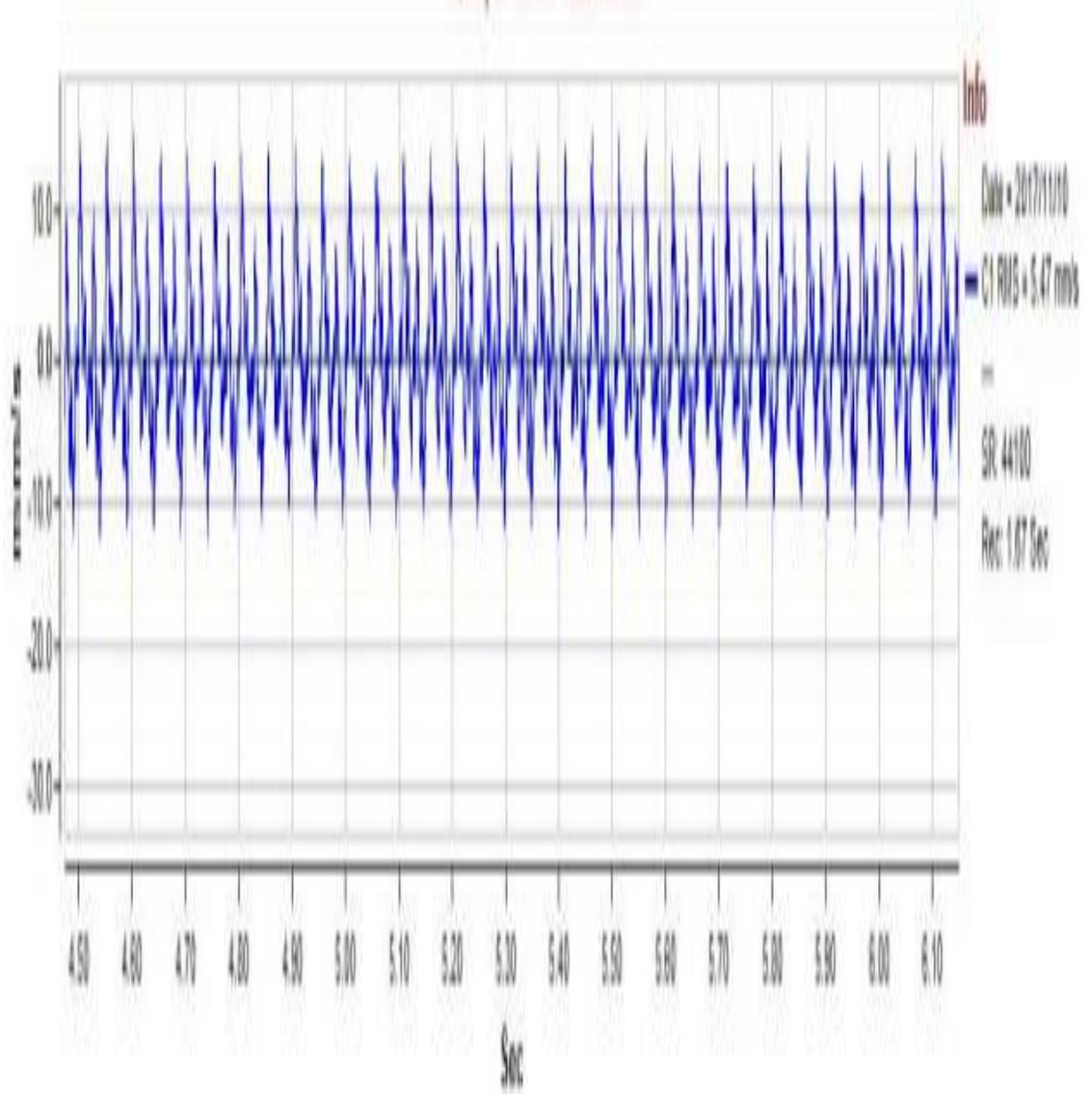
zambrano, j. (2016). Obtenido de

<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/606/1/96332.pdf>

ANEXOS

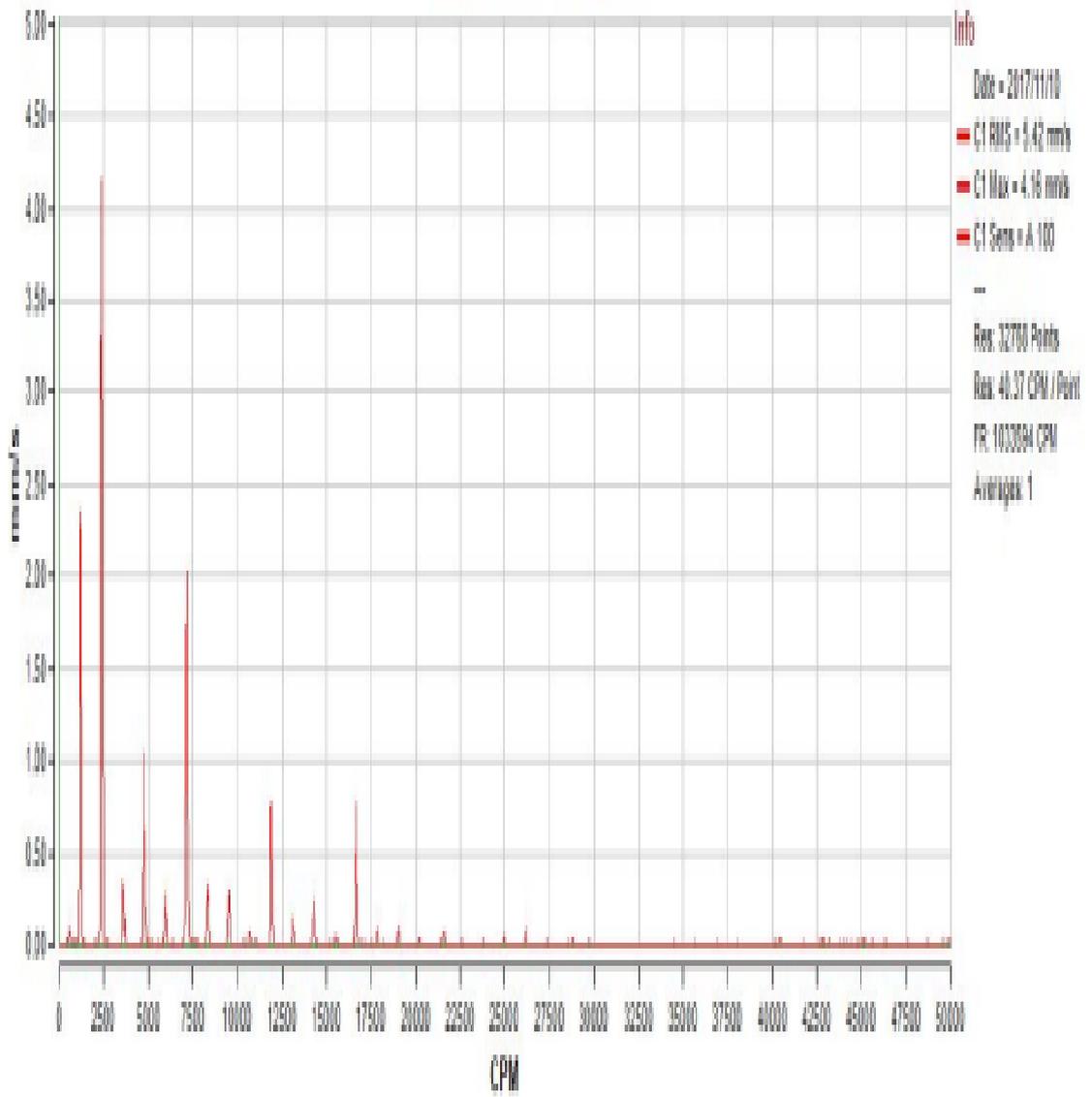
Anexo 1. Espectro correspondiente al motor lado acople

Quimac - Freon - Sabroe - 2H



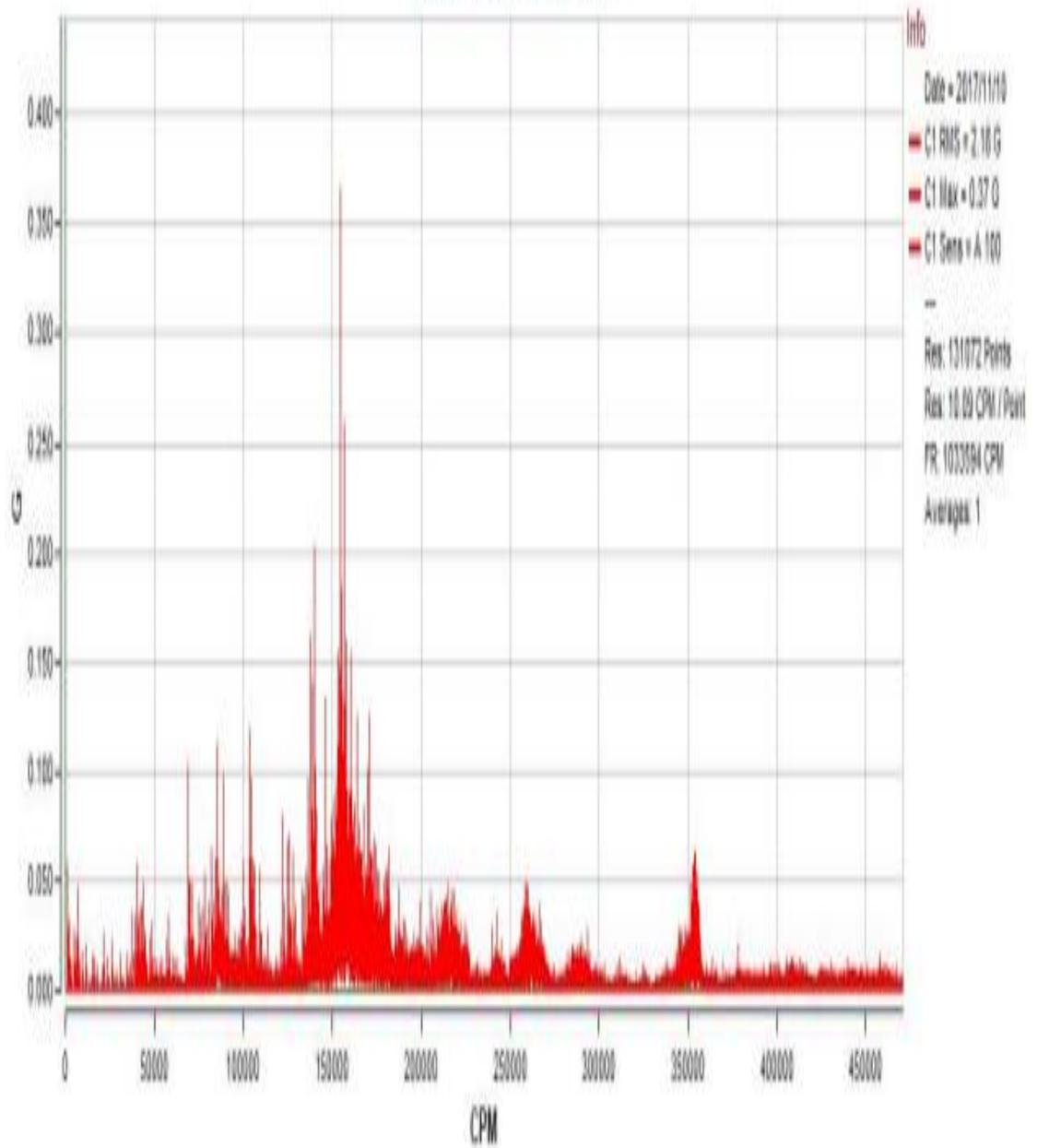
Anexo 2. Espectro de falla que advierte un posible desalineamiento

Quimpac - Freon - Sabroe - 2HFFT



Anexo 3. Espectro correspondiente al compresor lado libre, evidencia de ligera fricción

Quimpac - Freon - Sabroe - 4H FFT





DECLARACIÓN

Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Clemente Douglas Espinoza Ronquillo** con C.C:**0923874127** autor del Trabajo de Titulación: **Repotenciación del mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración enfocado a equipos rotatorios usados para el proceso de producción de una planta química ubicada en Guayaquil-Ecuador** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 14 de marzo del 2019

Clemente Douglas Espinoza Ronquillo

C.C: 0923874127



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Repotenciación del mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración enfocado a equipos rotatorios usados para el proceso de producción de una planta química ubicada en Guayaquil-Ecuador		
AUTOR(ES)	Espinoza Ronquillo, Clemente Douglas		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Gallardo Posligua, Jacinto M.A.E.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico Mecánica		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Eléctrico Mecánica con mención en Gestión Empresarial Industrial		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	14 de Marzo del 2019	No. DE PÁGINAS:	137
ÁREAS TEMÁTICAS:	Mantenimiento industrial, Máquinas eléctricas, Producción.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Rotatorios, Equipos, Análisis, Vibratorios, Predictivo, Producción, Medición.		

El actual trabajo tiene como objetivo principal realizar el respectivo levantamiento de información y diagnósticos actuales a los diferentes equipos rotatorios en base a los análisis vibratorios. Repotenciando así el mantenimiento predictivo para conocer e identificar las fallas más comunes en los equipos rotatorios ocasionados por, malos alineamientos, golpeteos por desgastes, temperaturas inadecuadas, engranajes en posiciones no correctas. También Como es necesario tener claros los conceptos básicos asociados con vibraciones, la secuencia de medición, espectros y diagramas vibratorios en cada una de ellas y el comportamiento analítico vibratorio de los diferentes casos por fallas. Por otra parte realizar el debido estudio económico y posibles impactos que encierran los márgenes de

conveniencia donde se plantea los costos por los equipos de adquisición, personal con conocimientos amplios en las pruebas de los equipos y capacitación del personal de mantenimiento sobre la repotenciación del mantenimiento predictivo con los aparatos apropiados. Los diferentes tipos de normas y de qué manera son implementadas en los diferentes equipos que se encuentran asociados al proceso continuo de producción. Se considera una revisión de los beneficios y probabilidades de manera desfavorable. Como último evento se contempla la aplicación de la repotenciación mantenimiento predictivo en el sistema, tanto a los espectros, graficas estadísticas de procesos con un historial vibratorio y con ello las consideraciones que se pueden optar a la hora de aplicar los mantenimientos debidos de manera predictiva.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593982954618	E-mail: dou88er@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Ing. Orlando Philco Asqui	
	Teléfono: +593-9-80960875	
	E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
No. DE REGISTRO (en base a datos):		
No. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		