

**TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. METODOLOGIA DE  
APLICACIÓN EN LAS ORGANIZACIONES**

**ANA MARÍA SÁNCHEZ GÓMEZ  
538377**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
ALTERNATIVA VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL  
BOGOTÁ  
2017**

**TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. METODOLOGÍA DE  
APLICACIÓN EN LAS ORGANIZACIONES**

**ANA MARÍA SÁNCHEZ GÓMEZ  
538377**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniera Industrial**

**Directora  
Flor Nancy Díaz Piraquive  
Economista**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
ALTERNATIVA VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL  
BOGOTÁ  
2017**



## Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



**Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Bogotá, 20, noviembre, 2017**

## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una investigación documental sobre las distintas técnicas de mantenimiento predictivo, utilizadas en la actualidad dando como resultados el análisis de las vibraciones, de termografía, de ultrasonido y de aceites. Mediante estas técnicas se pretende efectuar una serie de mediciones no destructivos, para anticiparse a una falla, debido a que cada día el proceso 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 fallo mediante el seguimiento del funcionamiento de la máquina.

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 implementación en la organización, por causa de los equipos especializados para la implementación, por eso toma tanta importancia el diseño de implementación en la organización.

Mediante los resultados obtenidos de la investigación documental se realiza una metodología de implementación en las organizaciones, en la cual se establecen los parámetros que las organizaciones deben tener en cuenta para poder realizar una implementación 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 de la mejor manera posible, cumpliendo con los requisitos que estas exigen.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. GENERALIDADES	13
1.1 ANTECEDENTES	13
1.1.1 Evolución del mantenimiento en la industria a nivel global.	13
1.1.2 Gestión del mantenimiento industrial.	16
1.1.3 Pasos para la implementación de un sistema de mantenimiento en la industria.	17
1.1.4 Tipos de mantenimiento.	21
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.2.1 Descripción del problema.	23
1.2.2 Formulación del problema.	24
1.3 OBJETIVOS	24
1.3.1 Objetivo General.	24
1.3.2 Objetivos Específicos.	24
1.4 JUSTIFICACIÓN	25
1.5 DELIMITACIÓN	26
1.5.1 Espacio.	26
1.5.2 Tiempo.	26
1.5.3 Limitaciones.	26
1.6 MARCO REFERENCIAL	26
1.6.1 Marco conceptual.	26
1.6.2 Marco teórico.	28
1.6 METODOLÓGIA.	30
1.6.1 Tipo de estudio.	30
1.6.2 Fuentes de información.	31
1.7 DISEÑO METODOLÓGICO.	31
2. REVISIÓN DOCUMENTAL	32
2.1 ANÁLISIS DE VIBRACIONES.	32
2.1.1 Definiciones para análisis de vibraciones.	32
2.1.2 Clasificación del nivel de vibración de las máquinas.	33
2.1.3 Principales causas de vibración de la máquina.	35
2.1.3 Análisis de los resultados.	35
2.1.4 Fallas detectadas con el mantenimiento predictivo.	37
2.1.5 Sensores de medición.	38
2.2 ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍA.	40
2.2.1 Definiciones para analisis de mantenimiento predictivo.	40
2.2.3 Principio de termografía.	41
2.2.4 Herramientas de medición termográfica.	41
2.2.5 Análisis de resultados.	43
2.2.6 Aplicaciones.	45

	<b>pág.</b>
2.3 ANÁLISIS POR ULTRASONIDO.	45
2.3.1 Definiciones para análisis por ultrasonido.	46
2.3.2 Límites de audibilidad.	47
2.3.4 Subdivisión por durabilidad del sonido.	47
2.3.5 Herramienta de medición.	48
2.3.6 Aplicaciones.	49
2.4 ANÁLISIS DE ACEITE.	50
2.4.1 Fundamentación análisis de aceite.	50
2.4.2 Principales formas de lubricación.	51
2.4.3 Contaminantes más comunes en el aceite.	52
3. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	 55
3.1 PASOS DE IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	55
3.1.1 Análisis del sistema bajo estudio.	55
3.1.2 Selección adecuada de parámetros.	55
3.1.3 Recolección de datos.	55
3.1.4 Análisis e interpretación de los datos.	56
3.1.5 Evaluación del estado del equipo.	56
3.1.6 Generación de avisos y tomas de decisiones.	56
3.1.7 Ordenes de trabajo y retroalimentación.	56
3.2 ALTERNATIVAS DE IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.	 58
3.2.1 La primera alternativa tercerización.	58
3.2.2 Segunda alternativa la compra de equipos.	58
3.2.3 Tercera alternativa tercerización y compra de equipos.	59
3.3 CALCULO DE LA FRECUENCIA DE INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.	 60
3.3.1 Factor de costo.	60
3.3.2 Factor de falla.	61
3.3.3 Factor de ajuste.	61
4. APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LA ORGANIZACIÓN.	 62
4.1 HERRAMIENTA PARA IDENTIFICAR PERDIDAS POR INDISPONIBILIDAD	62
4.2 ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA ORGANIZACIÓN.	 63
4.2.1 Definición de objetivos.	63
4.2.2 Evaluación de factibilidad.	63
4.2.3 Establecimiento de la estrategia.	63
4.2.4 Planeación de las actividades.	64
4.2.5 Establecer un cronograma de actividades.	64
4.2.6 Designación de responsables.	65

	<b>pág.</b>
4.2.7 Ejecución del mantenimiento predictivo en la organización.	65
4.2.8 Análisis de la información suministrada por las técnicas de mantenimiento implementadas.	65
4.2.9 implementación de la acción correctiva pertinente.	65
4.3 INDICADORES DE GESTIÓN EN LA ORGANIZACIÓN.	67
5. CONCLUSIONES	68
6. RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFIA	70

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Taxonomía de la conservación industrial	29
Figura 3. Principales causas que provocan vibraciones en la máquina	35
Figura 4. Relación frecuencia amplitud	37
Figura 5. Criterios de referencia para el análisis de vibraciones.	38
Figura 6. Imagen termográfica	42
Figura 7. Tabla de clasificación de falla eléctricas	43
Figura 8. Procesamiento de la señal infrarroja	43
Figura 9. Termograma	44
Figura 10. Aplicaciones de termografía	45
Figura 11. Sonido continuo y por pulsos graficado vs tiempo	48
Figura 12. Diseño interno del detector ultrasónico	49
Figura 13. Pasos para la implementación del mantenimiento predictivo	57
Figura 14 Plan de ejecución en las organizaciones del mantenimiento predictivo	66

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Clasificación de máquinas por nivel de vibración	33
Cuadro 2. Clasificación severidad de vibraciones	34
Cuadro 3. Sensores para el análisis de vibraciones	39
Cuadro 4. Límites de audibilidad	47
Cuadro 5 Clasificación del principio ABC	62

## INTRODUCCIÓN

La evolución de la implementación del mantenimiento en los procesos productivos da a conocer la necesidad de las organizaciones de garantizar niveles mínimos de pérdidas además de la excelente calidad. A medida que evoluciona la industria se ven implicados dinamismos y mejoras a los procesos, con el fin que busca toda organización de maximizar la utilización de los recursos, la industria observó que el mantenimiento afecta la productividad de los recursos, debido a que los equipos y/o máquinas deberán proporcionar seguridad, y disponibilidad dentro de las horas productivas.

Se puede afirmar que no hay fecha exacta desde que se empezó a implementar el mantenimiento, debido a que desde la época del hombre primitivo, con el fin de mantener sus herramientas de trabajo, decidía cuidarlas, conservarlas y solucionarles o reemplazarles los materiales que necesitaba para su funcionamiento, desde ese momento se puede decir que empieza la implementación del mantenimiento, dando como resultado la importancia de su aplicación, según Salas<sup>1</sup>.

Los trabajos de mantenimiento se llevan a cabo para mantener el valor de los activos físicos, por eso se hace necesario que exista una planificación del mantenimiento que proporcione la eficiencia de las máquinas, el correcto funcionamiento del sistema de producción, además de verificar la vida útil de las máquinas. La primera etapa fue antes de los años cincuenta en la cual el mantenimiento era reactivo, luego en la segunda generación a partir de los cincuenta, se trataba de planear los seguimientos como actividades complementarias. En la tercera etapa del mantenimiento surge la implementación de tecnologías avanzadas, las cuales estarán en la capacidad de proporcionar la información.

La etapa del mantenimiento en la cual se encuentra actualmente, es considerada como mantenimiento predictivo, el cual es un conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico, todo esto por medio de diferentes monitorizaciones implicadas en el proceso. Aunque represente una mayor inversión inicial, se evidencia que las variables que contempla, permite monitorear y pronosticar la posibilidad que una de estas falle, permitiendo una intervención correcta e inmediata como consecuencia de su detección. Debido a que este tipo de mantenimiento se basa en la medición de diferentes parámetros como lo son la presión, temperatura, vibraciones y ruido entre otros, la instrumentación necesaria

---

<sup>1</sup> UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS. Propuesta de mejora del programa de mantenimiento preventivo actual en las etapas de pre hilado e hilado de una fábrica textil [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 13 junio, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/578614/2/Tesis+Mario+Salas+Maceda.pdf> >.

hace referencia al uso de última tecnología, garantizando el más mínimo error o fallo que se pueda detectar, mediante la implementación de diferentes técnicas de mantenimiento predictivo.

A continuación se presenta una investigación sobre el mantenimiento predictivo específicamente las técnicas implementadas para su aplicación en la organización, inicialmente se realiza una búsqueda en las bases de datos para encontrar que tanto ha avanzado la investigación de este tipo mantenimiento y que técnicas se implementan hasta la fecha en los últimos 10 años, debido a que se busca tener el conocimiento más cercano a la fecha, se realiza un filtro donde se descarten los documentos que no aporten a la información objetivo, mediante la lectura de los documentos se establecen las técnicas implementadas, sus características, herramientas y formas de aplicación, se realiza una recopilación cronológica de este tipo de información, la cual va a dar el contenido para consolidar la revisión de literatura, de los archivos se saca la información relevante en cuanto a las técnicas de mantenimiento predictivo, se identifica la información complementaria y se estructura de manera que sean claras las diferentes técnicas de mantenimiento predictivo. Por último se trabaja mediante la información obtenida en la metodología de implementación de este tipo de mantenimiento en las organizaciones así como la ejecución en las mismas para que se obtenga el resultado objetivo de la aplicación de este tipo de mantenimiento en las organizaciones que al final de todo se debe asegurar la aplicación de manera correcta y con equipos, recursos tanto físicos como humanos capaces de realizar el análisis y el diagnóstico de la máquina de acuerdo a los resultados obtenidos basados en las diferentes técnicas de aplicación.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 ANTECEDENTES

**1.1.1 Evolución del mantenimiento en la industria a nivel global.** A partir de la habilidad del pensamiento del hombre, se ejecuta con los Homo Sapiens trabajo de mantenimiento correctivo, debido a que desde que se desarrollan herramientas y utensilios para su supervivencia, se evidencia la manera de corregir imperfecciones en sus técnicas y con esto, la evolución de ellas.

Según Medina<sup>2</sup> durante la primera revolución industrial donde se ejecutaban los procesos de forma manual y con el desarrollo que esta época tuvo para la producción, se veía en primera instancia la importancia del hombre en el proceso productivo y no se le prestaba importancia a las máquinas que ellos empleaban, es por esto que los mismos empleados eran los encargados que una vez se presentara un fallo, en la máquina, de repararla para seguir con la producción, implementando entonces el mantenimiento tipo correctivo. Pero surge la necesidad de mejorar esta situación, puesto que representaba tardanzas de gran escala de tiempo, exigían que no solo un especialista revisará la máquina y detectara cual era la falla, sino que serían varios los implicados para poder identificar donde se generaba el fallo, además del tiempo que se necesitaba para conseguir las piezas averiadas o diseñar las piezas para luego poder ser reemplazadas y volver a poner en funcionamiento la máquina, así que con esta necesidad Eli Whitney desarrolla la idea de tener partes intercambiables como lo implementaba con sus máquinas aldoneras con el fin de no parar la producción.

Seguido de esto aparece Federick W Taylor quien al observar la manera como la industria crecía y se proliferaban las fábricas, sin ningún tipo de control interno, que llevaba al no cumplimiento de lo esperado en la fabricación, dio base para la Segunda Revolución Industrial, donde se evidenciarían entonces el interés por el estudio del trabajo y la administración de los recursos dentro de las organizaciones el estudio científico del trabajo, mejorando de manera oportuna la productividad al implementar los cuatro principios, que darían un giro importante a como se desarrollaba el trabajo en esa época, además de la implementación de los principios del trabajo que estaban encaminados a alcanzar la mayor eficiencia posible.

Henry Ford quien viene después del trabajo que había desarrollado Taylor, identifica que los bienes de alta calidad de la industria no eran tan demandados,

---

<sup>2</sup> TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DEL ORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO TESOEM. Administración del mantenimiento [en línea]. La Paz: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.tesoem.edu.mx/alumnos/cuadernillos/2009.001.pdf>>.

debido a los altos costos que conseguirlos implicaba, es por esto que establece la producción industrial de manera masiva, para así poder reducir los costos y que de esa manera se adquiriesen los productos por la mayoría de personas.

Pero aun así se seguía implementando el mantenimiento correctivo en la industria, es donde Albert Ramond y asociados forman una estrategia en la cual no se implementará al personal de producción sino a unas personas encargadas del mantenimiento. Se presentó luego la primera guerra mundial, en donde se exigía a la producción la mayor eficiencia en sus procesos debido a la demanda de productos luego de este suceso, entonces en este momento se separa un poco el proceso de mantenimiento correctivo, pues se implementan labores de prevención de las maquinas que no se podía permitir que fallaran, y nace el mantenimiento preventivo.

Luego de la primera Guerra Mundial se desarrollaría diferentes herramientas que ayudarían entonces a la administración científica del trabajo, Fayol desarrolla el proceso administrativo de la administración con cinco elementos, planeación, organización, integración, ejecución y control, como elementos integrados, después de esto Walter A. Shewhart desarrolla lo que se conoce como el Control estadístico de Calidad (SQC) y desde entonces se adoptarían estas herramientas estadísticas y junto con Deming trabajarían en conjunto. Joseph Juran tiempo después desarrollaría la regla 80/20 que permitía establecer prioridades en las actividades de mayor influencia a esta herramienta, se le conoce como "Principio de Pareto".

Llega la Segunda Guerra Mundial y junto con ella cambios en la industria, se abandona el SQC, se sistematiza el mantenimiento preventivo, y se crea la Sociedad Americana de Control de Calidad, el mantenimiento preventivo se seguía implementando sin resultados satisfactorios, Japón queda fuertemente afectado por la Segunda Guerra Mundial, así que estableció un programa de especialistas donde se dio lugar a la tercera Revolución industrial, se aplica el ciclo PHVA, la industria en Estados Unidos acepta el termino de mantenimiento preventivo MP, enfocado en la calidad y no solo en la máquina.

Se aplica después de esto, nuevas técnicas de probabilidad basada en supuestos Wallodi Weidull, se implementa el concepto de mantenimiento centrado en la confiabilidad por parte de Air Transport Association, Kaoru Ishikawa autor del diagrama Ishikawa, el cual desarrolla círculos de calidad, y se obtienen resultados excelentes en cuanto a calidad y productividad.

Se desarrolla el sistema Poka-Yoke, a "prueba de errores" asegurando la vida humana y la calidad del producto y servicio brindado por las máquinas; cada solución de problemas traía consigo una manera de pensar desordenada por tal motivo surge RCA análisis causa raíz por Kepner Tregoe, años después se desarrolla el programa GUÍA-MSG-1 por Stanley Nowlan y Howard Heap.

Durante el desarrollo de la tecnología y la implementación de computadores en la industria se crea el Software Sistema Computarizado para la Administración del Mantenimiento CMMS, Se crea el Mantenimiento Productivo Total TPM integrando el personal de la empresa para dejar de lado la disputa entre la producción y mantenimiento por pérdida de aprovechamiento del personal, el TPM es creado por Seiichi Nakajima.

Debido al desarrollo del Mantenimiento centrado en la Confiabilidad se desprendieron la Optimización del Mantenimiento Planificado PMO, el Enfoque hacia la confiabilidad RCM y enfoque hacia los costos PMO. John M. Mourbray mejora el RCM generando como versión RCM 2. Hiroyuki Hirano presentó las 5 eses conocidas actualmente con el fin de optimizar los recursos de las organizaciones, y por último actualmente se desarrolla una filosofía de conservación enfocada a la preservación y mantenimiento. A continuación se presenta un resumen de la historia del mantenimiento a través de las generaciones que se han presentado, según Gonzalez<sup>3</sup>.

Tabla 1. Generaciones del mantenimiento en la historia

Primera generación	Medios	Reparar en caso de avería
	Objetivos	Reparar en caso de avería
Segunda generación	Medios	Revisiones cíclicas
		Sistemas para la planificación y control de trabajo
		Informatización
	Objetivos	Mayor disponibilidad de la planta Mayor duración de los equipos y fiabilidad
Tercera generación	Medios	Condition monitoring
		Diseño para la fiabilidad y mantenibilidad
		Estudio de análisis de riesgo
		Sistemas expertos
		Descentralización de los sistemas de información
		Análisis de la causa-efecto de los fallos
		Participación
	Objetivos	Mayor disponibilidad y fiabilidad
		Mayor seguridad
		Mejor calidad de los productos y servicios No deteriorar el medio ambiente Mayor contención o reducción de los costes

Fuente. El Autor.

<sup>3</sup> TECNICA8-ELECTROMECHANICA. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado [en línea]. La Plata: El Autor [citado 25 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://files.tecnica8-electromecanica.com/200001528-98ba999b41/Teoria-y-Practica-Del-Mantenimiento-Industrial-Avanzado.pdf> >.

**1.1.2 Gestión del mantenimiento industrial.** El Mantenimiento en una empresa de acuerdo con Porter (1985) es la parte activa de las operaciones de la empresa, teniendo una vital importancia dentro de esta al igual que otras áreas como: producción, recursos humanos, calidad, ventas, mercadotecnia, finanzas, etc. Sin un adecuado mantenimiento se ve mermado el crecimiento del negocio, reflejado en otras áreas. Hoy en día, la empresa ya no es vista como un edificio con divisiones internas que separan las actividades de cada área, sino como un todo en constante movimiento que forma parte de una cadena productiva, conformada por participantes internos y externos enfocados hacia el objetivo de satisfacer al cliente, entregando productos y servicios de calidad en el menor tiempo y a un bajo costo. Al analizar el comportamiento de la producción y los problemas que se generan en los procesos y sistemas, se llegan a encontrar administraciones deficientes, conflictos entre las diversas áreas administrativas y productivas y en muchas ocasiones cuellos de botella en las líneas productivas. Como resultado aparecen efectos negativos relacionados con las variables que afectan directamente el desempeño de la empresa.

- La Eficiencia en el proceso de producción.
- Los Costos de producción.
- La Calidad del producto y el ritmo de trabajo.
- La Confiabilidad de la empresa (cumplimiento de contratos).

Según Galván<sup>4</sup> estas variables están relacionadas directamente con las actividades de operaciones. Por ello dentro de las operaciones y los objetivos principales del mantenimiento busca cumplir con.

- Optimizar la disponibilidad del equipo productivo y Recursos humanos.
- Disminuir los Costos de mantenimiento.
- Maximización de la Vida útil de los activos.

La gestión mantenimiento es un proceso sistemático donde se deben planear acciones ayudadas por procedimientos que lleven una secuencia lógica a fin de conseguir confiabilidad y disponibilidad de los objetos a mantener. A partir de esto el objetivo fue implantar en procesos productivos las nuevas tendencias de mantenimiento partiendo del Mantenimiento Productivo Total y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, que en proceso de optimización se obtiene el Mantenimiento Clase Mundial. La gestión mantenimiento dentro de cualquier organización debe permitir la retroalimentación o evaluación de esta, ya que partiendo de esto se puede concebir medidas para el mejoramiento continuo,

---

<sup>4</sup> REPOSITORIO DIGITAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA-UNAM. Análisis de la implementación del mantenimiento productivo total (TPM) mediante el modelo de opciones reales [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 30 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5393/Tesis%20.pdf?sequence=1>>.

además ayuda a optimizar los recursos y reduce costos por paradas no programadas, factor que afecta en gran medida la productividad.

“El gerenciar el mantenimiento es una labor compleja, donde los resultados se ven reflejados en la calidad de los trabajos”<sup>5</sup>. El recurso humano juega un papel importante en el mantenimiento, es por ello que hay que capacitarlos de forma que se sientan comprometidos e involucrados con la finalidad de ser consistentes, contundentes y en la mayor parte, efectivos.

Ante la realidad de los parques industriales así como la cultura y la razón de ser de las organizaciones, se hace necesario que a partir de las nuevas tendencias tal como lo son el mantenimiento productivo total, el mantenimiento centrado en confiabilidad y el mantenimiento clase mundial que han surgido y han abarcado el mundo, en su gran parte se debe ser originarios e implantar modelos sistémicos de gestión propios, tal como la tendencia sistemática del mantenimiento en la que se basa la autora de este documento, Según Zambrano<sup>6</sup> los Pasos para la implementación de un sistema de mantenimiento en la industria, se componen de los pasos para efectuarlo en la organización.

**1.1.3 Pasos para la implementación de un sistema de mantenimiento en la industria.** En el modelo sistémico presenta una serie de pasos donde cada uno de ellos es un paso para la implantación de la gestión del mantenimiento. Además abarca todo lo relacionado con planificación, programación, registro, seguimiento, control y evaluación de la organización, los cuales se presentan a continuación.

**1.1.3.1 Conocimiento del Sistema Productivo.** El conocimiento del sistema productivo abarca conocer el entorno donde se deberá desenvolver la gestión del mantenimiento, para ello se debe tener información general tal como: productos generados, proceso productivo, jornada de trabajo, y organización general del sistema productivo.

---

<sup>5</sup> REVISTAVIRTUALPRO. Proceso de implantación de las nuevas tendencias de mantenimiento en procesos productivos [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL <https://www.revistavirtualpro.com/descarga/bases-para-implementar-un-programa-de-mantenimiento-predictivo-caso-de-estudio>>.

<sup>6</sup> REVISTAVIRTUALPRO. Proceso de implantación de las nuevas tendencias de mantenimiento en procesos productivos [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL <https://www.revistavirtualpro.com/descarga/bases-para-implementar-un-programa-de-mantenimiento-predictivo-caso-de-estudio>>.

**1.1.3.2 Conocimiento de la organización mantenimiento.** Una vez conocido el sistema productivo se debe ir al área objeto de estudio para comenzar a visualizar la situación en la que se encuentra inmersa, es de preferencia realizar diagnósticos cualitativos y cuantitativos, con el fin de conocer y corregir los problemas concernientes a la función mantenimiento, permitiendo descubrir las actividades que aún no han sido desarrolladas eficazmente. Este diagnóstico servirá como referencia para el mejoramiento de la situación actual.

**1.1.3.3 Desagregación de los objetos.** Los objetos o sistemas se encuentran constituidos por partes que permiten su funcionamiento, es así como además de conocer la cantidad de objetos existentes se debe profundizar más para que se pueda realizar el mantenimiento de forma detallada y completa al todo, ya que si falla una de sus partes se puede paralizar completamente o trabajar de forma deficiente, siendo esta la razón principal de realizar la desagregación de los equipos. Esta información permite una adecuada logística de materiales, ya que si se conocen las partes a utilizar con sus características, más fácil será su localización.

**1.1.3.4 Sistema de Codificación.** Una vez levantada la información del inventario e identificada cada una de las partes que componen el todo de un objeto, se deben codificar los equipos y sus componentes y no solo de estos, sino también las herramientas, equipos, instrumentos, materiales y repuestos, a fin de facilitar su ubicación dentro del sistema productivo. Una forma sencilla es, desglosar el código de acuerdo a. planta, proceso, línea de producción, equipo, subsistema y componente. Se debe diseñar un sistema con un lenguaje sencillo, que permita identificar a los objetos de forma clara y rápida. Este código puede ser una combinación alfanumérica.

**1.1.3.5 Registro de Información Técnica.** Una vez obtenido el inventario y la codificación se debe registrar la información técnica de los objetos. En el registro detallado se deben resaltar las características más importantes de dicho objeto a fin de tener un mayor conocimiento para facilitar su ubicación ante la presencia de fallas o acciones de mantenimiento.

**1.1.3.6 Índice de Instrucciones Técnicas.** Cada uno de los objetos inventariados, codificados y registrados debe poseer una serie de instrucciones técnicas de mantenimiento que pueden ser de mantenimiento rutinario y/o programado. Existen dos tipos de fichas de Instrucciones técnicas, una donde se listan todas las instrucciones técnicas para todos los equipos, destacándose que estas instrucciones deben ser generalizadas para que puedan ser utilizadas por más de un objeto y la otra es la lista de instrucciones técnicas para cada uno de los equipos.

**1.1.3.7 Equilibrio de la Programación.** Una vez obtenida la información anterior se procede a efectuar la programación del mantenimiento rutinario, programado y/o circunstancial. El objetivo de la programación de mantenimiento es el de señalar la periodicidad de la realización de las instrucciones técnicas. En el mantenimiento programado los programas abarcan periodos de un año, en el rutinario hasta semanales y en circunstancial como no se tiene una fecha fija de arranque se debe hacer el programa para un ciclo de funcionamiento. Para realizar el equilibrio de la programación se debe calcular la semana básica en la cual se comienzan a ejecutar las instrucciones técnicas para el mantenimiento de los equipos y a partir de allí equilibrar todas las instrucciones técnicas de todos los objetos. La forma de realizar este paso del modelo puede depender de cada proceso, en esta investigación se utilizó una técnica creada por los autores.

**1.1.3.8 Cuantificación de Personal.** Una vez obtenida la programación de las actividades de mantenimientos y de los diferentes chequeos se tienen los datos necesarios para cuantificar el personal necesario para ejecutar las acciones de mantenimiento mediante parámetros matemáticos establecidos al igual que para el punto anterior. La forma de realizar este paso del modelo puede depender de cada proceso, en esta investigación se utilizó una técnica creada por los autores.

**1.1.3.9 Lista De Acciones De Mantenimiento.** Este paso surge de la programación de mantenimiento rutinario, programado y circunstancial, la programación de inspecciones de instalaciones y edificaciones, chequeos de mantenimiento rutinario, inspección de mantenimiento programado y chequeos de mantenimiento circunstancial ya que una vez establecidas las políticas que regirán la programación de todos los tipos de mantenimiento y chequeos de los mismos se tiene una lista de acciones por semana, por actividad, por cuadrilla, por tipo de parada, por objetos, por día a la semana donde se describen las diferentes actividades a realizar por el personal para la ejecución de todos estos tipos de actividades de mantenimiento.

**1.1.3.10 Chequeos de Mantenimiento Rutinario.** Estos chequeos deben ser realizados por el personal de la Organización de Mantenimiento, así esta asegura que las instrucciones asignadas sean cumplidas a cabalidad con el fin de lograr la optimización de funcionamiento del sistema productivo y de los objetos a través de la inspección de los componentes de estos, logrando de esta manera la reducción de paradas, mantener y alargar la vida útil de los objetos.

**1.1.3.11 Recorridos de Inspección.** Se efectuarán recorridos de inspección de los equipos a fin de registrar cualquier falla que no haya sido detectada y verificar que las acciones se están ejecutando según lo programado. El recorrido de inspección debe ser realizado por la Organización de Mantenimiento ya sea trimestral o semestral o de acuerdo a las políticas que se tengan en el sistema productivo.

**1.1.3.12 Chequeo de Mantenimiento Circunstancial.** Los chequeos de mantenimiento circunstancial se deben realizar en los objetos con poca frecuencia de uso o que funcionan de forma alterna o como auxiliares y cuya programación de mantenimiento no presenta una fecha de inicio prevista, debido a que su arranque va a depender de las exigencias que tenga dentro de la Organización de Mantenimiento ya que para su puesta en marcha se hace necesario ciertas pruebas y chequeos previos.

**1.1.3.13 Inspección de Instalaciones y Edificaciones.** En este tipo de inspección se determina el estado general de las instalaciones y edificaciones de la empresa donde se encuentra ubicado el sistema productivo y se detectaran puntos críticos que pueden ser subsanados con prontitud y eficiencia, la revisión se debe realizar con frecuencia trimestral, semestral o de acuerdo a las políticas del sistema productivo. Estas inspecciones se hacen con el fin de adecuar las estructuras y la planta física a las necesidades del proceso.

**1.1.3.14 Inspección, Seguimiento y Control.** Por cada acción de mantenimiento realizada debe llevarse registros mediante formatos previamente establecidos de esto a fin de hacer inspección, seguimiento y control las diversas situaciones de fallas que se puedan presentar.

**1.1.3.15 Detección, Reporte y Registro de averías.** A pesar de que se ejecuten el mantenimiento rutinario y el mantenimiento programado se pueden presentar hechos fortuitos donde cualquier objeto del sistema productivo presenten averías por lo tanto se debe llevar un registro semanal de fallas a fin de tomar las acciones a ejecutar para subsanar la falla, este procedimiento se debe realizar semanalmente y sirve para controlar y priorizar la ejecución de las acciones de mantenimiento.

**1.1.3.16 Orden de Trabajo para Mantenimiento por Averías.** Cuando se presenta una avería se debe proceder a realizar la reparación que se necesita para colocar el equipo nuevamente en funcionamiento, para ello se debe emitir una orden de trabajo para Mantenimiento por Avería, la emisión de órdenes de trabajo representa la base más importante para el historial de fallas de los objetos de mantenimiento ya que en el mismo se registra información acerca del tipo y causa de la falla, materiales, repuestos, herramientas, instrumentos, equipos y horas hombre a utilizar para la realización de la acción de mantenimiento.

**1.1.3.17 Salida de Materiales, Repuestos, Equipos, Instrumentos y Herramientas.** En la emisión de órdenes de trabajo se hace la solicitud de Materiales y/o repuestos necesarios para la corrección de la falla presentada, estos materiales son solicitados al almacén de materiales, repuestos, equipos, Instrumentos y Herramientas de mantenimiento o del sistema productivo.

**1.1.4 Tipos de mantenimiento.** La importancia del mantenimiento industrial radica en la necesidad que tienen las empresas de conservar todas sus máquinas e instalaciones trabajando continua y eficientemente.

Existen diferentes maneras de implementar el mantenimiento, una es el mantenimiento correctivo dedicado a la reparación de los equipos en el momento en que fallan; otra, es el mantenimiento preventivo encargado de detectar daños en los equipos antes de que estos dejen de funcionar y detengan el proceso de producción y por último el mantenimiento predictivo el cual es un tipo de mantenimiento establecido para no afectar la producción con técnicas no invasivas para detectar posibles fallos en la maquinaria.

Las grandes industrias, conscientes de las pérdidas que se producen cuando una la máquina se descompone e interrumpe su producción, destinan una buena parte de su presupuesto en actividades de mantenimiento preventivo.

Según Botero<sup>7</sup>, el mantenimiento preventivo posee una herramienta básica muy importante el mantenimiento predictivo. Este mantenimiento realiza un seguimiento de cada una de las variables relacionadas con el funcionamiento de las máquinas para poder predecir posibles fallas y tomar las acciones correctivas más apropiadas en el momento oportuno.

A pesar del alto costo que implica el desarrollo del mantenimiento predictivo, hoy en día es el tipo de mantenimiento más implementado en las industrias gracias a la ventaja que posee de poder mostrar en cualquier instante de tiempo el estado general de cada una de las máquinas de la planta permitiendo controlar su óptimo funcionamiento.

**1.1.4.1 Mantenimiento correctivo.** Según Medina<sup>8</sup>, es la acción de carácter puntual a raíz del uso, agotamiento de la vida útil u otros factores externos, de componentes, partes, piezas, materiales y en general, de elementos que constituyen la infraestructura o planta física, permitiendo su recuperación, restauración o renovación, sin agregarle valor al establecimiento. Se establece como la primera implementación del mantenimiento, debido a que sin ningún tipo de estudio se fue realizando a medida que surgía la necesidad de reparar piezas de las maquinas que presentaban el fallo. Al principio se conocía como el primer avance en mantenimiento debido a que así la maquina fallará no se iba a desechar inmediatamente, se pretendía arreglar el fallo, es por esto que fue la

---

<sup>7</sup>REDALYC. Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249041>>.

<sup>8</sup>TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DEL ORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO TESOEM. Administración del mantenimiento [en línea]. La Paz: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.tesoem.edu.mx/alumnos/cuadernillos/2009.001.pdf>>.

primera implementación, que mucho tiempo después tendría evolución, debido a que se fue observando como este tipo de mantenimiento producían pérdidas en las empresas, esperar hasta que se presentará el fallo no era la mejor opción, debido a que se veía afectada la producción directamente, por paros de la maquinaria que generaba no entregas a tiempo, pérdida de recursos tanto tangibles como intangibles pero que en su momento fue el desarrollo para las empresas designar a las personas que se encargaría de arreglar los fallos de las maquinas.

**1.1.3.2 Mantenimiento preventivo.** Serie de intervenciones que se le realizan a la máquina de forma periódica con el fin de optimizar su funcionamiento y evitar paros de la maquinaria, firma que el mantenimiento preventivo se aplica fundamentalmente para impedir, mediante la adecuada planificación y programación de las intervenciones periódicas que se harán, las fallas previstas en equipos, sistemas e instalaciones, que transforman ya sea el proceso productivo o el desempeño normal del elemento dañado. Este tipo de mantenimiento, a diferencia del correctivo, tiende a conservar en las mejores condiciones las instalaciones, los equipos, los sistemas, la maquinaria, y cualquier otro elemento que esté sometido a él. El mantenimiento preventivo se hace mediante un programa de actividades (revisiones y lubricación), con el fin de anticipare a las posibles fallas en el equipo. Según Studylib<sup>9</sup>, se tiene en cuenta cuales actividades se deben realizar sobre el equipo en marcha o cuando esté detenido.

**1.1.3.3 Mantenimiento predictivo.** Según Cuartas<sup>10</sup>, consiste en efectuar una serie de mediciones o ensayos no destructivos con equipos sofisticados a todas aquellas partes de la maquinaria susceptibles de deterioro, pudiendo con ello anticiparse a la falla catastrófica. La mayoría de estas mediciones se efectúan con el equipo en marcha y sin interrumpir la producción. Debido a que cada día la producción cada día es mayor, se implementa un tipo de mantenimiento en el cual no se vea afectada de ningún modo la producción, es por esto que se establece una nueva manera de desarrollar el mantenimiento en las industrias y es el mantenimiento predictivo, el cual sin invadir la maquinaria que se está evaluando, prevé el fallo de la maquinaria, mediante el seguimiento del funcionamiento de la maquinaria, cuando se presenta algún tipo de cambio o variación en dicha máquina se entra a evaluar con el fin de evitar el fallo, basado en las condiciones de los equipos.

---

<sup>9</sup> STUDYLIB. ¿Qué es el mantenimiento? [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://studylib.es/doc/4451142/¿qué-es-el-mantenimiento%3F>>.

<sup>10</sup> STUDYLIB. ¿Qué es el mantenimiento? [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://studylib.es/doc/4451142/¿qué-es-el-mantenimiento%3F>>.

Según Sinais<sup>11</sup>, consiste en realizar mediciones periódicas de algunas variables físicas relevantes de cada equipo mediante los sensores adecuados y, con los datos obtenidos, se puede evaluar el estado de confiabilidad del equipo. Variables físicas medidas por medio de diferentes técnicas como. Termografía, vibración, Ultrasonidos, Aceites etc.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

**1.2.1 Descripción del problema.** A medida que la industria avanza se hace necesario la aplicación de diversas técnicas que busquen la maximización de los recursos involucrados en el proceso productivo, un factor clave en el cumplimiento de los objetivos es la aplicación del mantenimiento a los equipos involucrados en los procesos, que busca asegurar la disponibilidad y confiabilidad de las operaciones por medio de un óptimo rendimiento.

La evolución del mantenimiento se ha dado en consecuencia con los niveles de pérdidas que ha generado la no implementación de estos, el objetivo del mantenimiento es proporcionar mejor información en cuanto a riesgos que se puedan presentar, es por esto que se han presentado tres generaciones, y la última es nombrada como mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo a diferencia de los otros dos mantenimiento precedentes busca anticiparse a la ocurrencia de las fallas mediante técnicas de nivel superior en cuanto a tecnología se refiere, es por eso que se considera como un inversión de alto costo, pero lo que se busca con esta investigación es proporcionar diferentes tipos de técnicas para la implementación y poder realizar una planeación para su implementación, partiendo de la premisa de evitar futuros fallos que lleven a generación de pérdidas mayores a la inversión de un mantenimiento predictivo.

Según Gonzalez<sup>12</sup>, para realizar este tipo de implementación de mantenimiento se tiene que tener presente la relación costo-beneficio debido a la implementación de técnicas no destructivas e invasivas, para determinar el estado de algunos equipos y subconjunto anticipándose al fallo. Son técnicas implementadas con equipos especializados y que tienen que garantizar la fiabilidad debido a que los objetivos mismos del mantenimiento son de asegurar mayor disponibilidad y fiabilidad, mejorar la seguridad, mejorar la calidad de los productos y servicios, no deteriorar el medio ambiente, generar una mayor duración del equipo y por supuesto

---

<sup>11</sup> SINAIS. Ingeniería de mantenimiento. Tendencias actuales del mantenimiento industrial [en línea]. Villagarcía de Arosa: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.sinais.es/Mantenimiento%20Predictivo.pdf>>.

<sup>12</sup> TECNICA8-ELECTROMECHANICA. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado [en línea]. La Plata: El Autor [citado 25 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://files.tecnica8-electromecanica.com/200001528-98ba999b41/Teoria-y-Practica-Del-Mantenimiento-Industrial-Avanzado.pdf>>.

optimizar los recursos, aumentar las utilidades de la organización; es por todo esto que la instrumentación requerida para poder implementar las diferentes técnicas del mantenimiento predictivo se consideran más costosas, pero esto mismo es lo que permite garantizar que esta aplicación sea de manera confiable y exitosa. Según Penkova<sup>13</sup>, el valor del mantenimiento predictivo se mide, a menudo, en términos de costos o tiempos de parada evitados. Los programas predictivos precisan una inversión inicial que, si se aplica correctamente, es menor que el ocasionado por un fallo de un elemento crítico del proceso.

Es donde la organización tiene que entrar a evaluar la situación de la empresa a nivel del entorno donde se desarrolla, la situación financiera que se viva en el momento, la relación de cuanto estaría dispuesto a gastar con el fin de obtener mejores ganancias, evaluar si se cree que la implementación de alguna de estas técnicas ayudaran a alcanzar los objetivos de la organización; los análisis que la organización a nivel interno no solo son técnicos pues la implementación de este tipo de mantenimiento se ve impactada por las decisiones que se tomen de carácter interno, además que de esto también depende el éxito basados en la implementación como se debe realizar sin cortes de presupuesto o impedimentos que lleven a aplicar la técnica de manera irregular y sin la constancia necesaria para la recolección de datos fiables.

Basado en todo lo anterior se hace necesario que las organizaciones interesadas en las implementaciones de mantenimiento predictivo, tengan todo el conocimiento sobre las diferentes técnicas y su aplicación, para evitar pérdida de recursos por la falta de conocimiento, además de verificar si el tipo de técnica a implementar es el necesario para el proceso de producción de la organización.

**1.2.2 Formulación del problema.** ¿Cuáles son las diferentes técnicas de mantenimiento predictivo aplicadas en las organizaciones y su implementación?

## **1.3 OBJETIVOS**

**1.3.1 Objetivo General.** Presentar las principales técnicas de mantenimiento predictivo, así como la metodología de implementación y ejecución en las organizaciones.

### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

- Analizar información sobre mantenimiento predictivo y ampliarla mediante la investigación de otras técnicas de mantenimiento predictivo, basándose en la información obtenida de la visita técnica a Brasil.

---

<sup>13</sup> REDALYC. Mantenimiento y análisis de vibraciones [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032407>>.

- Listar, con nuevos conocimientos sobre el mantenimiento predictivo, que genere más alternativas de implementación.
- Interpretar los hallazgos, de la planeación e implementación en las organizaciones.
- Difundir el conocimiento acumulado sobre las técnicas de mantenimiento predictivo que se apliquen a los procesos productivos de las organizaciones.

#### 1.4 JUSTIFICACIÓN

El mantenimiento siempre ha estado implicado en el proceso de producción de una empresa de diferentes modos y en diferentes medidas, dependiendo tipo de la empresa, tamaño, razón social lo que hace que se pueda implementar la planificación del mantenimiento, se hace con el fin de minimizar las pérdidas que tiene la empresa.

Según Medina<sup>14</sup>, a lo largo de la historia se ha visto la evolución del mantenimiento aplicado a los procesos productivos de las organizaciones, la primera generación de mantenimiento se dio antes de los cuarenta en donde solo se llevaba un mantenimiento correctivo, el cual se reparaba después del fallo, lo que permitía en esa época aproximarse a una idea basada en el fallo de donde no se estaba cumpliendo con las especificaciones o en que parte de la producción no se estaba realizando bien el proceso, implementar un mantenimiento en la empresa ya era una manera de tratar de controlar la producción para poder cumplir con los objetivos de la empresa.

Al ver las pérdidas que se generaban esperando a que el fallo fuera estudiado para ver qué tipo de problema presentaba o tratar de averiguar en qué parte del proceso productivo no se cumplían las especificaciones, nace la segunda generación que se ve efectuada aproximadamente desde 1940 hasta 1970, en el cual el mantenimiento que se dio era de tipo preventivo, basado en encontrar el problema antes de que se termine el proceso de producción, al implementar este tipo de mantenimiento se generaban menos pérdidas para la empresa, aumentaba la disponibilidad, al realizar el mantenimiento se mejoraba la vida útil, este mantenimiento permite planificar y control del trabajo, además de permitir el monitoreo por el tiempo.

En la siguiente generación correspondiente a la tercera se desarrolla el mantenimiento predictivo, el cual busca obtener el estado de las funciones

---

<sup>14</sup> TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DEL ORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO TESOEM. Administración del mantenimiento [en línea]. La Paz: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.tesoem.edu.mx/alumnos/cuadernillos/2009.001.pdf>>.

implicadas en la producción, representadas en estado y operatividad, esto mediante la identificación de las variables físicas en las instalaciones o la maquinaria como lo es, la temperatura la vibración, el consumo de energía. Esta tercera generación permite obtener como beneficios la mayor disponibilidad y confiabilidad, una mejor relación costo beneficio, productos de mejor calidad, análisis de riesgos entre otras.

Por lo anterior se observa que se está en la tercera generación del mantenimiento, en la cual se evalúan los riesgos para tener la oportunidad de minimizar, evitar las pérdidas de producción o de no calidad que se generan en un proceso, a pesar de ser la mejor evolución hasta el momento no se ve tan aplicada en el campo industrial, es por esto que esta investigación, busca aportar información relevante a la vanguardia que permitan conocer diferentes tipos de técnicas para aplicar un mantenimiento predictivo que maximice los resultados operativos y por ende las ganancias.

## **1.5 DELIMITACIÓN**

**1.5.1 Espacio.** Este trabajo se desarrolla a lo largo del año 2017 dentro de los periodos académicos establecidos por la Universidad Católica de Colombia, la visita técnica internacional se realizó del 6 al 12 de febrero y se realizara para realizar entrega oficial en noviembre.

**1.5.2 Tiempo.** La visita técnica se realizó en Brasil en las instalaciones de la universidad de Sao Paulo (sede de Sao Carlos) y Rio de Janeiro.

**1.5.3 Limitaciones.** Se limita la investigación debido a la falta de documentos base, originarios del concepto de mantenimiento predictivo, se obtienen pocos documentos de implementación debido a que no es un tipo de mantenimiento común.

## **1.6 MARCO REFERENCIAL**

**1.6.1 Marco conceptual.** Algunas de las definiciones implementas son las siguientes, Según Medina<sup>15</sup>, esas están aprobadas por el Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento.

**1.6.1.1 Falla.** Finalización de la habilidad de un ítem para desempeñar una función requerida.

---

<sup>15</sup> TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DEL ORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO TESOEM. Administración del mantenimiento [en línea]. La Paz: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet:<URL:<http://www.tesoem.edu.mx/alumnos/cuadernillos/2009.001.pdf>>.

**1.6.1.2 Defecto.** Evento en los equipos que no impide su funcionamiento, pero a corto o largo plazo puede provocar su indisponibilidad.

**1.6.1.3 Inspección.** Servicio de mantenimiento preventivo caracterizado por la alta frecuencia (baja periodicidad) y corta duración; normalmente utiliza instrumentos simples de medición (termómetros, tacómetros, voltímetros, etc.) o los sentidos humanos sin provocar indisponibilidad.

**1.6.1.4 Error.** Eventos en los operadores que no impiden todavía el buen funcionamiento del equipo; pueden a corto o largo plazo provocar su indisponibilidad. Dounce sugiere que el defecto es al equipo como el error es al operario. Ambos: defecto y error, pueden llevar el equipo a la falla si no se atiende de manera oportuna.

**1.6.1.5 Desgaste.** Se define como el cambio acumulativo e indeseable en el tamaño, forma o propiedades de una estructura, sistema, máquina, equipo o dispositivo que conduce a una falla.

**1.6.1.6 Avería.** Según Alban<sup>16</sup>, es el estado de no funcionamiento de uno o algunos elementos. Es un estado en que se encuentra un equipo, que no cumple con las condiciones de funcionamiento.

**1.6.1.7 Fiabilidad.** Entendemos por Fiabilidad R de un equipo, máquina o sistema, a la probabilidad de que este cumpla con su función, sin falla, durante un tiempo determinado y bajo condiciones dadas.

**1.6.1.8 Mantenibilidad.** La mantenibilidad, es la probabilidad de que un equipo, máquina o un sistema pueda ser reparado a una condición especificada en un período de tiempo dado.

**1.6.1.9 Disponibilidad.** Es la proporción de tiempo durante la cual un sistema, máquina o equipo estuvo en condiciones de ser usado

**1.6.1.10 Vida de una máquina.** Comprende una alternativa de paros y de “buen funcionamiento”, durante su duración potencial de utilización.

Según Olarte<sup>17</sup>, son conceptos específicos de las técnicas de mantenimiento predictivo, tomados de un análisis de estas técnicas los siguientes:

---

<sup>16</sup>REPOSITORIO DE TESIS USAT. Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad de las maquinarias en la empresa construcciones reyes S.R.L. para incrementar la productividad [en línea]. Chiclayo: El Autor [citado 30 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:[http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/usat/798/1/TL\\_%20AlbanSalazarNery.pdf](http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/usat/798/1/TL_%20AlbanSalazarNery.pdf)>.

<sup>17</sup>REDALYC. Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249041>>.

**1.6.1.11 Vibración.** Es la oscilación de un objeto con respecto a su posición de reposo

**1.6.1.12 Frecuencia.** Es el número de vibraciones que un cuerpo hace por segundo se denomina frecuencia y es comúnmente medida en Hertz.

**1.6.1.13 Espectro.** Es una gráfica que muestra el comportamiento de una vibración en función de la frecuencia.

**1.6.1.14 Ultrasonido.** Son ondas de sonido con frecuencias por encima del límite audible humano, o en exceso de 20000 Hertz.

**1.6.1.15 Arco eléctrico.** Es una descarga que se produce entre dos puntos, cuando están sometidos a una diferencia de potencial.

**1.6.1.16 Recinto estanco.** Es un depósito destinado a contener líquidos.

**1.6.1.17 Desgaste.** Es el daño sobre una superficie que se produce cuando existe pérdida de material en una o ambas superficies solidas que se encuentran en movimiento.

**1.6.1.18 Viscosidad.** Es la resistencia del fluido al flujo con respecto a la temperatura.

**1.6.1.19 Basicidad.** Es el conjunto de propiedades que caracterizan las bases químicas.

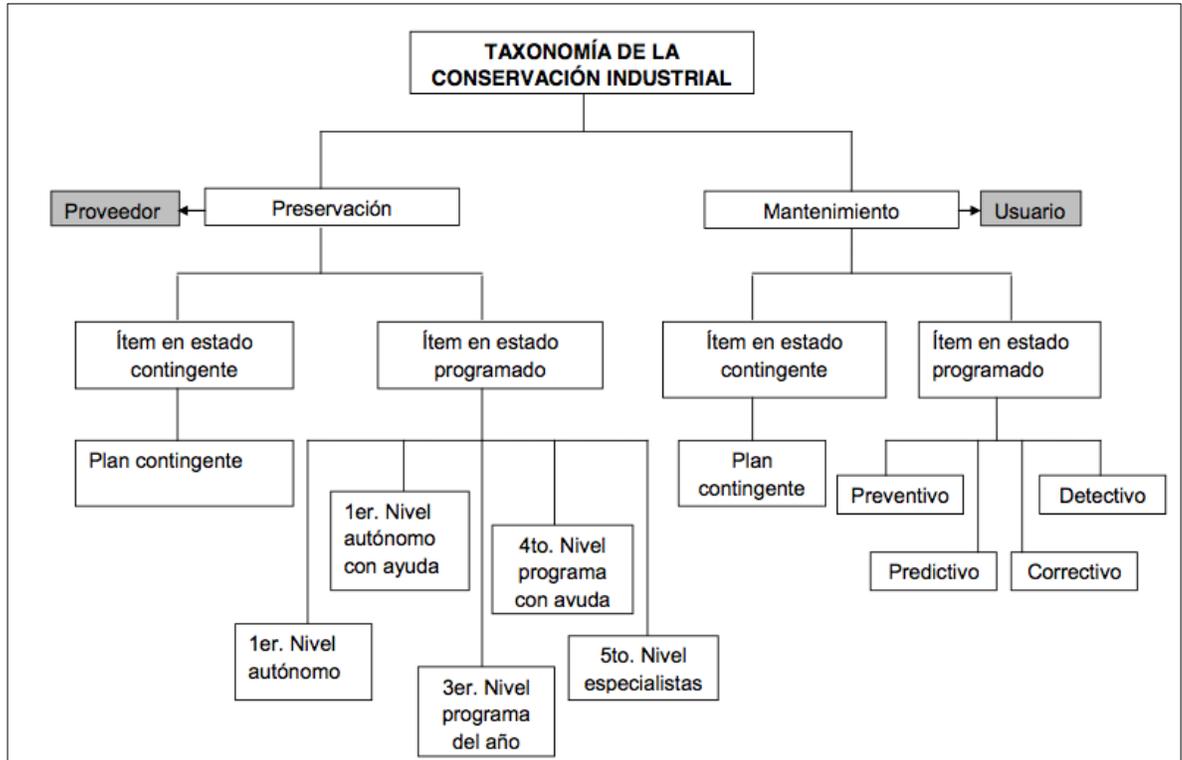
**1.6.1.20 Constante dieléctrica.** Es una cantidad física que representa la interacción entre el campo eléctrico y un material no conductor.

**1.6.2 Marco teórico.** Según Medina<sup>18</sup>, basado en la taxonomía de la conservación industrial la cual se subdivide en preservación y mantenimiento la primera está enfocado hacia el proveedor y por otro lado se encuentra el mantenimiento que hace referencia al usuario, (véase La Figura 1), se busca generar un mantenimiento en estado programado dentro de este estado se encuentran los mantenimientos detective, correctivo, preventivo y predictivo, el último es el que se pretende enfocar y ampliar el conocimiento.

---

<sup>18</sup> TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DEL ORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO TESOEM. Administración del mantenimiento [en línea]. La Paz: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.tesoem.edu.mx/alumnos/cuadernillos/2009.001.pdf>>.

Figura 1. Taxonomía de la conservación industrial



Fuente. TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DEL ORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO TESOEM. Administración del mantenimiento [en línea]. La Paz: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.tesoem.edu.mx/alumnos/cuadernillos/2009.001.pdf>>.

**1.6.2.1 Mantenimiento predictivo.** La generación de este tipo de mantenimiento nace de aplicarse de una manera que no sea invasiva para la máquina, ni perjudique la producción, “consta de una serie de ensayos de carácter no destructivos orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen que alguna de sus partes no está trabajando de la manera correcta”<sup>19</sup> se da como entendido que su objetivo es advertir de manera oportuna, con el fin de poder programar de la mejor manera la corrección, teniendo en cuenta todas las variables de la producción que maneja la empresa, predice la falla antes de que esta se produzca.

Debido a que se entiende como falla “cuando deja de brindarnos el servicio que debía darnos o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones

<sup>19</sup> REPOSITORIO DE TESIS USAT. Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad de las maquinarias en la empresa construcciones reyes S.R.L. para incrementar la productividad [en línea]. Chiclayo: El Autor [citado 30 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:[http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/usat/798/1/TL\\_%20AlbanSalazarNery.pdf](http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/usat/798/1/TL_%20AlbanSalazarNery.pdf)>.

de diseño con las que fue construido o instalado”<sup>20</sup>, se pueden clasificar las posibles fallas en tres fallas tempranas, adultas y tardías, las fallas tempranas ocurren al principio de la vida útil que se ocasionan normalmente por problemas de materiales, diseño o montajes, las fallas adultas son las que se derivan de las condiciones de operaciones y las fallas tardías son las que se presentan en el final de la vida útil.

Existen varias formas de implementar el mantenimiento en los procesos, y la maquinaria disponible, es por esto que a continuación el enfoque está orientado al mantenimiento predictivo, a las distintas técnicas de aplicación con el fin de presentar todas ellas con el análisis y sus características más importantes, relacionando los resultados que estas herramientas predicen.

- Análisis de vibraciones
- Termografía
- Análisis por ultrasonido
- Análisis de aceite

## **1.6 METODOLOGÍA.**

La metodología de la revisión literaria se realiza de la siguiente manera con el fin de encontrar la documentación necesaria para llegar a la actualidad e identificar las técnicas de mantenimiento implementadas en la industria.

- Definir los objetivos de la revisión de acuerdo a una información básica suministrada por la Universidad de Sao Paulo, sobre las técnicas de mantenimiento predictivas.
- Realizar la búsqueda documental bibliográfica, de las diferentes bases de datos de estudiantes y revistas científicas con el fin de obtener la documentación sobre el avance del mantenimiento predictivo.
- Organizar la información de acuerdo a los resultados obtenidos, basados en fechas de publicación, implementación e investigación, seleccionando y evaluando los resultados obtenidos.
- Redactar el documento en el cual se verá la información sintetizada, que se recogen, se analizan y se extraen conclusiones.

**1.6.1 Tipo de estudio.** La metodología de investigación empleada para la realización de este proyecto es de tipo descriptivo y exploratorio dado que se tienen en

---

<sup>20</sup>REDALYC. Mantenimiento y análisis de vibraciones [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032407>>.

cuenta los principios, definiciones y mediciones del mantenimiento predictivo como estudio objetivo y de tipo exploratorio porque tiene como objetivo la formulación de un problema para posibilitar una investigación más precisa.

**1.6.2 Fuentes de información.** Según la tipología de la documentación las fuentes de información utilizadas para la revisión de literatura sobre técnicas de mantenimiento predictivo son.

- Fuentes primarias. Se obtiene como materia prima documentos actuales sobre implementación de técnicas de mantenimiento predictivas.
- Fuentes secundarias. que se refieren a aquellas referencias tomadas de los documentos primarios, y que son la base para el resultado del análisis de la información del documento primario, bases de datos, listados de referencias, índices, catálogos virtuales.

## **1.7 DISEÑO METODOLÓGICO.**

Debido a que es una revisión literaria se realiza el siguiente procedimiento para obtener los resultados esperados.

- Se consulta un banco de datos, en este caso bases de datos con las que la Universidad Católica de Colombia tiene convenio.
- Se realiza la consulta en revistas científicas.
- Se filtran los resultados sobre las técnicas de mantenimiento predictivo desde 10 años hasta la fecha.
- Se realiza la búsqueda en internet respectiva, revistas electrónicas, bibliotecas virtuales, repositorios.
- Se realizan filtros de la información obtenida.
- Se identifican los datos comunes y diferenciadores de cada documento.
- Se clasifican los documentos por técnicas implementadas.
- Se realiza el respectivo análisis a las técnicas de mantenimiento predictivo

## 2. REVISIÓN DOCUMENTAL

Se identificaron cuatro técnicas de mantenimiento predictivo principales utilizadas en la industria.

### 2.1 ANÁLISIS DE VIBRACIONES.

Todas las maquinas presentan algunos niveles de vibración cuando se encuentran en funcionamiento, considerados como normales, cuando se predice una avería el nivel de vibración cambia lo cual indica que algo no está funcionando correctamente y que es momento de realizar una revisión, debido a que existe una relación causa y efecto entre las vibraciones y las averías, “Cada máquina posee en sus condiciones normales de funcionamiento una curva vibratoria característica, tal como el ser humano tiene un electrocardiograma característico. Cuando una avería comienza a desarrollarse el comportamiento dinámico de la máquina se altera y, consecuentemente también se altera su curva vibratoria”<sup>21</sup>, es por esto que se hace “necesario conocer los datos específicos de la máquina como velocidad de giro, el tipo de cojinetes, de correas, el número de alabes, palas etc.”<sup>22</sup>, con esta información básica se puede fundamentar en que máquina se realizara la revisión y el equipo analizador.

Entonces se puede entender que el nivel de vibración de un equipo nos puede indicar el “estado de salud” de la máquina, convirtiéndose en un buen índice para determinar si se va a presentar falla, la interpretación de las señales de vibración facilitarán la identificación del lugar y el tipo de falla que se está presentando, basándose en los niveles de tolerancia de la maquina dado por el fabricante o las normas técnicas.

**2.1.1 Definiciones para análisis de vibraciones.** Para poder entender y analizar este tipo de datos se hace necesario conocer algunos términos muy generales sobre vibración.

**2.1.1.1 Vibración.** Es la vibración de un cuerpo con respecto a un punto de referencia.

**2.1.1.2 Desplazamiento.** Indica la cantidad de movimiento que la masa experimenta con respecto a su posición de reposo.

---

<sup>21</sup> REVISTADYNA. Sistema basado en conocimiento para análisis de vibraciones en mantenimiento predictivo [en línea]. Bilbao: El Autor [citado 11 octubre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:file:///C:/Users/Docentes\_Ind/Downloads/1498DYNAINDEX.pdf >.

<sup>22</sup> REDALYC. Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249041>.

**2.1.1.3 Periodo.** Es el tiempo que tarda la masa en realizar un ciclo completo.

**2.1.1.4 Frecuencia.** Es el número de ciclos que ocurren en una unidad de tiempo.

**2.1.1.5 Velocidad.** Se refiere a la proporción del cambio de posición con respecto al tiempo.

**2.1.1.6 Aceleración.** Medida de cambio de la velocidad respecto al tiempo.

**2.1.1.7 Amplitud.** Es la magnitud de la señal vibratoria e indica la severidad de la falla.

**2.1.2 Clasificación del nivel de vibración de las máquinas.** Para la implementación del análisis por vibraciones de la máquina se debe tener información un fichero que contenga la información básica para realizar una evaluación de acuerdo a los resultados, "código de identificación, esquema de la máquina con puntos y direcciones de medición, condiciones relacionados con el proceso como presión, temperatura, velocidades, etc."<sup>23</sup>. De igual manera se debe conocer dentro de cual clase se encuentra la maquina dependiendo del nivel de vibración basada en las normas internacionales sobre vibraciones mecánicas como se muestra a continuación.

Cuadro 1. Clasificación de máquinas por nivel de vibración

Clases	Potencias
Clase I	Máquina con potencia hasta 15kW
Clase II	Máquina con potencia entre (15-75)kW
Clase III	Máquinas grandes en rotación con fundamentos rígidos mayores a 75kW
Clase IV	Máquinas grandes en rotación con fundamentos flexibles-Turbo maquinas

Fuente. REDALYC. Mantenimiento y análisis de vibraciones [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032407>>.

Según Gonzalez<sup>24</sup>, a continuación se describirá esta clasificación con el objetivo de comprender qué tipo de máquinas entraría dentro de cada clase, debido a que sobre esta clasificación se determinara la severidad de la vibración.

<sup>23</sup> REDALYC. Mantenimiento y análisis de vibraciones [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032407>>.

<sup>24</sup> TECNICA8-ELECTROMECHANICA. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado [en línea]. La Plata: El Autor [citado 25 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://files.tecnica8-electromecanica.com/200001528-98ba999b41/Teoria-y-Practica-Del-Mantenimiento-Industrial-Avanzado.pdf>>.

**2.1.2.1 Clase I.** Partes individuales de motores y máquinas, integradamente conectadas a la máquina completa en las condiciones normales de operación.

**2.1.2.2 Clase I.** Máquinas de tamaño medio típicamente motores eléctricos, sin apoyos especiales, motores rígidamente montados o máquinas sobre apoyos especiales.

**2.1.2.3 Clase III.** Grandes máquinas motrices y otras grandes máquinas con masas rotativas montadas sobre apoyos rígidos y pesados que son relativamente rígidos en la dirección de las medidas de vibración.

**2.1.2.4 Clase IV.** Grandes máquinas motrices y otras grandes máquinas con masas rotativas montadas sobre apoyos relativamente blandos en la dirección de las medidas de vibración, por ejemplo turbo generadores o turbinas de gas.

Con base en la categorización por grupos dependiendo del nivel de potencia, la máquina debe ser identificada en alguna clase para poder luego basados en la norma ISO 10816 “definir la severidad de una determinada vibración en varios umbrales, desde bueno hasta inaceptable”<sup>25</sup>.

Cuadro 2. Clasificación severidad de vibraciones

Velocidad RMS mm/s	Grupo I <15 kW	Grupo II <75 kW <300 kW a.e.	Grupo III >75 kW >300 kW a.e.	Grupo IV Turbomáquinas
0.28	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
0.45				
0.71				
1.12	SATISFACTORIO	SATISFACTORIO	SATISFACTORIO	SATISFACTORIO
1.80				
2.80	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
4.50				
7.10	INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE
11.2				
18.0				
28.0				
45.0				

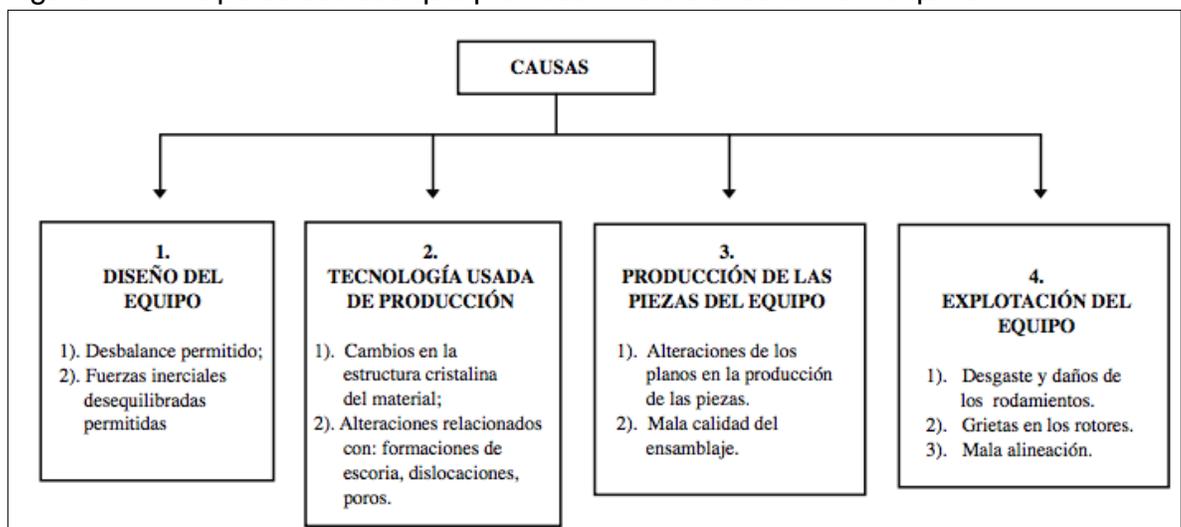
Fuente. TECNICA8-ELECTROMECHANICA. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado [en línea]. La Plata: El Autor [citado 25 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://files.tecnica8-electromecanica.com/200001528-98ba999b41/Teoria-y-Practica-Del-Mantenimiento-Industrial-Avanzado.pdf>>.

<sup>25</sup> TECNICA8-ELECTROMECHANICA. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado [en línea]. La Plata: El Autor [citado 25 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://files.tecnica8-electromecanica.com/200001528-98ba999b41/Teoria-y-Practica-Del-Mantenimiento-Industrial-Avanzado.pdf>>.

**2.1.3 Principales causas de vibración de la máquina.** Partiendo que la máquina cuenta con múltiples piezas, la vibración que se genere en la máquina será entonces la suma de las vibraciones de todas las partes que componen la máquina. Las causas principales por las cuales se presenta vibración en la maquinaria son.<sup>26</sup>

- Diseño de equipos. posee el desbalance y unas fuerzas inerciales desequilibradas permitidas.
- Tecnología usada de producción. cambios en la estructura cristalina del material y alteraciones como formaciones de desperdicio, dislocaciones y poros.
- Producción de las piezas equipo. alteraciones en los planos en la producción de las piezas y mala calidad de ensamblaje.
- Explotación del equipo. desgaste y daños en los rodamientos, mala alineación y grietas en los rotores.

Figura 2. Principales causas que provocan vibraciones en la máquina



Fuente. REDALYC. Mantenimiento y análisis de vibraciones [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032407>>.

**2.1.3 Análisis de los resultados.** La interpretación de los resultados de las vibraciones es el papel más importante, debido a que se realiza esta técnica con el fin de obtener información que servirá para poder obtener indicios de fallo, se

<sup>26</sup> REDALYC. Mantenimiento y análisis de vibraciones [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032407>>.

distinguen dos tipos de técnicas para analizar los resultados el análisis de frecuencia y el análisis de tiempo.

**2.1.3.1 Análisis de frecuencia.** El espectro de la señal de vibración se conforma por el eje horizontal la frecuencia y el eje vertical a este eje dependiendo el parámetro que mayor información me suministre se le va a dar el valor de desplazamiento, velocidad o aceleración. Por ejemplo en las maquinas rotatorias la gráfica se utiliza con el eje vertical en velocidad, “en este tipo de gráficas, la frecuencia es un indicativo de la causa que produce la vibración mientras que la amplitud indica la gravedad de la falla”.<sup>27</sup>

Debido a que la amplitud indica la gravedad de la falla es muy común utilizar este tipo de gráfica, cuando se comparan valores de amplitud de vibraciones, Se debe tener en cuenta los factores de escala. Estos son mediciones Pico, Pico-Pico o RMS. La velocidad RMS es utilizada por la norma ISO 10816 donde también establece la severidad de vibración de las máquinas.

- **Pico.** Representa la amplitud desde el valor cero de referencia al tope del valor máximo. La amplitud pico es usada para medir aceleración, habitualmente calculada a partir del valor RMS.
- **Pico-Pico.** Es la amplitud medida desde el tope positivo al tope negativo. El valor P-P resulta igual a 2 veces el valor Pico.
- **RMS.** En términos generales, el valor RMS (root mean square) es derivado a través de una conversión matemática que relaciona la energía de la c.c con la de la c.a. Es generalmente usado para medir la energía efectiva de la vibración conformada por múltiples señales de distintas frecuencias. Si se mide una onda senoidal pura, el valor RMS es 0.707 del valor Pico.<sup>28</sup>

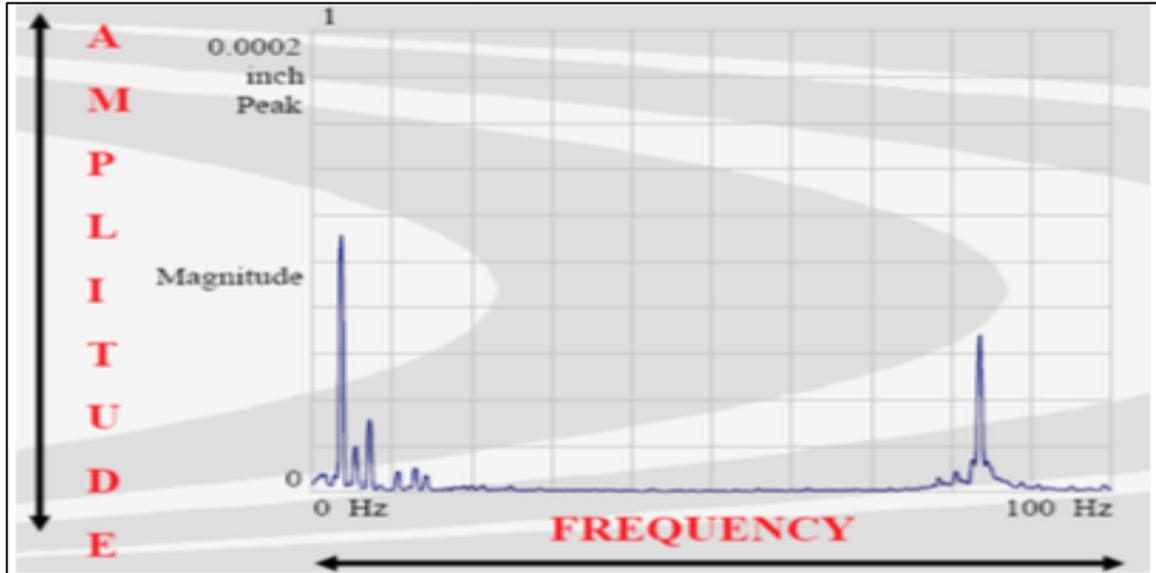
Hay dos componentes de la señal que deben ser observados en primera instancia, su amplitud y su frecuencia, la amplitud indicara la severidad de la falla, y la frecuencia el número de veces que se repite el ciclo en un periodo determinado.

---

<sup>27</sup>REDALYC. Análisis de vibraciones una herramienta clave en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 8 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249040>>.

<sup>28</sup>REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:[http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf)>.

Figura 3. Relación frecuencia amplitud



Fuente. REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet:

<URL:[http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf) >.

Al conocer la frecuencia se tendrá puede obtener más información sobre la fuente de vibración, debido que “Los instrumentos y software de mantenimiento predictivo permiten apreciar las frecuencias de las vibraciones, como así mismo los cambios en amplitudes a frecuencias específicas, permitiendo detectar y aislar las fallas de las máquinas”<sup>29</sup>.

**2.1.3.2 Análisis de tiempo.** “Este análisis sirve para confirmar el diagnóstico en aquellas fallas que poseen espectros muy parecidos”.<sup>30</sup>

**2.1.4 Fallas detectadas con el mantenimiento predictivo.** Las fallas que se pueden detectar con este tipo de mantenimiento son: desbalanceo, desalineamiento, defecto de rodamientos, ejes torcidos, desajuste mecánico,

<sup>29</sup> REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:[http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf) >.

<sup>30</sup>REDALYC. Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249041>>.

defecto en transmisiones por correa, defectos de engranajes y problemas eléctricos.

Se puede considerar esta técnica como la más importante debido a “que permite detectar el 80% de los problemas presentados por la maquinaria industrial”<sup>31</sup>, consta de dos partes esta técnica la adquisición de datos y el análisis de los mismos debido a que el resultado se presenta de forma gráfica y la persona que cuente con las capacidades para interpretar dichas gráficas, será el encargado de dar el diagnostico, esta persona se puede apoyar en varios criterios de referencia, (véase La Figura 3).

Figura 4. Criterios de referencia para el análisis de vibraciones.



Fuente. SINAIS. Ingeniería de mantenimiento. Tendencias actuales del mantenimiento industrial [en línea]. Villagarcía de Arosa: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.sinais.es/Mantenimiento%20Predictivo.pdf>>.

**2.1.5 Sensores de medición.** Según Rosa<sup>32</sup>, debido a el principal objetivo del mantenimiento predictivo es no interrumpir el proceso productivo de las máquinas se establecen tres principales sensores de medición el acelerómetro, el de velocidad y el de desplazamiento, los cuales se presentan en el siguiente cuadro resumen basados en la información del manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo.

<sup>31</sup>SINAIS. Ingeniería de mantenimiento. Tendencias actuales del mantenimiento industrial [en línea]. Villagarcía de Arosa: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.sinais.es/Mantenimiento%20Predictivo.pdf>>.

<sup>32</sup> REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:[http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf)>.

Un factor que influye en la calidad de las medidas, es la conexión de los sensores de forma tal que haga un buen contacto con la estructura de la máquina para que puedan tomar lecturas en las tres direcciones, dos radiales. Vertical y horizontal y una axial. Cuando el lugar en el que se debe colocar el sensor es de difícil acceso, se instalan sensores permanentes con conectores accesibles que permitan tomar las medidas fácilmente y sin peligro.<sup>33</sup>

Cuadro 3. Sensores para el análisis de vibraciones

Sensor	Descripción	Características
Acelerómetro	Estos realizan una medida de aceleración o vibración, proporciona una señal eléctrica según la variación física.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El tamaño favorece su colocación, ya que son pequeños y livianos.</li> <li>• No tienen partes móviles, lo cual brinda mayor confiabilidad.</li> <li>• Los acelerómetros tienen una clara respuesta lineal en un amplio rango de frecuencia.</li> <li>• Son razonablemente económicos.</li> <li>• Los acelerómetros proveen una señal de salida elevada para los relativamente bajos niveles de energía de alta frecuencia, haciéndolos especialmente atractivos para monitorear rodamientos.</li> <li>• Normalmente las medias y altas frecuencias son medidas con acelerómetros.</li> </ul>
Velocidad	No necesitan contacto con los dispositivos, gracias a su sistema magnético en conjunto con una rueda dentada, permite la medición de movimientos rotatorios.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usualmente para medir la vibración del cuerpo de la maquina o soporte. □</li> <li>• Efectivos en el rango de baja a media frecuencia (10 Hz a Aprox. 15,500 Hz).</li> <li>• Generan su propia señal.</li> </ul>

<sup>33</sup>REDALYC. Análisis de vibraciones una herramienta clave en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 8 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249040>.

Cuadro 3. (Continuación).

Desplazamiento	Este sensor no tiene contacto con el eje, y mide la distancia a la superficie de medición. Tienen un rango de frecuencia más bajo que los tres.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mide distancias relativas entre dos superficies. □</li> <li>• Respuesta precisa en bajas frecuencias. □</li> <li>• Mide directamente en unidad de desplazamiento.</li> </ul>
----------------	---	---

Fuente. El Autor.

## 2.2 ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍA.

Como su nombre lo indica es una herramienta que se encargara de evaluar la temperatura de los equipos, para determinar su correcto funcionamiento. Es una herramienta que permite conocer el estado del equipo y predecir la falla sin interrumpir el proceso de producción y de una manera no invasiva, da resultados rápidos debido a que una alteración mínima de temperatura que no cumpla las especificaciones del fabricante en condiciones normales de funcionamiento del equipo indica que algo está funcionando de manera anormal.

Debido a que la toma de este tipo de medida de temperatura supone un personal con conocimiento específico y maquinaria especializada, las empresas optan por contratar terceros para la realización de estas medidas de temperatura además que “La energía infrarroja no se puede ver, pero con el desarrollo de la tecnología, ya existen equipos especializados en captar esta energía y transformarla en imágenes visibles que permiten determinar la temperatura de los objetos”<sup>34</sup> se hace necesario establecer la rutina de recolección de datos e identificar la información suministrada por la temperatura.

### 2.2.1 Definiciones para análisis de mantenimiento predictivo.

Según Rosa<sup>35</sup>, las definiciones de energía térmica y calor son las siguientes:

**2.2.1.1 Energía térmica.** Se le denomina energía térmica a la energía liberada en forma de calor, obtenida de la naturaleza, mediante la combustión de algún combustible fósil (petróleo, gas natural o carbón), mediante energía eléctrica por

<sup>34</sup>REDALYC. Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 19 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622045>>.

<sup>35</sup>REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf) >.

efecto Joule, por rozamiento, por un proceso de fisión nuclear o como residuo de otros procesos mecánicos o químicos.

**2.2.1.2 Calor.** Sucede cuando la energía térmica fluye de un cuerpo a otro, siempre de uno de mayor temperatura (mayor energía térmica) a otro de menor temperatura (menor energía térmica), conforme a la segunda ley de la termodinámica, y es considerada como una energía en tránsito.

**2.2.1.3 Radiación Térmica o Calor.** Según Olarte, es la transferencia de energía generada por los cuerpos cuando poseen una temperatura superior al cero absoluto (0 K o - 273 °C), la cual se propaga en forma de ondas electromagnéticas.<sup>36</sup>

**2.2.3 Principio de termografía.** El principio por el cual se rige esta técnica es el de la termografía. “Todos los cuerpos cuya temperatura excede el cero absoluto (0 K o - 273 °C) emiten una radiación térmica que el ojo humano no alcanza a percibir. La magnitud de dicha radiación está relacionada directamente con la temperatura del objeto y se puede calcular por medio de la siguiente ecuación”.<sup>37</sup>

$$E = \epsilon \theta T_e^4$$

Donde.

$\epsilon$  es la emisividad

$\theta$  es la constante de Stefan Boltzman

$T_e$  es la temperatura del objetivo medida en K.

**2.2.4 Herramientas de medición termográfica.** La energía que los equipos emiten viajan en forma de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz, es por esto que no es captable por el ojo humano, y se requiere de un instrumento especializado que transforme esta medición en un espectro visible, instrumento que se conoce hasta el momento es la cámara termo gráfica, quien es la encargada de transformar la energía que es emitida por el equipo en una imagen de radiación infrarroja a partir de la temperatura.

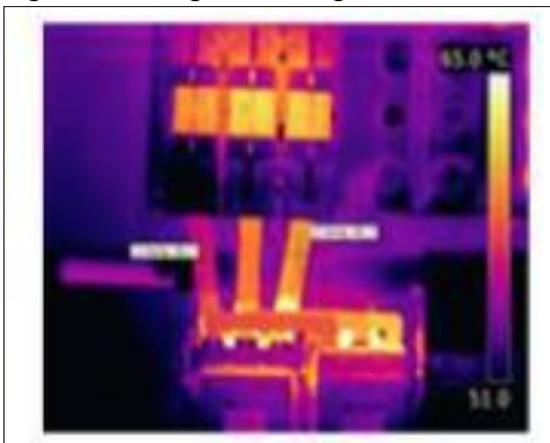
---

<sup>36</sup>REDALYC. Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 19 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622045>>.

<sup>37</sup> REDALYC. Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 19 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622045>>.

**2.2.4.1 Cámara termográfica.** “Es un equipo que mide la radiación térmica de los cuerpos y la convierte en una imagen visible de varios colores los cuales están establecidos por su temperatura”<sup>38</sup>. Estas cámaras pueden entregar dos tipos de medidas: cualitativas y cuantitativas, las primera medidas son imágenes que arroja la cámara termo gráfica que poseen colores y se puede identificar de manera inmediata la variación de temperatura en la máquina o la uniformidad de la misma, las medidas cuantitativas son valores exactos de los puntos calientes, mediante estos resultados se determina la gravedad y el diagnóstico del equipo. La siguiente figura (véase La Figura 6) muestra la imagen que se obtiene al utilizar esta herramienta.

Figura 5. Imagen termográfica



Fuente. REDALYC. Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 19 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622045>>.

**2.2.4.2 Clasificación de fallas eléctricas.** Existe una tabla de clasificación de fallas eléctricas según NETA (national electric), la cual es un “buen parámetro para identificar la relevancia de la falla y la acción que se recomienda seguir”<sup>39</sup>.

---

<sup>38</sup>REDALYC. Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 19 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622045>>.

<sup>39</sup>REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:[http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf)>.

Figura 6. Tabla de clasificación de falla eléctricas

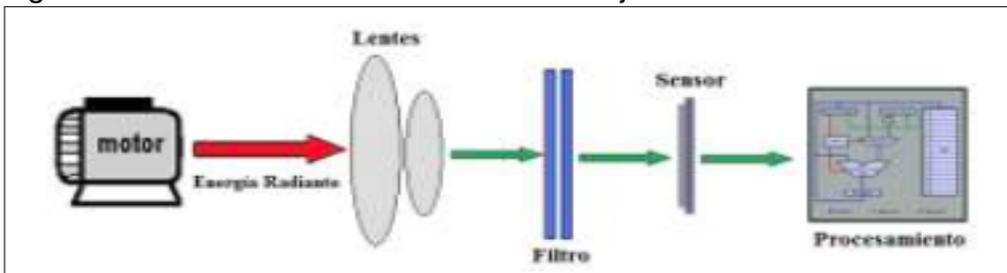
Nivel	$\Delta$ Temperatura	Clasificación	Acción
1	1°C-10°C O/A ó 1°C a 3°C O/S	Relevancia LEVE	Ver en próximo mantenimiento
2	11°C-20°C O/A ó 4°C a 15°C O/S	Relevancia GRAVE	Darle seguimiento a falla
3	21°C-40°C O/A ó > 15°C O/S	Relevancia CRITICA	Reparar tan pronto como sea posible
4	>40°C O/A ó > 15°C O/S	Relevancia MUY CRITICA	REPARAR INMEDIATAMENTE

Fuente. REDALYC. Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 19 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622045>>.

**2.2.5 Análisis de resultados.** La información que arroja la cámara termo gráfica se denomina termo grama y el color que este termo grama evidencia una interpretación térmica de fácil reconocimiento, la relación entre energía y temperatura es directamente proporcional, pues entre más energía infrarroja emita, mayor temperatura presenta el equipo, por lo general un incremento en la temperatura se ve relacionado con un problema tipo electromecánico. Las áreas donde son más utilizadas las cámaras termo gráficas son instalaciones eléctricas, equipos mecánicos y estructuras refractarias.

El proceso de la señal infrarroja, sucede después de pasar por un lente, filtro, sensor y finalmente muestra el procesamiento, “La energía radiante que produce cualquier equipo es captada por los lentes de la cámara a través de un sensor; este sensor transforma la señal radiante en una señal eléctrica para que pueda ser procesada y presentada en una pantalla o display”<sup>40</sup>, (véase La Figura 8).

Figura 7. Procesamiento de la señal infrarroja

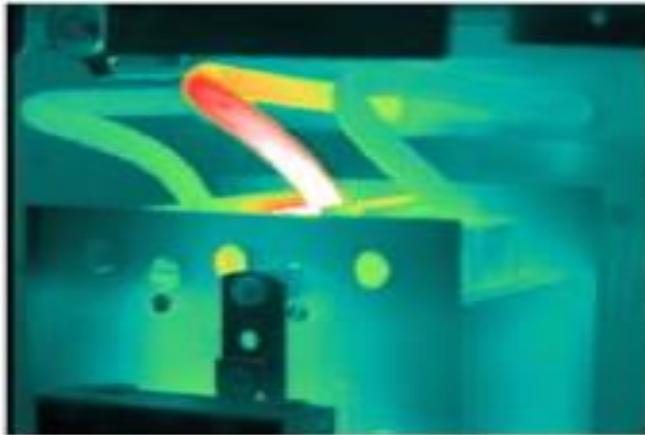


Fuente. REDALYC. Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 19 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622045>>.

<sup>40</sup>REDALYC. Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 19 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622045>>.

La temperatura es entonces una evidencia clara del comportamiento de la maquinaria en la cual se observa la degradación funcional, “dicha temperatura provoca, como ya se ha dicho, una radiación, y los sistemas de termografía infrarroja son capaces de captar dicha radiación y de convertirla en una imagen que representa la distribución de temperatura superficial del objeto observado”<sup>41</sup> (véase La Figura 9) a continuación donde la imagen refleja claramente una alteración de la distribución de la temperatura en el equipo, debido al impacto visual que maneja esta técnica, se hace más fácil identificar el lugar donde se está alterando el comportamiento.

Figura 8. Termograma



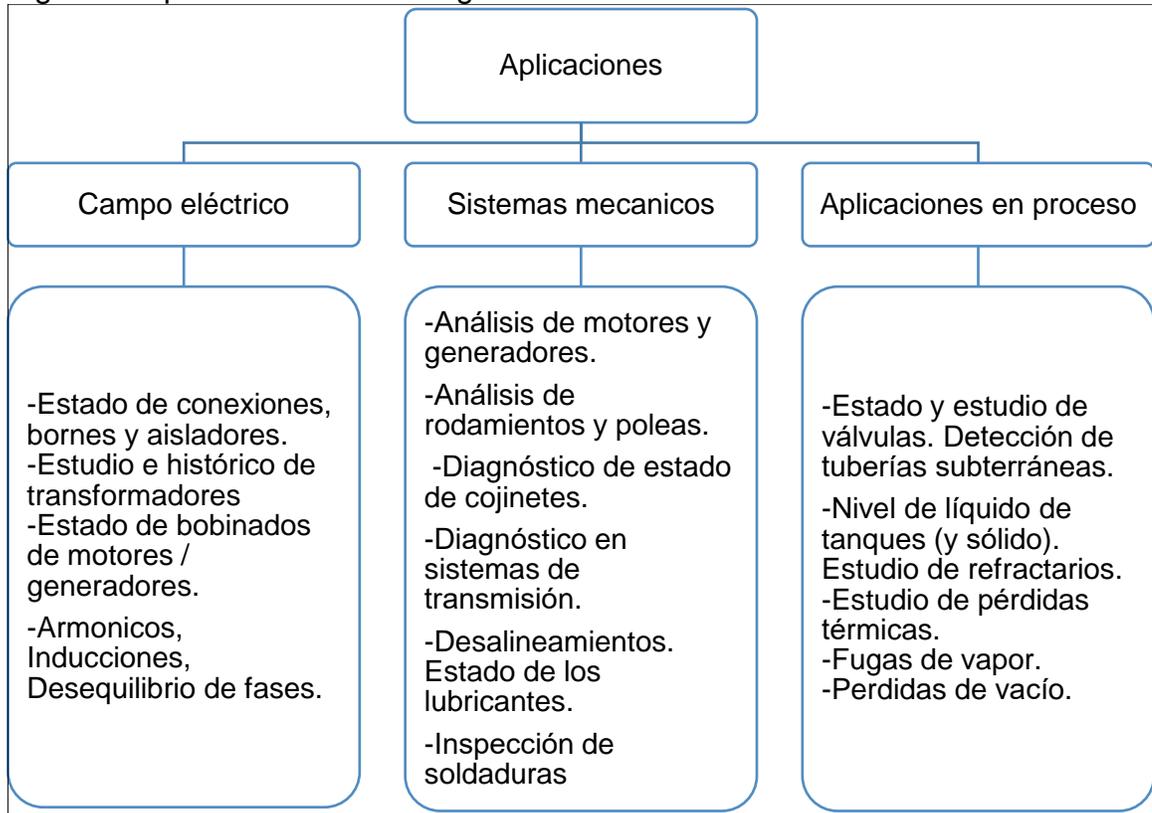
Fuente. REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: [http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf) <URL: [http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf) >.

---

<sup>41</sup>TECNICA8-ELECTROMECHANICA. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado [en línea]. La Plata: El Autor [citado 25 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://files.tecnica8-electromecanica.com/200001528-98ba999b41/Teoria-y-Practica-Del-Mantenimiento-Industrial-Avanzado.pdf> >.

## 2.2.6 Aplicaciones.

Figura 9. Aplicaciones de termografía



Fuente. El Autor.

## 2.3 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 material<sup>42</sup>, 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.

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 y 20

<sup>42</sup> REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf) >.

kHz”<sup>43</sup>. “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”<sup>44</sup>

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.

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”.<sup>45</sup>

**2.3.1 Definiciones para análisis por ultrasonido.** Para entender este tipo de técnica debido a las especificaciones es necesario tener unos conceptos de física básicos los cuales se especifican a continuación.

**2.3.1.1 Oscilación.** “Cambio periódico de la condición o el comportamiento del cuerpo”<sup>46</sup>.

**2.3.1.2 Sonido.** Onda mecánica longitudinal que se propaga a través de un medio elástico.

---

<sup>43</sup>REDALYC. Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249041>>.

<sup>44</sup> REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:[http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf)>.

<sup>45</sup> REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:[http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf)>.

<sup>46</sup>REDALYC. La detección de ultrasonido una técnica empleada en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 19 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84921327035>>.

**2.3.1.3 Periodo.** Tiempo necesario para realizar una oscilación.

**2.3.1.4 Frecuencia.** El inverso del periodo.

**2.3.1.5 Amplitud.** “Es la máxima desviación del cuerpo oscilante desde la posición de equilibrio (posición cero)”<sup>47</sup>.

**2.3.2 Límites de audibilidad.** Todos los tonos son audibles al ser humano esto varía dependiendo de las personas y de las edades, en donde la capacidad audible influye, es por esto que se calculan límites tanto inferiores como superiores para establecer rangos de audibilidad, el oído humano se encuentra con un límite inferior de 16 Hz hasta los 20 Hz, de acuerdo con los convenios internacionales estos rangos se pueden subdividir en tres, subsónico, sonido audible y ultrasónico con los límites que se especifican (véase el cuadro 4).

Cuadro 4. Límites de audibilidad

Rango	Límites
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.

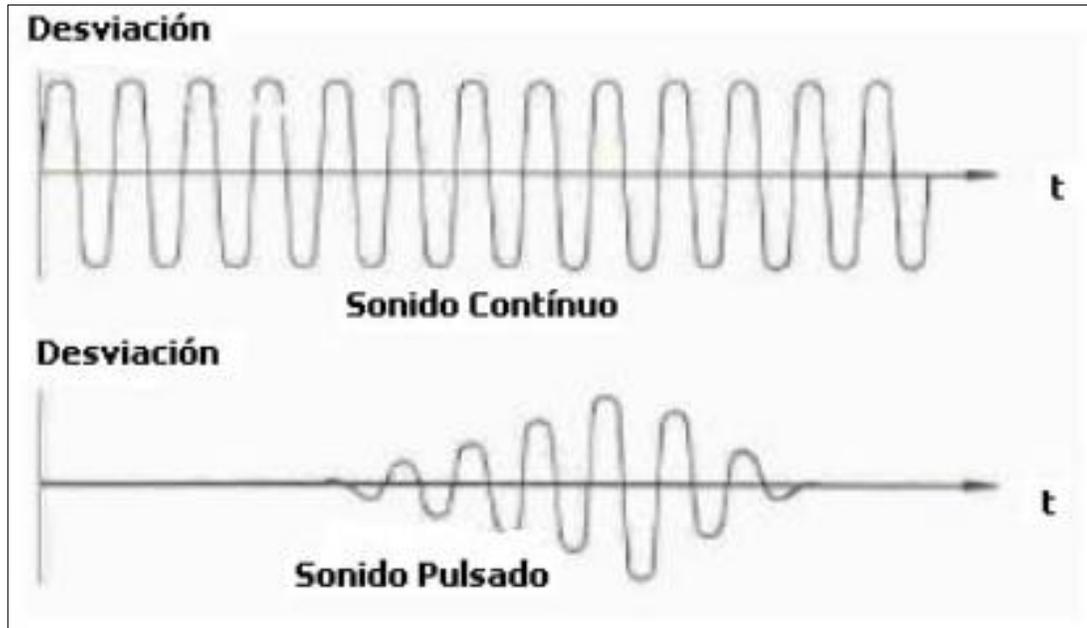
Fuente. El Autor.

**2.3.3 Subdivisión por durabilidad del sonido.** De acuerdo a la duración del sonido se puede clasificar en dos tipos de duraciones, la primera es el sonido continuo en este tipo de sonido la duración es más larga que el tiempo de oscilación; como segunda división se encuentra el sonido pulsado, donde el intervalo de dos pulsos es más largo que la duración del pulso, (véase La Figura 11) donde se observa la gráfica de los dos tipos de sonido vs el tiempo.

---

<sup>47</sup>REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf) >.

Figura 10. Sonido continuo y por pulsos graficado vs tiempo



Fuente. REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet:

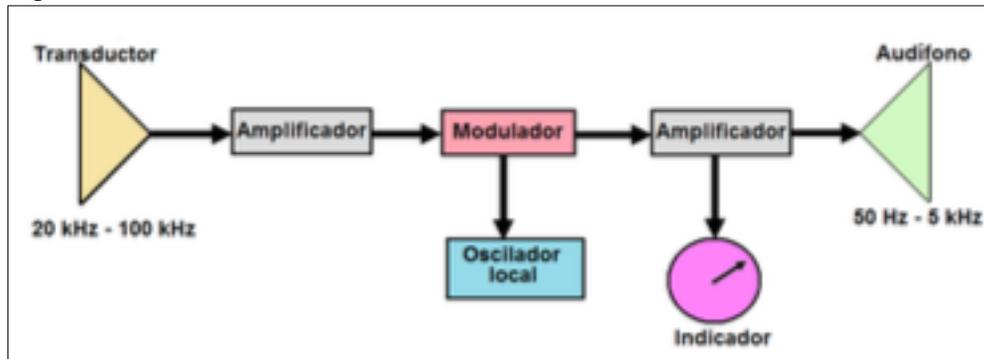
<URL:[http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf) >.

**2.3.4 Herramienta de medición.** Debido a que esta técnica está basada en el estudio de las ondas sonora, específicamente las de alta frecuencia las cuales superan el límite de zonas audibles, se fundamenta es transformar las ondas sonoras identificadas en audibles para el ser humano y con estos resultados identificados poder realizar el análisis de ellos e identificar el momento en el que se presente alguna alteración del funcionamiento normal de la máquina.

Se utiliza un detector de ultrasonido que es el encargado de capturar las ondas ultrasónicas y convertir estas en ondas con frecuencias audibles, este tipo de herramienta cuenta con la posibilidad de que estas ondas puedan ser convertidas en audibles o visualizarse por un display. Debido a que esta herramienta está basada en la generación de ondas sonoras de alta frecuencia que se presentan con corta longitud y rápida absorción de la energía, permite la identificación rápida y precisa donde los equipos presentan problemas y predecir de manera adecuada las fallas para poder realizar la acción pertinente que no interrumpa el desarrollo normal de la máquina que es el objetivo fundamental de este tipo de mantenimiento como se expresado anteriormente.

El detector de sonido es la herramienta con la que el empleado o persona encargada del mantenimiento puede ubicar la fuente del problema debido a un aumento en la frecuencia del sonido se presentara como un punto con un sonido mucho más fuerte, debido al diseño interno del detector ultrasónico (véase La Figura 12), en el que se “cuenta con cuentan con un selector de frecuencias que le permite al usuario filtrar el ruido del ambiente y escuchar la onda ultrasónica con total claridad”<sup>48</sup>.

Figura 11. Diseño interno del detector ultrasónico



Fuente. REDALYC. La detección de ultrasonido una técnica empleada en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 19 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84921327035>>.

**2.3.5 Aplicaciones.** Las aplicaciones del ultrasonido son muy amplias y abarcan industrias de toda clase, desde la metalurgia hasta la industria aeronáutica, a continuación se presentan tres aplicaciones que se aplican principalmente.

**2.3.5.1 Monitoreo de rodamientos.** Debido a que cualquier tipo de rodamiento sin importar si es nuevo o usado produce fricción entre sus partes, el ultrasonido puede detectar cualquier tipo de variación que emitan e identificar la falla.

**2.3.5.2 Detección de fugas de presión o vacío.** Este tipo de detección la realiza el ultrasonido debido a que la turbulencia del escape de presión o vacío se detecta fácilmente.

**2.3.5.3 Inspección de instalaciones eléctricas.** En este tipo identifica el ultrasonido el efecto corona y las descargas eléctricas.

<sup>48</sup>REDALYC. La detección de ultrasonido una técnica empleada en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 19 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84921327035>>.

Además de estas aplicaciones la técnica del ultrasonido detecta y caracteriza discontinuidades, mide espesores, extensión y grado de corrosión, determina características físicas y las características de enlaces entre materiales.

## **2.4 ANÁLISIS DE ACEITE.**

El aceite en una maquina representa un papel muy importante debido a que gracias a él la maquina se protege del desgaste, ayuda a controlar la temperatura de la máquina y ayuda a la limpieza de sus impurezas, es por esto que se establece como una de las técnicas predictivas del mantenimiento debido a que la evaluación de las propiedades físicas y químicas del aceite arrojará resultados de contaminación y/o degradación del aceite en grados en donde se determinara el funcionamiento correcto de la máquina.

“El grado de contaminación del aceite está relacionado con la presencia de partículas de desgaste y de sustancias extrañas, por tal razón es un buen indicador del estado en que se encuentra la máquina”<sup>49</sup>, se enfoca en maquinaria la cual está involucrada en un proceso de producción y siempre tiene que contar con óptimas condiciones de lubricación para no desgastar la máquina.

**2.4.1 Fundamentación análisis de aceite.** Las superficies que componen una máquina, normalmente se encuentran separados por películas de lubricante, que busca que la máquina opere con poca fricción y esto llevara a que no se produzca desgaste, esto para que la máquina actúe de forma óptima que exista una total separación de entre las superficies metálicas y no exista contaminación en el aceite, pero en realidad no se garantiza que exista esta separación.

Las paradas prolongadas, los arranques y los sobreesfuerzos puntuales hacen que se generen momentos de contacto metal-metal que como tal no afecta el rendimiento pero si va incidiendo en el desgaste de la máquina. Esta técnica de análisis permite cuantificar el nivel de contaminación del aceite y la degradación por medio de una serie de toma de datos de los aceites de la máquina, y que se puede tomar tanto como cuando está operando o cuando se encuentra apagada dependiendo donde se encuentre unidas las partes de la máquina debido a que el objetivo es no parar la producción y no ser una técnica de mantenimiento invasiva.

La contaminación del aceite está directamente relacionada con el nivel de partículas de desgaste de la máquina y de sustancias extrañas contenidas dentro de él, este nivel de contaminación arroja datos con los cuales se puede determinar donde se encuentra el cambio de comportamiento de la máquina, por otro lado está el nivel de desgaste del aceite el cual determina la pérdida en la capacidad de

---

<sup>49</sup>REDALYC. Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: < URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249041>>.

lubricar por la alteración de sus propiedades, estas consecuencias pueden presenciarse por la fricción metal-metal, la cual cuando se presenta es desastrosa debido a que suele terminar en un fallo a corto tiempo, por eso es importante la aplicación de este tipo de técnica de mantenimiento.

**2.4.2 Principales formas de lubricación.** Cuando en la se presenta contacto superficie-superficie se presenta un nivel de fricción máxima, la cual debe reducirse con formas de lubricación que permitan reducir esos límites, debido a que un límite muy alto provocara el desgaste de manera demasiado rápido, para esto existen unas formas de lubricación que minimicen al máximo este desgaste, no en su totalidad pero si gran parte, a continuación se presentan tres principales formas.

**2.4.2.1 Lubricación hidrodinámica.** En este tipo de lubricación se separan los componentes por medio de una película completa o mediante una cuña de aceite que se produce hidrodinamicamente, “la formación de la película hidrodinámica depende de la superficie geométrica de la máquina, su velocidad, carga y viscosidad del aceite. La viscosidad y la velocidad están relacionadas inversamente a la carga, en la formación de lubricación hidrodinámica”<sup>50</sup>. Este tipo de lubricación no se alcanza durante el arranque y se pierde en el momento de parar el equipo.

**2.4.2.2 Lubricación Elasto-Hidronámica (EHD).** Se forma en contactos en donde las superficies convergen sobre un punto o línea. Cuando está en ejecución la máquina presenta presión en el punto o línea de contacto y por cual hay poca área disponible de contacto, pero debido a que los materiales son elásticos hasta cierto punto, durante la ejecución los metales se forman para producir una pequeña área en la cual se formara hidrodinamicamente la película, la cual depende de la deformación de los materiales de rodamiento esto es llamado Elasto-Hidronámico.

“Durante el período de alta presión transitoria, el aceite cambia momentáneamente de líquido a sólido. Una vez que la presión es liberada, el aceite regresa ileso a su estado líquido. Las presiones locales extremas en los contactos de rodamientos, incrementan la importancia de una lubricación efectiva”<sup>51</sup>.

---

<sup>50</sup>REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf) >.

<sup>51</sup>REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf) >.

**2.4.2.3 Lubricación límite.** El control de la fricción depende de las características químicas del lubricante, en donde la condición son superficies opuestas que hacen contacto directamente, y no depende de la viscosidad para crear la película que las separe. “La lubricación bajo condiciones límites puede requerir el uso de algunos metales blandos que generen menor fricción de contactos o aditivos que produzcan una reacción química en la superficie de los componentes produciendo baja fricción de contacto, o lubricantes sólidos como el grafito o bisulfuro de molibdeno para reducir la fricción”<sup>52</sup>.

**2.4.3 Contaminantes más comunes en el aceite.** La contaminación del aceite conlleva al mal funcionamiento del aceite, a continuación se presentan las formas más comunes de contaminación del aceite.

**2.4.3.1 Contaminación por partículas.** Las partículas se introducen al aceite y son responsables del desgaste que provoca fallas mecánicas, estas partículas se presentan de diferente tamaño, forma, dureza y composición, estas partículas tienen gran impacto en las maquina es por esto que se controla de manera más regular a las maquinas que presenten un proceso que se considera crítico.

Estas partículas afectan tanto al aceite como a la máquina, para el primer caso “las partículas, especialmente las partículas de metales catalíticos como el cobre, hierro y plomo incrementan la tasa a la cual ocurre la oxidación”<sup>53</sup> y para el segundo caso estas partículas son las responsables de causar el desgaste que conduce a la falla mecánica, estas partículas entran en la película de aceite y pueden producir cortes en el material, también este aceite puede causar desgaste erosivo.

Las partículas pueden ingresar de diferentes maneras, una cuando la máquina interactúa con el medio ambiente o por otro lado cuando se generan internamente, se presentan diferentes fuentes de ingreso a continuación.

- Ventiladores y respiradores.
- Sellos de ejes eficientes o dañados y sellos limpiadores.
- Aceite nuevo.
- Filtros.

---

<sup>52</sup>REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf) >.

<sup>53</sup> REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf) >.

**2.4.3.2 Contaminación por humedad.** Es una de la contaminación más destructiva. El ingreso de estas partículas ocurren cuando la máquina interactúa con el medio ambiente, el ingreso del agua puede ser de diferentes fuentes nombradas a continuación.

- Atmosfera.
- Condensación.
- Fuga de refrigerante.

Una vez identificada la fuente de contaminación por agua del aceite, se debe establecer la condición del aceite, si las propiedades físicas y químicas del aceite no cambiaron, se podrá realizar la remoción del agua y dejar en condiciones óptimas para realizar su servicio de manera normal, los métodos de remoción incluyen, tanques de asentamiento, separadores centrífugos, destilación por vacío y filtros poliméricos.

**2.4.3.3 Contaminación por combustible.** Este tipo de contaminación ocurre principalmente en aplicación de motores automotrices, donde los aceites de motor tienden a acumular la dilución del combustible en cierto grado, el cambio de aceite extendido y un mal funcionamiento lleva a la acumulación de combustible en el lubricante.

La entrada de este tipo de contaminación en el equipo se puede presentar por ingreso de los residuos de combustión, gases y las fugas, el efecto que esta contaminación tiene sobre el aceite es significativo debido a que reduce el desempeño del lubricante por oxidación prematura, pérdida de viscosidad, dilución de aditivos y acumulación por azufre, por otro lado el efecto que esta contaminación tiene en la máquina es el incremento del desgaste, el incremento en la corrosión y el riesgo de fuego y explosión. Debido a estos efectos la dilución por combustible debe ser detenida en su origen, y una vez que el aceite presente contaminación por combustible en exceso debe cambiar el aceite.

**2.4.3.4 Contaminación por hollín.** El hollín nace como subproducto de la combustión, cuando se presenta una acumulación anormal de hollín se tienen efectos dañinos al lubricante y a la máquina. Los efectos que se presentan en el aceite es la pérdida de dispersión, la pérdida anti-desgaste e incremento en la viscosidad. Para la máquina los efectos se presentan obstruyendo filtros, aumentando el desgaste masivo y formando depósito, lodo y bloqueando venas de lubricación.

El hollín suele ingresar al aceite por fuga de gases, la combustión y se ocasiona por baja expresión que produce mala combustión, la alta relación combustible-aire, aire muy frio, sobrecarga y excesiva marcha del vacío. Esta contaminación debe

ser controlada corrigiendo la causa de ingreso, controlando operación o combustión, una vez contaminado el aceite no hay muchos procesos significativos de remoción debido a que suele poco se remueve.

**2.4.3.5 Contaminación por glicol.** Esta contaminación suele presentarse en sistemas que utilizan mezclas de glicol y agua para enfriamiento, especialmente en motores. Esta contaminación se introduce por sellos defectuosos, cavitación y erosión, corrosión y daño en el núcleo enfriador.

Los efectos que esta contaminación presenta en el aceite son la formación de gel y emulsiones, aumento de viscosidad y oxidación, formación de ácidos y bolas de aceite. Para la máquina se presentan de igual forma efectos debido a la contaminación de este tipo como el incremento de desgaste, incremento de corrosión y falta de filtros.

### 3. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

La metodología para implementar un sistema de mantenimiento predictivo se compone de una serie de pasos que forman el proceso del mantenimiento como tal, es por esto que se describen a continuación con el fin de proceder de manera correcta, y debido a que la implementación de este tipo de mantenimiento es de gran impacto para los costos de la empresa, se hace necesario conocer e implementar de manera adecuada este mantenimiento para que de esta manera se puedan obtener los resultados esperados con el fin de determinar el estado de la máquina del proceso, a continuación se describe la metodología.

Se compone de siete pasos, dentro de los cuales se mantiene un objetivo a cumplir, y alimentaran de forma secuencial la información para la implementación, “la metodología de trabajo para implantar un sistema de mantenimiento predictivo para sistemas mecánicos sigue los pasos que se muestran en la página siguiente”<sup>54</sup>.

#### 3.1 PASOS DE IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

**3.1.1 Análisis del sistema bajo estudio.** En este paso se pretende identificar y realizar un inventario de las maquinas implementadas en el proceso de la organización, como primera medida en el mantenimiento predictivo se implementa este control en los equipos que mayor influencia tiene en el proceso, y a medida que avanza la implementación del mantenimiento predictivo directamente aumentara en los equipos los cuales tiene controlados.

**3.1.2 Selección adecuada de parámetros.** Se realiza la recopilación de la información de la maquinaria, y en este paso se pretende seleccionar los puntos los cuales se quieran medir, dependiendo del tipo de problema que se desee detectar, para la selección de los parámetros en cada uno de los puntos. En este paso es muy importante realizar la selección de límites aceptables de la condición de la maquinaria, debido a que esos límites serán los que permitan observar la información del comportamiento de la máquina, debe ser el adecuado debido a que unos límites muy amplios dejaran pasar la mayoría de averías presentadas en la máquina, pero si por el contrario el límite es muy pequeño, siempre se estará en constante revisión debido a que los resultados arrojaran alarma de posible avería.

**3.1.3 Recolección de datos.** Este paso es la implementación de la técnica del mantenimiento predictivo definido para la maquinaria de observación, mediante la

---

<sup>54</sup>SINAIS. Ingeniería de mantenimiento. Tendencias actuales del mantenimiento industrial [en línea]. Villagarcía de Arosa: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.sinais.es/Mantenimiento%20Predictivo.pdf>>.

herramienta de medición se obtendrán los datos que estarán próximos a evaluación es por esto que se debe garantizar la fiabilidad de los datos objetos de análisis.

**3.1.4 Análisis e interpretación de los datos.** Una vez obtenidos los resultados se debe generar un informe de los mismos, con el fin de realizar un filtro de los datos obtenidos para estudiar puntos específicos y no todos los resultados de cada uno de los puntos en los cuales se tomaron medidas. Para este análisis se han desarrollado diferentes herramientas que ayudaran en cuanto a reducción de tiempos.

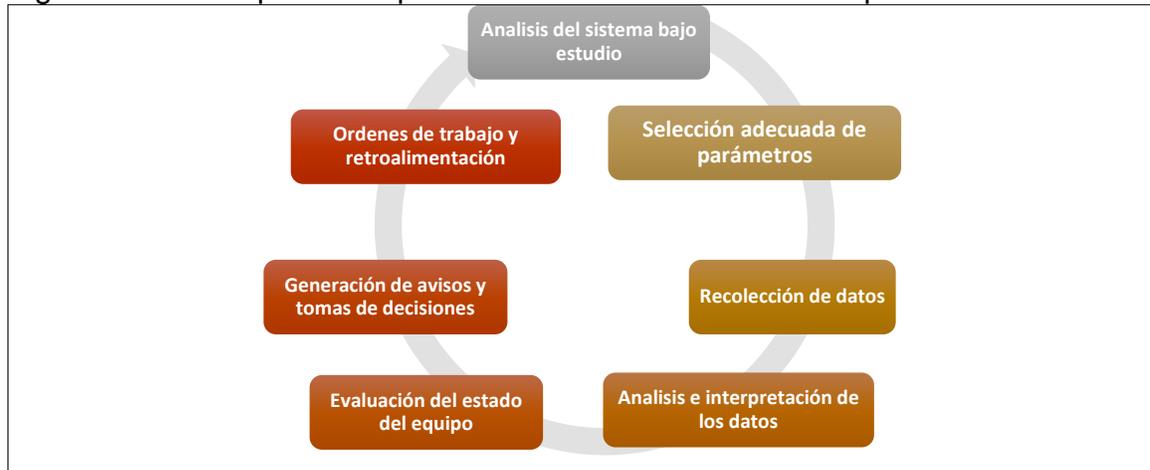
**3.1.5 Evaluación del estado del equipo.** En este paso se determina el estado de salud de la máquina, debido a que se verá el resultado del análisis de los datos, se generan los espectros de comportamiento dependiendo el tipo de técnica utilizada de mantenimiento, se evidencia la avería en la maquina observada, y el punto donde está se origina.

**3.1.6 Generación de avisos y tomas de decisiones.** De acuerdo al resultado donde se evidencia avería, se debe tomar la decisión de manera oportuna con el fin de reducir tiempos, recursos tanto materiales como humanos, evitando al máximo que la reparación sea más costosa al transcurrir el tiempo, se realiza el diagnóstico de la maquinaria.

**3.1.7 Ordenes de trabajo y retroalimentación.** Al tener el diagnóstico de la máquina, se emite una orden de trabajo donde se especifica la máquina, la anomalía y la intervención que debe realizarse. Seguido a esto se deberá implementar y realizar una medición en la cual se verifique la implementación y el buen estado de la maquina después de realizar la intervención, garantizando trabajo de la máquina de la manera correcta.

De acuerdo a los pasos descritos anteriormente se puede representar mediante un ciclo el cual se muestra a continuación, en el cual el objetivo es el correcto funcionamiento de la máquina y no permitir que esta llegue a un estado crítico donde al detectarse la avería sea muy tarde e interfiera con la producción, generando retrasos en las entregas, mayores costos de reparación y pérdida de recursos.

Figura 12. Pasos para la implementación del mantenimiento predictivo



Fuente. El Autor.

Estos pasos se desarrollan de la manera en la cual la empresa debe realizar la implementación del mantenimiento predictivo, y se relaciona directamente con el objetivo del mantenimiento predictivo, que es entonces proveer información sobre las condiciones de cada máquina o equipo lo suficientemente precisa para poder tomar una decisión de acuerdo al diagnóstico. Se basa en la norma ISO 13374-1 (Condition monitoring and diagnostics of machines — Data processing, communication and presentation), en donde se indican seis pasos claves para el cumplimiento del objetivo de este tipo de mantenimiento.

- Adquisición de datos.
- Manipulación de datos.
- Detección de la condición.
- Detección de la “salud” de la máquina o equipo.
- Pronóstico de la condición.
- Generación de avisos.

Como se puede observar estos seis pasos se incluyen en la implementación del mantenimiento predictivo nombrado anteriormente, esto con el fin de dar cumplimiento a las normas que establecen parámetros de cumplimiento. Como se evidencia en los pasos de la norma y los de la implementación la adquisición de los datos y manipulación de ellos son los puntos iniciales para que el mantenimiento predictivo se genere de la manera correcta y arroje el diagnóstico de una manera acertada, debido a que la no obtención de estos datos y/o la manipulación incorrecta de ellos harán que este mantenimiento no tenga el resultado objetivo, con estos datos errados se puede predecir de mal forma el punto donde se presenta la avería, se puede tener un nivel de holgura para que los datos funcionen de manera correcta y si estos datos se toman de manera

incorrecta pasaran de largo y no serán avisadas las averías o simplemente con toda la serie de datos obtenida se generaran alarmas de manera incorrecta y se afectara la implementación.

### **3.2 ALTERNATIVAS DE IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.**

Por todo lo que supone la implementación de este tipo de mantenimiento las organizaciones en ocasiones decide irse por alguno de estos tipos de alternativas presentadas a continuación, con el fin de alcanzar los objetivos de la implementación del mantenimiento predictivo, siempre teniendo como énfasis el elevado costo que este supone para mitigarlo.

**3.2.1 La primera alternativa tercerización.** Contratar una empresa externa que se encargue de realizar la labor del mantenimiento predictivo en su totalidad, organizaciones encargadas y especializadas en el tema que aseguran los resultados, el problema con este tipo de alternativa es que debido a que la empresa no cuenta con el departamento o las personas encargadas de llevarlo a cabo no se dispone en cualquier momento se presenta una limitación de disponibilidad lo que cual no es conveniente para la organización y si se llega a requerir en un momento específico el diagnóstico de una maquina se debe contar con el tiempo que la organización contratada disponga, pero por otro lado al ser una empresa dedicada a la implementación del mantenimiento predictivo tiene beneficios, se mantiene a la vanguardia de los instrumentos altamente confiables, a los nuevos métodos e instrumentos implementados, contando siempre con tecnología que hace que cada vez los datos sean más confiables.

Debido a que son organizaciones especializadas en la implementación de este tipo de mantenimiento, normalmente cuentan con sistemas de mantenimiento predictivo diseñados especialmente para ellos, los cuales se diseñan para la adquisición de datos que son los valores obtenidos de vibraciones, temperaturas, aceites, decibeles etc., y el procesamiento de la información que es el resultado de analizar e interpretar los datos. Es por esto que a pesar de ser tan especializados estos sistemas solo los manejan ellos, y como tienen la ventaja significativa del buen procesamiento de datos, también tienen desventajas cuando se selecciona ese tipo de organización debido a que estos sistemas tendrán un costo de licencia en cierto periodo de tiempo, serán programas que solo se podrán manejar por un especialista en este programa, son de costo elevado y usualmente no deja integrarse con la información de otras organizaciones contratadas para el mantenimiento predictivo.

**3.2.2 Segunda alternativa la compra de equipos.** La organización cuenta con esta opción desde que decide ejecutar el mantenimiento predictivo, como primera opción pero no muchas veces es adoptada como primera medida debido al alto costo de los equipos especializados para realizar el diagnóstico, este costo debe

estar dentro del proyecto del mantenimiento predictivo en la organización, por otro lado se debe tener en cuenta que una vez que la empresa adquiera estas herramientas se debe contar con personal capacitado e idóneo que ejecute de manera correcta estos equipos, “si el personal de la planta no puede mantener la sistematicidad y calidad en la recolección de datos, entonces es preferible contratar el servicio a pesar del incremento en el costo, sin correr los riesgos del fracaso con un programa mediatizado”<sup>55</sup>, por tal motivo se hace compleja como primera medida de compra de equipos, pero por otro lado si la organización ya ha implementado este tipo de mantenimiento por tercerización y después de realizar un análisis de costo-beneficio puede salir factible la adquisición de estos equipos, ya se contara con el personal capacitado o se realizaran las capacitaciones pertinentes y se contara con el personal y los equipos para llevar a cabo, esto se debe derivar de una serie de estudios donde se evalúen las tres alternativas, y la empresa esté segura de tomar esta alternativa, además que se tendrán los beneficios con los que no se cuenta en la tercerización, el más importante la disponibilidad.

Así como se manejan ventajas significativas con este tipo de alternativa en la cual el equipo contara como un activo de la organización y se dispondrá del cuándo sea necesario, también cuenta con desventajas que a medida que avanza la tecnología se pretenden mitigar; así como resulta muy útil que el equipo sea especializado para su función, se cuenta esto como desventaja debido a que si la organización en la que se pretende implementar el mantenimiento cuenta con diferentes procesos de manufactura o de obtención de su producto final, se debe contar con un equipo para cada una de las medidas que se deben obtener, entonces siendo así si la empresa posee una maquina en la cual se basa la condición por la temperatura deberá comprar una cámara termo gráfica, pero si también se tiene una máquina que se evalúa por su impedancia acústica se debe tener un equipo detector de ultrasonido; es por esto que la evolución de la tecnología deberá tender a tener un equipo que sea capaz de evaluar las diferentes condiciones de las máquinas de acuerdo a sus características de ejecución.

**3.2.3 Tercera alternativa tercerización y compra de equipos.** La empresa puede optar por tercer izar la información suministrada por los equipos y con eso se aseguran de la evaluación de los datos y también a su vez la recogida de datos de mayor complejidad o costo, así entonces puede la empresa adquirir equipos de mayor uso pero de bajo costo asegurando disponibilidad y que una vez se realice la recolección de datos se envíen a la organización contratada y con la opción que esa organización cuente con equipos más especializados y de poca frecuencia de

---

<sup>55</sup>REVISTAVIRTUALPRO. Bases para la implementar un programa de mantenimiento predictivo. Caso de estudio [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.revistavirtualpro.com/descarga/bases-para-implementar-un-programa-de-mantenimiento-predictivo-caso-de-estudio> >.

toma de datos para que una vez se necesite esta toma de datos también se pueda solicitar esa parte del mantenimiento.

Las alternativas antes descritas están sujetas a “un análisis financiero con estimaciones de ahorros de cada diagnóstico y su acción correctiva”<sup>56</sup>, debido al gran costo que esto implica pero se evalúa lo que la empresa está dispuesta a invertir en este tipo de mantenimiento, que al momento de implementarla generara un alto costo pero a medida que se obtengan los resultados se podrá observar el beneficio que esto conlleva, los no paros de producción, un mantenimiento antes de que ocurra la avería con el momento estipulado y no un paro de repente que lleva a pérdida de materia prima y de recursos humanos y demás, lo que demostrara los beneficios de la implementación de este mantenimiento.

### **3.3 CALCULO DE LA FRECUENCIA DE INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.**

Se describen factores que afectan el cálculo para determinar la frecuencia para la implementación del mantenimiento predictivo, que a pesar de no ser un dato exacto guiará a la compañía para la proyección de los gastos implementados en el mantenimiento, teniendo en cuenta que se basa en la relación riesgo-costo-beneficio; el intervalo que se presenta entre las respectivas inspecciones predictivas “será directamente proporcional a tres factores: el factor de costo, el factor de falla y el factor de ajuste”<sup>57</sup>.

**3.3.1 Factor de costo.** Se define como el tiempo que tarda llevar desde el almacén hasta el lugar donde ocurre la falla, multiplicado por la cantidad de dinero que se pierde por unidad de tiempo de parada del equipo que presenta la falla, este concepto para el caso donde se pueden medir el impacto económico, pero si la afectación interviene en un impacto ambiental o un impacto de seguridad industrial, tiende el intervalo de la inspección a cero debido a la gravedad de estos casos donde se hace incalculable la afectación. Donde (Ci) es el costo de una inspección predictiva y (Cf) es el costo en que se incurre por no detectar la falla ambas variables en unidades monetarias.

$$C = \frac{C_i}{C_f}$$

---

<sup>56</sup>REVISTAVIRTUALPRO. Tendencias del mantenimiento predictivo [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:https://www.revistavirtualpro.com/descarga/tendencias-del-mantenimiento-predictivo>.

<sup>57</sup> REVISTAVIRTUALPRO. Calculo de la frecuencia de inspección de mantenimiento predictivo [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:https://www.revistavirtualpro.com/descarga/calculo-de-la-frecuencia-de-inspeccion-de-mantenimiento-predictivo>.

**3.3.2 Factor de falla.** Este factor se tomara como la cantidad de fallas que se detectaran si se implementa el mantenimiento predictivo (**Fi**) sobre la frecuencia de ocurrencia de fallas ( $\lambda$ ) expresada en falla por años.

$$F = \frac{Fi}{\lambda}$$

**3.3.3 Factor de ajuste.** Este factor depende de la multiplicación de los dos factores nombrados anteriormente, este producto se multiplicara por el factor de ajuste que está “basado en la probabilidad de ocurrencia de más de 0 fallas en un año utilizando la distribución acumulativa de Polisión con media igual a  $\lambda$  (rata de fallas expresada como fallas por año)”<sup>58</sup>.

Este factor de ajuste resulta entonces expresado como.

$$A = -\ln(1 - e^{-\lambda})$$

Así entonces y de acuerdo a las definiciones anteriores el cálculo para el intervalo de las inspecciones de mantenimiento predictivo, quedaría definido como.

$$I = \frac{CixFi}{Cfx\lambda} x A$$

“Este modelo es recomendable para valores de  $\lambda$  menores que 1, ya que para valores mayores que la unidad, la frecuencia de inspección se puede incrementar en tal dimensión, que los costos de inspección por año pueden ser superiores al costo de no poder detectar la falla”<sup>59</sup>.

---

<sup>58</sup> REVISTAVIRTUALPRO. Calculo de la frecuencia de inspección de mantenimiento predictivo [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<https://www.revistavirtualpro.com/descarga/calculo-de-la-frecuencia-de-inspeccion-de-mantenimiento-predictivo>>.

<sup>59</sup> REVISTAVIRTUALPRO. Calculo de la frecuencia de inspección de mantenimiento predictivo [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<https://www.revistavirtualpro.com/descarga/calculo-de-la-frecuencia-de-inspeccion-de-mantenimiento-predictivo>>.

## 4. APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LA ORGANIZACIÓN.

Las organizaciones pueden apoyarse en herramientas para conocer la estimación de pérdidas en la producción por indisponibilidad que es la pérdida que con este tipo de mantenimiento se pretende minimizar al máximo o que no se genere, debido a que los otros tipos de mantenimiento genera que no se tenga disponibilidad de la maquina mientras se le realiza el proceso de mantenimiento.

### 4.1 HERRAMIENTA PARA IDENTIFICAR PERDIDAS POR INDISPONIBILIDAD.

Una de las herramientas que la organización puede utilizar para construir el análisis que permitir clasificar cualquier problema que se presente en la organización es el principio ABC, “esta técnica debidamente aplicada pone en evidencia la dirección hacia donde deben concentrarse los esfuerzos, para disminuir o eliminar los aspectos del problema que más inciden en la situación que se estudia”<sup>60</sup>, esta herramienta permite en una organización muy grande o con varios procesos productivo enfocar en primer medida de modo sistemático el mantenimiento específico, esta herramienta permite dar prioridad a todo aquello que se debe trabajar primariamente.

Cuadro 5 Clasificación del principio ABC

Clase A	Los elementos que se encuentren dentro de esta clasificación constituyen los elementos más importantes pero menos numerosos, aproximadamente constituyen un 20% pero con un aproximado del 80% del valor total, es por esto que el análisis de los elementos en esta clasificación se debe atender con prioridad.
Clase B	Los elementos que se encuentran en esta clasificación son más numerosos aproximadamente un 30% o 40%, y con una incidencia sobre el problema analizado del 20%.
Clase C	Se encuentran un número de elementos altos aproximadamente del 50% pero no constituyen más de 10% del problema analizado, a estos elementos se les puede descartar el análisis.

Fuente. El Autor.

La organización se puede basar en esta herramientas para realizar el análisis de los elementos a los cuales se les va a aplicar el mantenimiento predictivo y con base en los resultados obtenidos de la clasificación por nivel de incidencia en el valor total puede concentrar el esfuerzo en las maquinas o procesos que generen

---

<sup>60</sup>REVISTAVIRTUALPRO. Bases para la implementar un programa de mantenimiento predictivo. Caso de estudio [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.revistavirtualpro.com/descarga/bases-para-implementar-un-programa-de-mantenimiento-predictivo-caso-de-estudio>>.

más rentabilidad, maquinas críticas o que representan mayor porcentaje de perdidas dentro del proceso productivo.

## **4.2 ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA ORGANIZACIÓN.**

Teniendo en cuenta todos los pasos que anteriormente descritos en la implementación del mantenimiento predictivo, las alternativas de implementación se procede a realizar la elaboración del plan de mantenimiento predictivo ejecutable en las organizaciones. Se realiza con el fin de mostrar la manera en la que la empresa podría aplicar este mantenimiento, ya con la información sobre las diferentes técnicas de mantenimiento y todo lo que esto implica, se pretende mostrar como la organización puede operar con el mantenimiento predictivo dentro de los procesos de la organización, como se puede empalmar con todas las áreas productivas de la organización y los resultados positivos que se presuponen al realizar la implementación.

**4.2.1 Definición de objetivos.** Lo que se busca principalmente con el mantenimiento predictivo es que la falla sea diagnosticada de manera que no interrumpa el proceso de producción de la empresa, es por esto que como primer medida del plan, la organización debe definir qué objetivo principal tiene al realizar esta implementación, dicho objetivo debe ser conciso, medible y ejecutable y en que intervalo de tiempo se va a implementar. Debido a que es una técnica de alto costo se debe definir de la mejor manera posible con el fin de demostrar la importancia de su aplicación y el cambio que generara esto.

**4.2.2 Evaluación de factibilidad.** Una vez se establezca el objetivo es importante realizar una evaluación o análisis económico de la posible implementación del mantenimiento predictivo, y los impactos que esto tendrá dentro de la organización.

En esta fase se debe evaluar la viabilidad económica de la implementación, mediante un balance económico en el que se consideraran costos directos e indirectos como el coste de las reparaciones y el de la mano de obra.

**4.2.3 Establecimiento de la estrategia.** Partiendo del concepto de estrategia como el plan de acción que pretende llevar a la organización al cumplimiento de los objetivos, se debe realizar un análisis interno y externo de la organización para seleccionar que tipo de estrategia se tomara. Dependiendo el tipo de proceso productivo con que la organización cuente se decidirá qué tipo de mantenimiento se requiere para cada máquina implementada en la producción, dependiendo la liquidez con que la empresa cuente se seleccionara la alternativa de implementación que puede ser tercerización, compra de equipo o una alternativa intermedia, esto lo decidirá directamente la empresa con los departamentos involucrados en la decisión. Así mismo se establecerá la frecuencia en la cual

será implementado este tipo de mantenimiento para con toda esta información incluirla en el presupuesto de la organización.

**4.2.4 Planeación de las actividades.** Dentro de esta fase se realiza toda la metodología de implementación, es por esto que resulta tan importante realizar una planeación de las actividades, para con base en esto decidir disponibilidad de equipos, en caso que sea tercer izado solicitar con antelación y realizar programación con la empresa que se encargara de llevar a cabo esta actividad en la organización. En este paso es fundamental tener clara la metodología y los pasos involucrados en ella.

Dentro de la planeación de la actividades es necesario destinar recursos para cada uno de los pasos implementados, debido a que la falta de recursos en alguno de esos casos implicaría un resultado desfavorable para la organización, como se establece anteriormente se tiene que realizar un análisis de factibilidad, la empresa deberá tener en cuenta cada uno de los estudios que realizo para la decisión del mantenimiento predictivo.

Al realizar la planeación de la as actividades también es importante que la empresa cuente con personal cualificado, que este en capacidades de analizar los datos obtenidos, además que se establezca un apoyo incondicional de parte de toda la organización, que se establezca de manera continua para que se evite siempre los diagnósticos tardíos, las mediciones planearlas de manera que no exista un gran intervalo de tiempo entre ellas, mediciones que se establezcan con espaciado corto, se recomienda siempre para comparar los datos realizar la medición bajos las mismas condiciones para obtener datos fiables, y siempre establecer los límites para cada equipo con el fin de que la alarma cumpla su función. Todos estos son detalles que se deben involucrar en la planeación, debido a que cada mínimo descuido llevara a que el mantenimiento predictivo no cumpla su objetivo.

**4.2.5 Establecer un cronograma de actividades.** Debido a las múltiples actividades que puede contener un proceso productivo y el control de las diferentes variables que nos establecen la “salud” del equipo, se hace necesario establecer un diagrama de actividades en el cual se tenga de manera controlada cada actividad que se llevara a cabo, la empresa debe establecer tiempos de implementación, de mediciones, de análisis de datos y de resultados en la compañía; esto se establece con el fin de cumplir el objetivo que debe ser medible, en esta fase se evalúa si realmente se ha cumplido y se detalla en donde se puede encontrar el problema. Se recomienda que la compañía tenga en cuenta estos cronogramas de las actividades para que se realicen de la manera más transparente con los equipos funcionando en las condiciones normales en las que operan todos los días, sin ningún tipo de alteración; estas actividades se deben establecer en conjunto con el área de producción debido a que una maquina parada no arrojará los datos que se pretende obtener con el mantenimiento

predictivo, además que informar el tipo de mantenimiento que se implementara también es importante para que el personal conozca que no se realiza de manera invasiva y no interrumpirá sus labores diarias.

**4.2.6 Designación de responsables.** Independiente del tipo de alternativa que la organización implemente para el mantenimiento predictivo, se deberán designar responsables encargados de controlar y gestionar todo lo relacionado con las actividades implementadas en la organización, así mismo de certificar que se estén cumpliendo. Si la empresa se encargara de la implementación del mantenimiento preceptivo, se debe designar a varios responsables que se establecerán para controlar de manera adecuada, pero si la empresa tercer hizo el servicio entonces deberá designar al responsable que gestionara a la empresa que se contrató y pedirá resultados y cumplimiento en lo establecido en la relación contractual. Cabe resaltar que estos responsables tendrán la carga de velar por el cumplimiento del objetivo en la organización.

**4.2.7 Ejecución del mantenimiento predictivo en la organización.** Por ultima la fase que quedara entonces es la de la ejecución en la organización, la cual se realizara basada en todos los estudios, y decisiones tomadas con anterioridad con el propósito de cumplir con los resultados que la organización espera obtener y mejorar el margen de utilidad de la organización.

**4.2.8 Análisis de la información suministrada por las técnicas de mantenimiento implementadas.** Una vez se realice la ejecución del plan de mantenimiento predictivo, se obtendrán datos los cuales necesitan ser analizados por las personas cualificadas y designadas para esta función, debido a que unos datos obtenidos no es el resultado que se espera sino el análisis de esos; en esta fase se pueden desprender dos subyaces las cuales están relacionadas directamente con el análisis de estos datos.

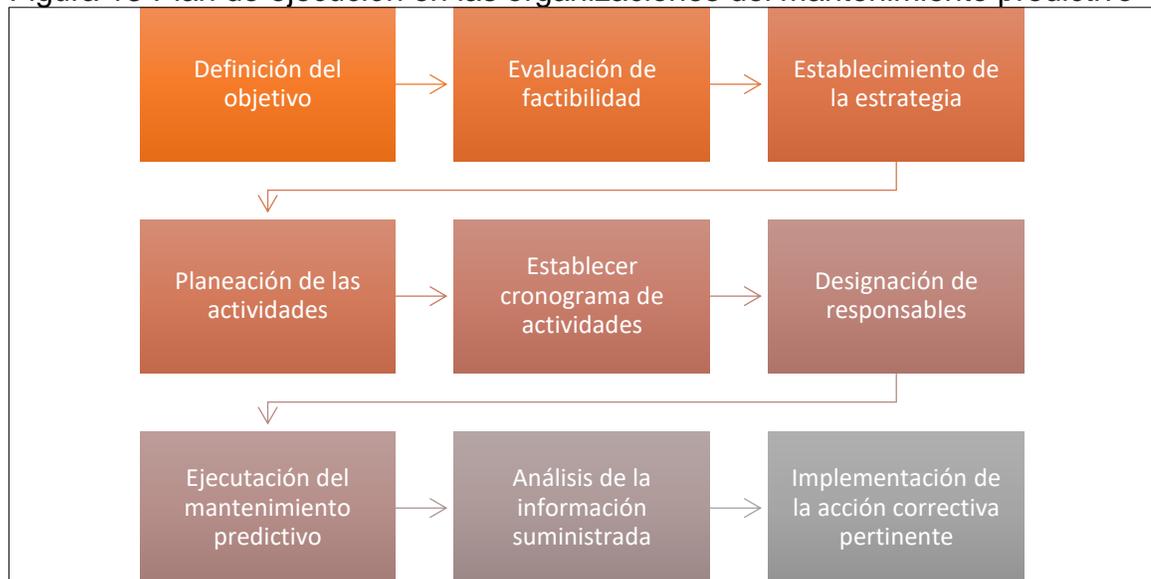
**4.2.8.1 Diagnostico del equipo sin novedad.** Si al analizar los datos se obtiene que el equipo está operando de manera normal y no presenta ningún tipo de alteración en su comportamiento, se dará por entendido que el estado de “salud” de la maquina es bueno y no presenta anomalías.

**4.4.8.2 Diagnostico del equipo con alteración.** Cuando en el análisis de los datos se detecta una alteración del comportamiento normal del equipo o que se sale de los límites de control, se genera un alerta la cual se debe atender de inmediato, para así evitar que el fallo ocurra, se identifica donde se genera la alteración del comportamiento y se diagnostica, a continuación la organización decide realizar la inspección necesaria dependiendo el tipo de equipo y programar el cambio de la pieza, o de sus componentes.

**4.2.9 implementación de la acción correctiva pertinente.** Si el diagnostico identifico alguna anomalía se interviene en la operación y se programara

dependiendo del tipo de maquinaria la acción que se tomará en el momento en que se minimicen pérdidas o no se reflejen en cuanto al proceso de producción de la máquina.

Figura 13 Plan de ejecución en las organizaciones del mantenimiento predictivo



Fuente. El Autor.

#### 4.3 INDICADORES DE GESTIÓN EN LA ORGANIZACIÓN.

Debido a que la implementación del mantenimiento predictivo afecta la ejecución presupuestal de la organización, se hace necesario conocer la situación de la empresa una vez se realice la implementación. Con esto se pretende entonces establecer indicadores en la organización en la implementación del mantenimiento, así como la organización cuenta con indicadores de gestión en otras áreas o departamentos para tener datos que permitan ver la situación actual de la empresa basada en las decisiones anteriormente tomadas, así mismo se establece para tener datos con el mantenimiento predictivo.

En la organización se debe contar con indicadores en cualquier momento, debido a que se prestan para la evaluación de la eficiencia en algunos aspectos específicos, "Cualquier contrato de mantenimiento debe exigir ratios medibles de resultado"<sup>61</sup>, a continuación se mostraran algunos de los cuales la empresa podría implementar para medir la eficiencia de la gestión.

<sup>61</sup>TECNICA8-ELECTROMECHANICA. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado [en línea]. La Plata: El Autor [citado 25 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://files.tecnica8-electromecanica.com/200001528-98ba999b41/Teoria-y-Practica-Del-Mantenimiento-Industrial-Avanzado.pdf>>.

#### **4.3.1 Indicadores enfocados a la eficiencia del departamento**

$$A1 = \frac{\text{Número de averías repetitivas}}{\text{Número de averías totales}}$$

$$A2 = \frac{\text{Número de sin localizar fallo justificativo}}{\text{Número de averías totales}}$$

$$A3 = \frac{\text{Paradas de producción por averías}}{\text{Horas teóricas de producción}}$$

#### **4.3.2 Indicadores enfocados a la gestión económica**

$$B1 = \frac{\text{Costos operativos totales del departamento de mantenimiento}}{\text{Producción valorada a costes industriales}}$$

$$B2 = \frac{\text{Costes de personal indirecto propio o tercerizado}}{\text{Costos del personal operativo de mantenimiento}}$$

Estos son algunos de los indicadores que la organización puede establecer para conocer el estado de la gestión, esto depende de lo que la organización quiere medir y junto con ellos la periodicidad de presentación de estos indicadores ante la dirección para la evaluación.

## 5. CONCLUSIONES

Mediante la investigación que se realizó durante la elaboración del presente trabajo, se indagaron las principales técnicas de mantenimiento predictivo implementadas en las organizaciones, donde se analizan las diferentes variables que influyen en la implementación de este tipo de mantenimiento, así como la medición de diferentes parámetros con los cuales se ven involucrados los equipos de la organización como lo son la vibración, la termografía, el ultrasonido y el aceite, los cuales mediante la intervención y el análisis de sus comportamiento normales serán los encargados de garantizar el mínimo error, así como la detección temprana de posibles fallas, para minimizar pérdidas y maximizar utilidades en la organización.

En el desarrollo de la investigación sobre las diferentes técnicas de mantenimiento predictivos actuales, se logró obtener los resultados esperados en cuanto a mayor información de la implementación de estas técnicas aplicadas, a pesar de no tener gran información sobre las mismas, debida a la poca investigación científica sobre estas, a pesar de representar la etapa de mayor desarrollo del mantenimiento hasta la actualidad, pasando por los diferentes avances que el tema ha tenido a lo largo de la historia, y representando mejores resultados debido a las técnicas especializadas, todo esto con el resultado de la implementación de una metodología de investigación basada en datos más recientes en investigación y revisión de documentos sobre este tipo de mantenimiento.

Como resulta se obtiene que al analizar la documentación investigada, tienden a ir enfocada en la implementación del mantenimiento en la organización, a la metodología y ejecución, debido a que las técnicas de mantenimiento están definidas por los parámetros involucrados en los procesos de los equipos, es por esto que se hace importante que la organización cuente con el conocimiento necesario para evaluar con qué tipo de técnica va a aplicar el mantenimiento en la organización, para al final realizar el análisis de datos arrojados por la técnicas pueda llegar al objetivo de este tipo de mantenimiento, predecir la falla, se genera una metodología basada en la información de cada técnica para que pueda aplicar a cualquier organización y solo difiera dependiendo el proceso en la aplicación específica de la técnica.

## **6. RECOMENDACIONES**

Debido a los resultados obtenidos en la investigación de las técnicas de mantenimiento predictivo, especialmente a la falta de información científica sobre estas técnicas, se recomendaría a la Universidad Católica de Colombia, incentivar en la investigación y generación de conocimiento sobre esta área, la cual puede convertirse en un elemento importante para que la organización genere mejores resultados, además de fundar sentido de investigación en los alumnos enfocados al programa de ingeniería industrial.

Como recomendación general, se podría establecer una base de datos específica para la búsqueda de información sobre el programa ingeniería industrial, para tener un espacio dedicado a este tipo de conocimiento y enfocado en brindar mayor conocimiento y generación de ideas para la implementación así como para la invención de otro tipo de técnica además de las conocidas actualmente.

## BIBLIOGRAFIA

INTEGRACIÓN Y CONTROL. Sensores de velocidad y posición [en línea]. Zaragoza: El Autor [citado 10 octubre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.integracionycontrol.com/web/index.php/productos-integracion-y-control/sensorline/sensores-de-velocidad>>.

REDALYC. Análisis de vibraciones una herramienta clave en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 8 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249040>>.

REDALYC. Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 19 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622045>>.

REDALYC. La detección de ultrasonido una técnica empleada en el mantenimiento predictivo [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 19 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84921327035>>.

REDALYC. Mantenimiento y análisis de vibraciones [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032407>>.

REDALYC. Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249041>>.

REPOSITORIO DE TESIS USAT. Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad de las maquinarias en la empresa construcciones reyes S.R.L. para incrementar la productividad [en línea]. Chiclayo: El Autor [citado 30 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:[http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/usat/798/1/TL\\_%20AlbanSalazarNery.pdf](http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/usat/798/1/TL_%20AlbanSalazarNery.pdf)>

REPOSITORIO DIGITAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA-UNAM. Análisis de la implementación del mantenimiento productivo total (TPM) mediante el modelo de opciones reales [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 30 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5393/Tesis%20.pdf?sequence=1>>.

REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo [en línea]. San salvador: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet:

<URL:[http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_mantenimiento_Predictivo.pdf) >.

REVISTADYNA. Sistema basado en conocimiento para análisis de vibraciones en mantenimiento predictivo [en línea]. Bilbao: El Autor [citado 11 octubre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:[file:///C:/Users/Docentes\\_Ind/Downloads/1498DYNAINDEX.pdf](file:///C:/Users/Docentes_Ind/Downloads/1498DYNAINDEX.pdf) >.

REVISTAVIRTUALPRO. Bases para la implementar un programa de mantenimiento predictivo. Caso de estudio [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<https://www.revistavirtualpro.com/descarga/bases-para-implementar-un-programa-de-mantenimiento-predictivo-caso-de-estudio> >.

REVISTAVIRTUALPRO. Calculo de la frecuencia de inspección de mantenimiento predictivo [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<https://www.revistavirtualpro.com/descarga/calculo-de-la-frecuencia-de-inspeccion-de-mantenimiento-predictivo>>.

REVISTAVIRTUALPRO. Proceso de implantación de las nuevas tendencias de mantenimiento en procesos productivos [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<https://www.revistavirtualpro.com/descarga/bases-para-implementar-un-programa-de-mantenimiento-predictivo-caso-de-estudio>>.

REVISTAVIRTUALPRO. Tendencias del mantenimiento predictivo [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<https://www.revistavirtualpro.com/descarga/tendencias-del-mantenimiento-predictivo>>.

SINAIS. Ingeniería de mantenimiento. Tendencias actuales del mantenimiento industrial [en línea]. Villagarcía de Arosa: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.sinais.es/Mantenimiento%20Predictivo.pdf>>.

STUDYLIB. ¿Qué es el mantenimiento? [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://studylib.es/doc/4451142/¿qué-es-el-mantenimiento%3F>>.

STUDYLIB. Análisis de falla. Fiabilidad y Mantenibilidad [en línea]. Córdoba: El Autor [citado 24 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://studylib.es/doc/6823729/análisis-de-falla--fiabilidad-y-mantenibilidad>>.

TECNICA8-ELECTROMECHANICA. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado [en línea]. La Plata: El Autor [citado 25 septiembre, 2017]. Disponible en

Internet: <URL:<http://files.tecnica8-electromecanica.com/200001528-98ba999b41/Teoria-y-Practica-Del-Mantenimiento-Industrial-Avanzado.pdf> >.

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DEL ORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO TESOEM. Administración del mantenimiento [en línea]. La Paz: El Autor [citado 14 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.tesoem.edu.mx/alumnos/cuadernillos/2009.001.pdf>>.

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS. Propuesta de mejora del programa de mantenimiento preventivo actual en las etapas de pre hilado e hilado de una fábrica textil [en línea]. Ciudad de México: El Autor [citado 13 junio, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/578614/2/Tesis+Mario+Salas+Maceda.pdf> >.