

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

SEDE MATRIZ CUENCA

CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS PREVIA A LA
OBTENCION DEL TITULO
DE INGENIERO ELECTRICO.

TEMA:

*“ESTUDIO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO EN LA COMPAÑÍA ECUATORIANA DEL CAUCHO ERCO”.*

AUTORES:

Diego Armando Cherres Fajardo

José Javier Ñauta Chuisaca

DIRECTOR

Ing. Omar Alvarez

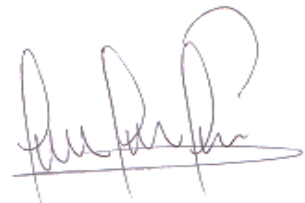
Cuenca, Diciembre de 2015.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Diego Armando Cherres Fajardo y José Javier Ñauta Chuisaca declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado por ningún grado o clasificación profesional y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.

Cuenca, Diciembre del 2015.



0104610688

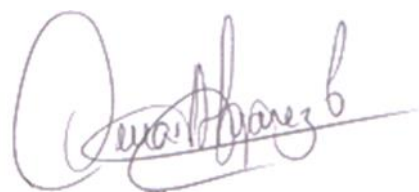


0103104196

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: Diego Armando Cherres y José Javier Ñauta, bajo mi dirección y supervisión.

Cuenca, Diciembre del 2015

A handwritten signature in purple ink, appearing to read 'Omar Álvarez', with a large circular flourish at the beginning and a horizontal line extending to the right.

Ing. Omar Álvarez

Director

DEDICATORIA

Esta tesis la dedicamos a nuestras queridas familias: padres, esposa e hijos quienes sirvieron de inspiración y nos apoyaron en todo momento, hasta ver cumplida nuestra meta.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos de manera especial a nuestro director de tesis: el Ing. Omar Álvarez por ser nuestro guía y amigo para desarrollar el presente estudio; además a la Universidad Politécnica Salesiana, sus profesores y de manera muy especial a nuestro director de carrera Ing. Marco Carpio quienes aportaron con su conocimiento para culminar nuestra formación profesional.

INDICE

Portada.....	i
Declaratoria de responsabilidad.....	ii
Certificación.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v

CAPITULO 1

EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

1.1 Introducción.....	2
1.1.1 Situación actual de mantenimiento.....	3
1.1.2 Mantenimiento funcionar hasta fallar.....	3
1.1.3 Mantenimiento periódico preventivo.....	4
1.1.4 Mantenimiento predictivo.....	5
1.2 TERMOGRAFÍA INFRARROJA	
1.2.1	
Introducción.....	8
1.2.2 Principios físicos.....	10
1.2.3 Ley de desplazamiento de Wien.....	11
1.2.4 Ley de Stefan Boltzman.....	12
1.2.5 Cuerpo real.....	13

1.2.6	Parámetros de diseño de un sistema infrarrojo.....	14
1.2.7	Aplicaciones más comunes.....	16
1.2.8	Conclusiones.....	21
1.3	ANÁLISIS DE VIBRACIONES	
1.3.1	Introducción.....	21
1.3.2	Análisis de vibraciones en máquinas.....	22
1.3.3	Causas más comunes de fallo.....	24
1.3.3.1	Fallos en acoplamientos.....	24
1.3.3.2	Monitoreos en las máquinas.....	26
1.3.4	Métodos de medida de vibraciones para máquinas.....	27
1.3.4.1	Medida de vibraciones severas.....	27
1.3.4.2	Medida de vibraciones en motores alternativos.....	27
1.3.4.3	Equipos de medida.....	27
1.3.4.4	Sistema de adquisición de datos.....	29
1.3.5.1	Medición y análisis de vibraciones en un sistema bomba-motor.....	30
1.4	ANÁLISIS DE ACEITES	
1.4.1	Introducción.....	32
1.4.2	Formación de partículas de desgaste.....	35
1.4.3	Análisis de aceite dieléctrico.....	36
1.4.4	Tipos de análisis que se pueden hacer al aceite dieléctrico.....	37
1.4.4.1	Análisis cromatográfico de gases.....	37

1.4.3.3 Aplicaciones en la industria.....	38
---	----

1.5 NORMATIVA REGULATORIA

1.5.1 Normativa para análisis de vibraciones.....	42
---	----

1.5.1.2 Tipos de normas.....	43
------------------------------	----

1.5.1.3 Tipos de maquinaria.....	44
----------------------------------	----

1.5.1.4 Normas sobre la instrumentación y sistemas de medida.....	45
---	----

1.5.1.5 Normas y guías sobre la severidad en las vibraciones.....	49
---	----

1.5.1.6 Normas ISO.....	49
-------------------------	----

1.5.2 Normativa para termografía.....	55
---------------------------------------	----

1.5.3 Normativa para análisis de aceites.....	61
---	----

1.5.3.1 Pruebas de laboratorio y las normas ASTM.....	61
---	----

1.5.3.2 Análisis físico-químico del aceite.....	62
---	----

1.5.3.3 Conclusiones.....	69
---------------------------	----

CAPITULO 2

DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A ERCO

2.1 Antecedentes.....	71
-----------------------	----

2.2 Ubicación.....	71
--------------------	----

2.3 Situación actual de ERCO.....	71
-----------------------------------	----

2.3.1 Procesos productivos.....	73
---------------------------------	----

2.3.1.1 Planta 1.....	73
-----------------------	----

2.3.1.2 Planta 2.....	82
-----------------------	----

2.3.1.2.1 Preparación de materiales.....	82
--	----

2.3.1.2.2 Construcción.....	86
2.3.1.2.3 Vulcanización.....	89
2.4 Clasificación de la maquinaria para intervención.....	91
2.4.1 Breve descripción del SIM.....	91
2.4.2 Paradas de producción obtenidas del SIM.....	92
2.5 Implementación del nuevo sistema de mantenimiento predictivo.....	95
2.5.1 Mantenimiento preventivo en ERCO.....	96
2.5.2 Mantenimiento predictivo.....	96
2.5.2.1 Tiempos de monitoreo de máquina.....	98
2.6 Análisis de costo de implementación.....	101
2.6.1 Introducción.....	101
2.6.2 Costo de mano de obra.....	101
2.6.3 Costo de capacitación.....	102
2.7 Observaciones.....	103

CAPITULO 3

ESTUDIO PARA IMPLEMENTACION DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN ERCO

3.1 Introducción.....	106
3.2 Equipos requeridos para realizar los análisis.....	106
3.2.1 Cámara termográfica FLUKE Ti25.....	106
3.2.1.1 Propiedades.....	107
3.2.1.2 Especificaciones técnicas.....	108

3.2.1.3 Especificaciones generales.....	109
3.2.2 Analizador de vibraciones DIGIVIBE MX100.....	110
3.2.2.1 Características principales.....	110
3.2.2.2 Herramienta de interpretación y diagnóstico.....	112
3.2.2.3 Análisis de rodamientos.....	113
3.2.2.4 Accesorios opcionales.....	113
3.2.2.5 Documentación.....	113
3.2.2.6 Kit.....	113
3.2.2.7 Ficha técnica DIGIVIBE MX 100.....	114
3.2.3 Analizador de aceites SPECTROLNF Q200.....	115
3.2.3.1 Contador de partículas.....	115
3.2.3.2 Funcionamiento.....	115
3.2.3.2.1 Clasificador de forma de partícula.....	116
3.2.3.2.2 Partículas.....	116
3.2.3.2.3 Viscosidad.....	117
3.3 Análisis de costo beneficio	
3.3.2 Cálculo de las razones financieras.....	117
3.3.2.1.1 Costo de los equipos.....	118
3.3.2.1.2 Costo de la mano de obra.....	120
3.3.2.2 Pérdidas de producción por mantenimiento.....	124
3.3.2.2.1 Mezclador # 1.....	126
3.3.2.2.2 Calandria.....	127

3.3.2.2.3 Steelastic # 2.....	127
3.3.2.2.4 FSW 400.....	128
3.3.2.2.5 Expander # 9.....	128
3.3.2.2.6 Total de pérdidas.....	129
3.3.2.2.7 Porcentaje totales por mes y total de pérdidas anual.....	129
3.3.2.3 Factibilidad del proyecto.....	131
3.4 Propuesta de implementación	
3.4.1 Introducción.....	131
3.4.2 Costo de infraestructura.....	132
3.4.3 Costo de los equipos.....	133
3.4.4 Costo de operación.....	133

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.....	140
4.2 Recomendaciones.....	141
4.3 Bibliografía.....	142

ANEXO “A”

Modelo de reportes para: Termografía, Análisis de vibraciones y de aceites.....	144
---	-----

ANEXO “B”

PLANOS PARA OFICINAS: INTERNA DE ERCO Y DE EMPRESA INDEPENDIENTE.....	153
---	-----

CAPITULO 1

EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

1.1 INTRODUCCION.

Con el propósito de conocer una perspectiva acerca de los programas de mantenimiento modernos, examinaremos un poco más de cerca la historia de las prácticas de mantenimiento.

La historia de mantenimiento acompaña el desarrollo Técnico-Industrial de la humanidad. Al final del siglo XIX, con la mecanización de las industrias, surgió la necesidad de las primeras reparaciones. Hasta 1914, el mantenimiento tenía importancia secundaria y era ejecutado por el mismo personal de operación o producción. Con el advenimiento de la primera guerra mundial y de la implantación de la producción en serie, fue instituida por la compañía Ford-Motor Company, fabricante de vehículos, las fábricas pasaron a establecer programas mínimos de producción y, en consecuencia, sentir la necesidad de crear equipos de que pudieran efectuar el mantenimiento de las máquinas de la línea de producción en el menor tiempo posible.

El primer tipo de mantenimiento era de funcionamiento-hasta-fallar, en donde la máquina funcionaba hasta que una falla interrumpía el servicio. Eso es obviamente una política costosa, la mayor parte del costo está representada por la imprevisibilidad del estado de la máquina. Es sorprendente saber que gran parte del mantenimiento del día de hoy es de este tipo.

Por fin, la gente de mantenimiento encontró la idea del mantenimiento periódico preventivo, en donde las máquinas son desarmadas y reacondicionadas según programas regulares. La teoría es que si se reacondicionan las máquinas antes de que se termine su duración de vida esperada, no presentarán fallas en servicio. El mantenimiento preventivo ya existió por mucho tiempo, pero se hizo mucho más importante en los años 1980 como veremos.

En los últimos 10 años, el mantenimiento predictivo se hizo muy popular. Este es el mantenimiento en que solamente se va a componer una máquina cuando se sabe que presenta una falla. No se interfiere con máquinas que funcionan bien, basándose en la teoría: "Si algo no está roto, no hay que repararlo".

La innovación más reciente en mantenimiento se llama mantenimiento proactivo, e incluye una técnica llamada "Análisis de Causas Fundamentales de Fallas" en que se busca la causa fundamental de una falla de la máquina y se la corrige.

Más adelante haremos una evaluación de algunas filosofías de mantenimiento.

1.1.1 Situación actual de mantenimiento.

En la década de los 90 se hizo una medición internacional del mantenimiento en la mayoría de plantas industriales. Encontraron que las cuatro técnicas de mantenimiento mencionados anteriormente estaban en uso en unos porcentajes que mencionamos a continuación:

- Más de la mitad de horas de mantenimiento se usan en el modo correctivo, realizando reparaciones de emergencia, no programadas.
- Menos del 10% de las horas se usan en mantenimiento preventivo.
- Menos del 40% del mantenimiento es predictivo
- Muy poco tiempo se usa en técnicas proactivas.

Esos números nos demuestran que como decía Thomas Edison, cuando inventó el fonógrafo, "apenas hemos rascado la superficie....¹", llevando prácticas de mantenimiento en el siglo 20.

Tiene sentido que un programa moderno de mantenimiento de máquina incluya elementos de cualquiera de esas técnicas, y con el fin de saber porque, las examinaremos a continuación.

1.1.2 Mantenimiento: Funcionar - hasta – Fallar.

El mantenimiento de funcionamiento-hasta -fallar a veces se llama "mantenimiento correctivo" por buenas razones.

Por mucho tiempo esta fue la forma dominante de mantenimiento y sus costos son relativamente elevados, debido a los tiempos de inactividad no programados, maquinaria dañada, y gastos de tiempo extra.

De esta manera, la gerencia y el departamento de mantenimiento son controlados por los caprichos de sus máquinas, y el estado actual del parque de máquinas de la planta solamente se conoce de una manera imprecisa. Esto hace casi imposible planificar las necesidades de mantenimiento, y lo que es peor, predecir el estado general de disponibilidad del sistema.

El mantenimiento de funcionamiento-hasta-fallar debería representar una pequeña parte de un programa moderno, pero hay algunas situaciones donde tiene sentido. Un ejemplo es

una planta con un gran número de máquinas similares, que no son caras para reemplazar o reparar. Cuando ¹una falla, otras están programadas para tomar su lugar y la producción no se ve muy afectada.

1.1.3 Mantenimiento periódico preventivo.

Desde el funcionamiento-hasta-fallar progresamos al mantenimiento periódico preventivo que a veces es llamado "mantenimiento histórico". En este tipo se analizan las historias de cada máquina y se programan reparaciones periódicas antes de que ocurran los problemas que estadísticamente se pueden esperar. Ya se sabe desde hace mucho que grupos de máquinas similares van a tener proporciones de fallas que se pueden predecir hasta cierto punto, si se toman promedios durante un tiempo largo. Esto produce "la curva de la tina" que relaciona la proporción de fallas al tiempo de operación de la manera siguiente:

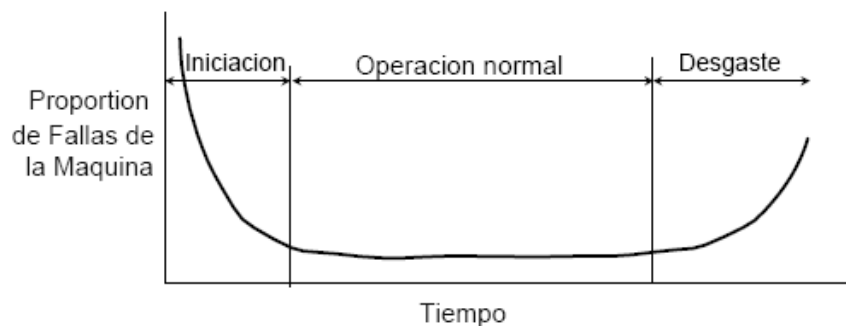


Fig. # 1 Curva de la tina.

FUENTE: ORDÓÑEZ Guerrero Antonio, Universidad de Sevilla, Escuela Universitaria Politécnica, Virgen de África nº 7,41011 SEVILLA (ESPAÑA), pág. 5. Disponible en www.us.es/mmindustrial.

Si esta curva es aplicable a todas las máquinas del grupo, y si la forma de la curva es conocida, se podría usar el mantenimiento preventivo de manera ventajosa, lamentablemente ese no es el caso en la práctica.

El mantenimiento preventivo también incluye actividades como el cambio del aceite y de los filtros y la limpieza e inspección periódica. La actividad de mantenimiento se puede planificar en base al tiempo del calendario o a horas de operación de la máquina, cantidad de partes

¹ Kelly, A.; Harris, M.J. (1998). Gestión del mantenimiento industrial, Fundación REPSOL YPF, ISBN: 84-923506-0-1

producidas etc. El mantenimiento preventivo se hizo muy popular al principio de la década de los 80 cuando se empezó a usar pequeñas computadoras para la planificación y el registro de las actividades de mantenimiento.

En un estudio famoso acerca de mantenimiento preventivo por United y American Airlines, encontraron que para un gran tipo de máquinas giratorias, la proporción de fallas se incrementaba de manera importante inmediatamente después de las reparaciones, en otras palabras, el reacondicionamiento provocaba una reducción de la confiabilidad de las máquinas. Es como si la máquina regresa al inicio de la curva de la tina después de cada reacondicionamiento.

De este estudio y de observaciones posteriores, se dedujo que las reparaciones periódicas causaron 20% a 25% de las fallas al arrancar. Alrededor del 10% de esas fallas se pueden atribuir a rodamientos defectuosos.

Es obvio que el mantenimiento preventivo hace un uso ineficiente de los recursos para la mayoría de las máquinas. Pero hay casos en que se les pueden usar con buenos resultados. Buenos ejemplos son las máquinas que tienen desgaste por el uso como trituradoras de rocas y de minerales, y máquinas sujetas a la corrosión como máquinas que manejan sustancias causticas.

1.1.4 Mantenimiento predictivo

El siguiente paso en la tecnología de mantenimiento fue la llegada del mantenimiento predictivo, basado en la determinación del estado de la máquina en operación: **La técnica está basada en el hecho que la mayoría de las partes de la máquina darán un tipo de aviso antes de que fallen.** De esta forma se puede decir que el mantenimiento predictivo o bajo condición, es la evaluación del estado de los componentes mecánicos o eléctricos mediante técnicas de seguimiento y análisis, permitiéndonos programar las operaciones de mantenimiento “solamente cuando son necesarias”. Consiste esencialmente en el estudio de ciertas variables o parámetros relacionados con el estado o condición del medio que mantenemos, como por ejemplo la vibración, temperatura, aceites, aislamientos, etc.

² ORDÓÑEZ Guerrero Antonio, Universidad de Sevilla, Escuela Universitaria Politécnica, Virgen de África nº 7,41011 SEVILLA (ESPAÑA), Disponible en www.us.es/mmindustrial.

El estudio de estos parámetros nos suministra información del estado de sus componentes y, algo también muy importante, del modo en que está funcionando dicho equipo, permitiéndonos no solo detectar problemas de componentes sino también de diseño y de instalación. El objetivo del mantenimiento predictivo es la reducción de los costos de operación y de mantenimiento incrementando la fiabilidad del equipo.

La base del mantenimiento predictivo radica en la monitorización de los equipos, ya que debemos evaluar los parámetros antes comentados con la instalación en funcionamiento normal. No es por tanto necesario hacer una parada para poder evaluar la condición de los mismos, conocemos el estado de nuestras máquinas mientras están trabajando.

Con las diferentes técnicas disponibles podemos evaluar los fallos en los componentes y seguir su evolución durante largos periodos de tiempo (a veces meses) antes de decidir nuestra intervención, de esta manera podemos coordinar con producción el momento más adecuado para la intervención de mantenimiento.

Las actuaciones con mantenimiento predictivo pasan por unos inconvenientes iniciales de elevados costos de inversión en tecnología y formación, con una rentabilidad de la misma a medio y largo plazo. Pero las ventajas son evidentes:

- Conocemos el estado de la máquina en todo instante.
- Eliminamos prácticamente todas las averías.
- Solo paramos o intervenimos en la máquina cuando realmente es necesario.
- Conocemos el daño en los componentes desde una fase inicial del mismo, permitiéndonos programar su sustitución en el momento más conveniente.
- Al intervenir en la máquina conocemos el problema, reduciendo el tiempo de la reparación.
- Podemos identificar los fallos ocultos, así como la causa de fallos crónicos.
- Reducimos las piezas del almacén, adquiriéndolas cuando detectamos el problema en una fase primaria.
- Conseguimos bonificaciones en los seguros.
- Incrementamos la seguridad de la planta.

El gráfico que mostramos a continuación es la mejor forma de entender en que consiste el mantenimiento predictivo. Se trata de un gráfico de tendencias en el que en el eje de ordenadas evaluamos uno de los parámetros que estemos midiendo (severidad de

vibración, temperaturas, contaminantes, etc.) y en el eje de abscisas medimos tiempo, mientras la severidad de nuestro parámetro permanezca estable no tendremos porqué preocuparnos (el equipo está bien), pero cuando ésta comience a subir será un indicativo de que algo va mal. Con técnicas de análisis podremos determinar con extraordinaria precisión la causa del daño. Mención particular merece el establecimiento de los límites de alerta y de fallo, debido a su clara importancia. Existen diversas formas de establecerlos, siendo necesario siempre disponer de un histórico de medidas que nos permita realizar un estudio estadístico de las mismas.

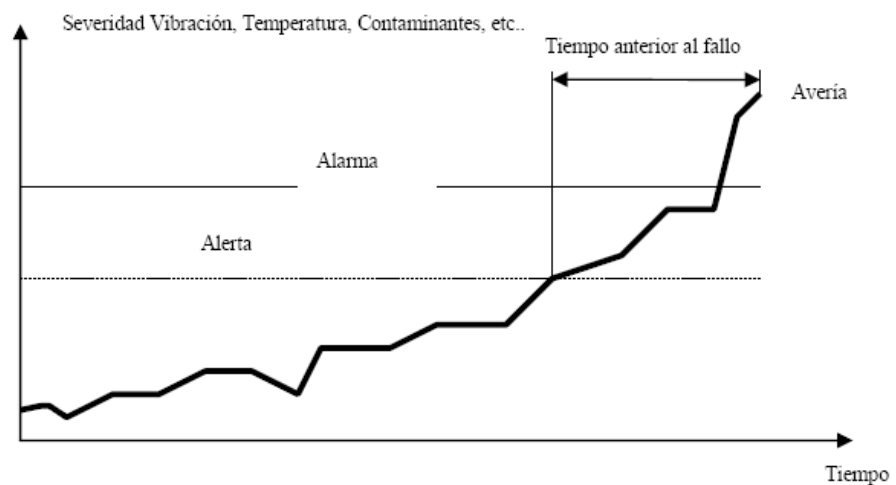


Fig. # 2 Gráfico de tendencias de mantenimiento predictivo.

FUENTE: ORDÓÑEZ Guerrero Antonio, Universidad de Sevilla, Escuela Universitaria Politécnica, Virgen de África nº 7,41011 SEVILLA (ESPAÑA), pág. 5. Disponible en www.us.es/mmindustrial.

Para percibir los síntomas con que la máquina nos está advirtiendo requiere varias pruebas no destructivas, tal como análisis de aceite, análisis de desgaste de partículas, análisis de vibraciones y medición de temperaturas, el uso de estas técnicas, para determinar el estado de la máquina dará como resultado un mantenimiento mucho más eficiente, en comparación con los tipos de mantenimiento anteriores.

1.2 TERMOGRAFÍA INFRARROJA.

La Termografía es la rama de la teledetección que se ocupa de la medición de la temperatura radiada por los fenómenos de la superficie de la tierra desde una cierta

distancia. Una termografía infrarroja es la técnica de producir una imagen visible de luz infrarroja invisible (para nuestros ojos) emitida por objetos de acuerdo a su condición térmica. Una cámara termográfica produce una imagen en vivo (Visualizada como fotografía de la temperatura de la radiación).

Las cámaras miden la temperatura de cualquier objeto o superficie de la imagen y producen una imagen con colores que interpretan el diseño térmico con facilidad. Una imagen producida por una cámara infrarroja es llamada: Termografía o Termograma.

1.2.1 Introducción.

La radiación infrarroja (IR) emitida a través de la superficie de un cuerpo contiene información característica de la materia que compone ese cuerpo, así como de sus propiedades. El uso de esta información mediante un sistema de adquisición y tratamiento apropiado permite conocer y controlar ciertos parámetros de difícil medida, de otro modo. El caso concreto que nos ocupa es el uso de la radiación IR como medio para conocer la temperatura de un cuerpo o bien para obtener una diferenciación de los distintos materiales que lo forman. Esto se consigue conociendo la radiación (cantidad y longitud de onda) que emite un cuerpo, teniendo en cuenta la posición relativa entre cuerpos de muy diferente temperatura y ciertas propiedades de la superficie de los cuerpos.

La termografía por radiación infrarroja como herramienta para usos no militares comenzó su utilización en la década de los 60. Desde entonces su desarrollo tanto en la propia tecnología, como en tipos de equipos y aplicaciones de la técnica no ha hecho más que crecer.

Su historia se remonta a 1800 cuando Sir Willian Herchel estaba buscando un filtro óptico para su telescopio. Observó que ciertos cristales coloreados dejaban pasar más calor solar que otros (Fig. # 3). Decidió hacer un estudio más detallado de este fenómeno y procedió a medir la temperatura de los diversos haces de colores en que se descompone la luz al atravesar un prisma de Newton. Pudo comprobar que la temperatura iba creciendo desde el violeta hasta el rojo, pero la mayor temperatura se registraba en una zona oscura, fuera del haz visible, más allá del color rojo.

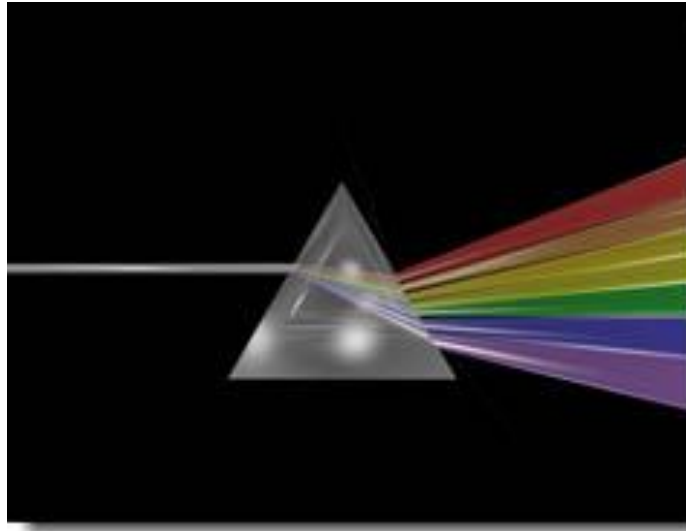


Fig. # 3 Cristal

FUENTE: BARRON Ron, ENGINEERING CONDITION MONITORING, Practice, Methods and Applications, University of Strathclyde, Glasgow, Editorial LONGMAN, ISBN: 0-582-24656-3.

Esto fue el inicio de futuras investigaciones en esta parte del espectro electromagnético: la radiación infrarroja, originalmente llamada “calor oscuro”. Al ser el espectro electromagnético continuo, su división en las distintas regiones que conocemos (Fig. # 4) depende, por ejemplo, del rango de detección de los detectores que se conocen en la actualidad o de los usos que se conozcan de determinados intervalos, ya que el espectro en sí es continuo. La región del espectro electromagnético conocida como radiación IR está comprendida entre los 0,7 μm y 1.000 μm , aproximadamente, de longitud de onda. La radiación IR viaja a través del espacio a una velocidad conocida como “velocidad de la luz” (300.000 km/s) y como tal radiación puede ser reflejada, refractada, absorbida y emitida.



Fig. # 4 Representación esquemática del espectro electromagnético según su longitud de onda.

FUENTE: BARRON Ron, ENGINEERING CONDITION MONITORING, Practice, Methods and Applications, University of Strathclyde, Glasgow, Editorial LONGMAN, ISBN: 0-582-24656-3.

Los cuerpos radian energía en función directamente proporcional a su temperatura. Esta radiación es generada por la vibración y rotación propia de los átomos y moléculas que componen un material.

A mayor temperatura el movimiento de estas partículas es mayor, por lo que provoca una mayor radiación de energía.

1.2.2 PRINCIPIOS FISICOS

Ley de Planck

Esta ley relaciona la radiación emitida, la temperatura del emisor y la longitud de onda de dicha radiación. Nos describe cómo se distribuye en el espectro electromagnético la radiación emitida por un cuerpo negro a una temperatura determinada.

$$W_{\lambda}n = \frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)}$$

donde:

$W_{\lambda}n$: Emisión radiante del cuerpo negro [W m^{-3}].

h : Cte. de Plank.

K : Cte. de Boltzman.

T : Temperatura absoluta.

c : Velocidad de la luz.

e : Base neperiana.

S : Superficie.

λ : Longitud de onda.

Esta expresión también puede escribirse como:

$$W_{\lambda}n = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)}$$

Donde:

$$c_1 = 2\pi hc^2 = 3,74 \cdot 10^{-12} \text{ W/cm}^2$$

$$c_2 = hc/K = 1.834 \text{ cmK}$$

Fijando la temperatura para diversos valores, la ecuación genera distintas curvas (Fig. # 5). Se puede apreciar que según se va aumentando la temperatura, la curva es más alta (mayor radiación de energía) y más ancha (radia en mayor rango del espectro).

Como curiosidad destacamos que la $\lambda_{\text{máx}}$ para la temperatura de la superficie solar (5727°C) corresponde, como era de suponer, con el centro del espectro visible. El ojo humano se adaptó sus células detectoras haciéndolas sólo sensibles a las longitudes de onda en las que nuestra mayor fuente de energía (el sol) radia con mayor intensidad. Toda radiación en otra longitud de onda es invisible para nuestra vista.

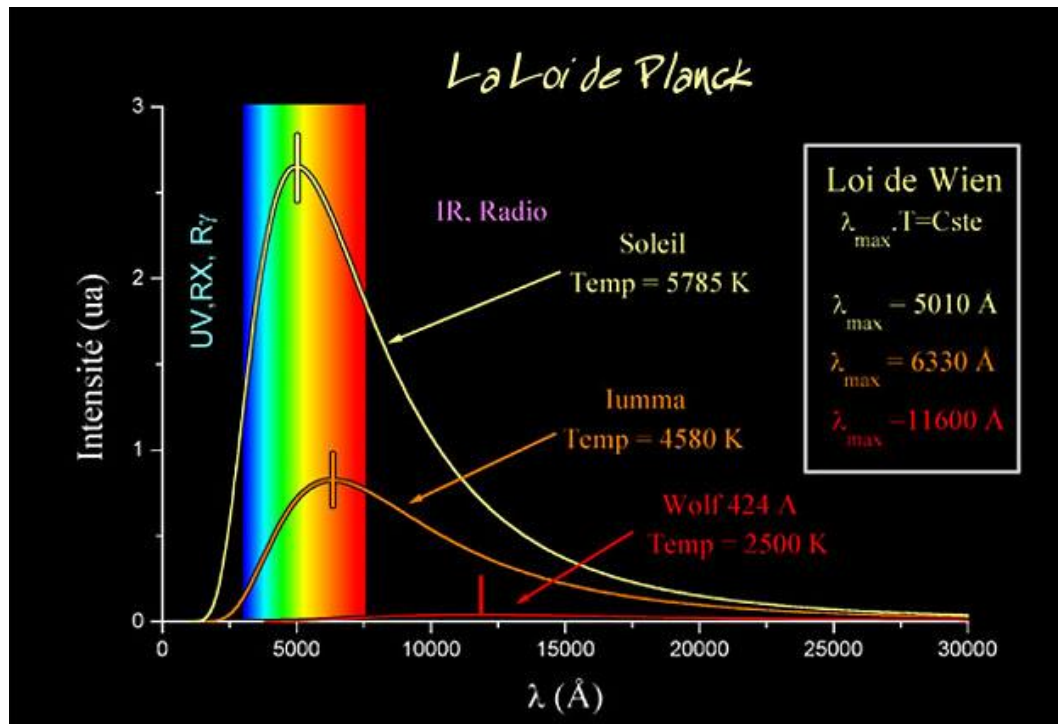


Fig. # 5 Emisión espectral en función de λ , para diversas T .

FUENTE: BARRON Ron, ENGINEERING CONDITION MONITORING, Practice, Methods and Applications, University of Strathclyde, Glasgow, Editorial LONGMAN, ISBN: 0-582-24656-3.

1.2.3 Ley de desplazamiento de Wien

Esta ley relaciona la temperatura de la superficie del cuerpo con la longitud de onda con la que se radia la máxima energía. Hallando el máximo de la expresión anterior (derivando e igualando a cero):

$$\frac{dW_{\lambda n}}{d\lambda} = 0$$

Obtenemos:

$$\lambda_{max} = \frac{2.898}{T} (\mu m)$$

Esta ecuación nos indica que cuando la temperatura de la superficie aumenta, la longitud de onda que corresponde al máximo de radiación del cuerpo disminuye.

Es lo que se conoce como desplazamiento del máximo de radiación en función de la temperatura. Esto es bien conocido por las tonalidades que adquiere el hierro al irse calentando. A temperatura ambiente su $\lambda_{m\acute{a}x}$ se sitúa en plena región del IR, teniendo la superficie del material el color que corresponda a su aspecto exterior, pero al irse calentando el color va adquiriendo tonalidades rojizas hacia un rojo intenso ("rojo vivo"): su $\lambda_{m\acute{a}x}$ se ha ido desplazando hacia el espectro visible donde se puede apreciar a simple vista la radiación de energía.

Para el rango de valores en el que usualmente se mueve la industria, de -20°C a 1.500°C, $\lambda_{m\acute{a}x}$ está comprendida entre 11,5 y 1,5 μm .

1.2.4 Ley de Stefan-Boltzman

Nos da a conocer la totalidad de la energía emitida por un cuerpo negro. Así, integrando la ecuación de Plank desde $\lambda = 0$ a $\lambda = \infty$:

$$W_n = \int_0^{\infty} W_{\lambda n} d\lambda = \sigma T^4 (W/m^2)$$

Donde σ es la constante de Stefan- Boltzman que vale $5,7 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$.

Según aumenta la temperatura de un cuerpo, más cantidad de energía libera y más proporción de ésta entra dentro del campo visible. Traspasando un cierto umbral de temperatura el cuerpo se convierte en incandescente.

1.2.5 Cuerpo real

Toda esta información es útil para hacer una aproximación al comportamiento térmico de un objeto real ya que el cuerpo negro es una idealización del cuerpo real. Es decir, un cuerpo real no absorbe toda la radiación que recibe, tal como hace el cuerpo negro.

Al igual que en el espectro visible, existen materiales opacos, semitransparentes y transparentes al infrarrojo, según sea el valor de su coeficiente de transmisión.

En un cuerpo real una fracción de la radiación incidente (α) se absorbe, otra fracción (ρ) se refleja y otra (τ) se transmite. Todos estos factores dependen en mayor o menor magnitud de la longitud de onda (λ).

La **absorbancia espectral** ($\alpha\lambda$) se define como la relación entre la radiación absorbida y la radiación incidente.

La **reflectancia espectral** ($\rho\lambda$) es la relación entre la radiación reflejada y la radiación incidente.

La **transmitancia espectral** ($\tau\lambda$) se define como la relación entre la radiación transmitida y la radiación incidente.

La suma de estas tres fracciones debe ser la totalidad de la radiación. Por tanto:

$$\alpha\lambda + \rho\lambda + \tau\lambda = 1$$

Para materiales opacos $\tau = 0$ por lo que la relación se simplifica:

$$\alpha\lambda + \rho\lambda = 1$$

La emisividad espectral ($\epsilon\lambda$) de una superficie es la relación entre la radiación emitida por un objeto y la que emitirá el cuerpo negro a la misma temperatura y longitud de onda.

$$\epsilon\lambda = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda n}}$$

Por el cumplimiento del principio de conservación de la energía se deduce que la emisividad es igual a la absorbancia a cualquier temperatura y longitud de onda. Con estas ideas podemos apuntar que un buen absorbente es un buen radiador (piel humana, metal oxidado, etc.), y que un buen reflector es un mal radiador (superficies brillantes).

Cuanto más reflectante es un cuerpo, más baja es su emisividad.

Sin embargo, tanto la absorción como la emisividad son función de la longitud de onda. Un cuerpo expuesto a la luz solar directamente absorbe rayos infrarrojos de acuerdo con su coeficiente de absorción para las longitudes de onda de la luz solar. Al mismo tiempo estará irradiando en infrarrojos de acuerdo con la emisividad que posee en una determinada temperatura y longitud de onda de radiación.

La ley de Stefan-Boltzman para un cuerpo gris, se convierte en

$$W_n = \varepsilon_{\sigma} T^4 \text{ (W/m)}$$

Es decir, el poder emisor total de un cuerpo gris es el del cuerpo negro a esa temperatura reducido proporcionalmente en el valor ε de la emisividad del cuerpo gris.

El conocimiento del valor de ε de la superficie del objeto a estudiar es vital para hacer una correcta evaluación de los resultados termográficos obtenidos por esta técnica.

1.2.6 PARAMETROS DE DISEÑO DE UN SISTEMA INFRARROJO

- Las ventanas atmosféricas

La radiación IR generada por un cuerpo en la superficie terrestre debe atravesar un medio gaseoso que es nuestra atmósfera. Esta no trasmite esta radiación de igual manera para todas las longitudes de onda, ya que hay zonas donde la transmisión llega a ser nula. Esto es así porque la atmósfera está compuesta por varios gases que absorben la radiación de forma independiente a distintas longitudes de onda. La absorción final de la atmósfera es la suma de las absorciones parciales de los gases que la forman.

³Disponible en www.prevention-world.com

En el diseño de equipos de IR se tienen en cuenta dos regiones en el espectro que son transparentes a esta radiación, conocidos como “ventanas atmosféricas”. Estas son la ventana de onda corta (3-5 μm de longitud de onda) y ventana de onda larga (8- 12 μm de longitud de onda).

- **Los detectores infrarrojos**

El principio de todo detector de infrarrojos es convertir la radiación que le llega en una señal manipulable. Pueden ser básicamente de dos categorías: térmicos y detectores cuánticos o de fotones. Los primeros generan una señal cuando su propia temperatura cambia. Este sistema es el usado en los termopares, bolómetros y materiales piroeléctricos. El detector de fotones es un semiconductor que genera una señal proporcional al flujo de fotones que inciden en él. Mediante un filtro pasabanda sólo se permite el paso de la radiación del intervalo del espectro predeterminado, siendo el material del que está hecho el detector especialmente sensible a dicho intervalo. Incluyen variedades fotoconductoras y fotovoltaicas y suelen necesitar temperaturas criogénicas para su funcionamiento normal. Los materiales más usuales para construir los detectores son Hg,Cd,Te para ambas ventanas y Antimoniuro de Indio y Siliciuro de Platino para onda corta.

La mayoría de los visores infrarrojos usan detectores de fotones debido a su sensibilidad y a su rápida respuesta. Su calidad de imagen depende directamente de su adecuada refrigeración hasta temperaturas criogénicas, conseguido hasta no hace mucho mediante nitrógeno líquido. Para sustituir al nitrógeno líquido se han desarrollado otros sistemas de refrigeración como el termoeléctrico (efecto Peltier) o mediante el ciclo Stirling. El primero tiene la ventaja de que usa un mecanismo que no tiene piezas móviles pero la temperatura alcanzable no es inferior a 195 K. Este sistema sólo se aplica a la ventana de onda corta.

Con el segundo se han conseguido enfriadores de gran fiabilidad y eficacia consiguiendo fácilmente la temperatura del nitrógeno líquido (77 K) o incluso inferior. El sistema puede mantener esta temperatura en una gran variedad de ambientes y es disponible además para ambas ventanas.

El futuro de los detectores está en prescindir de la refrigeración criogénica mediante detectores especiales. En la actualidad ya se están empezando a comercializar equipos de

termografía con detectores que funcionan a temperatura ambiente, aunque su calidad de imagen todavía no es comparable a la de los refrigerados.

- **Electrónica**

La función del sistema electrónico de un equipo es convertir la señal eléctrica del detector en una imagen visible. En los radiómetros la electrónica tiene que calibrar la imagen y asignar las temperaturas a la escala de grises. Generalmente puede generar la imagen en una de las distintas paletas de colores para visionar mejor la imagen.

Una característica importante de los detectores es el rango dinámico, que nos informa de la capacidad de digitalizar intervalos de temperatura para una sensibilidad térmica determinada sin perder información. Se mide en bits y para un rango de 12 bits ($2^{12} = 4.096$ niveles) nos quiere decir que para una resolución térmica de $0,1^{\circ}\text{C}$ tenemos una temperatura o rango de saturación de $409,6^{\circ}\text{C}$, esto es, que a partir de la temperatura ambiente puedo registrar un incremento de $409,6^{\circ}\text{C}$ con saltos de $0,1^{\circ}\text{C}$. Si hubiera un incremento mayor, la señal quedaría saturada. La vista humana tiene un rango algo menor a 6 bits (puede diferenciar menos de 64 grises).

1.2.7 APLICACIONES MÁS COMUNES

La aplicación de esta técnica se basa en la capacidad de generar una imagen térmica (termograma) de un objeto o fenómeno a cierta distancia del mismo. Con esto se obtiene una visión térmica de la escena mediante una graduación en escala de grises o de color válida para hacer una valoración cualitativa de un fenómeno o para su uso en patrullas fronterizas o rescates. Cuando en la imagen se puede obtener además medidas cuantitativas, tenemos una medición de temperatura sin contacto llamada radiometría. La medida de temperatura sin contacto tiene grandes ventajas:

- No se perturban las propiedades del objetivo.
- Se pueden medir temperaturas de tamaños muy reducidos.
- Se puede usar en objetos en movimiento.
- Se puede usar en fenómenos transitorios de temperatura.

Las situaciones en las que se necesita una imagen térmica sin contacto son muy numerosas y en los más diversos campos, usándose la radiación IR como una herramienta vital en unos, y como secundaria, en otros.

De entre los usos más interesantes de la técnica, podemos destacar los siguientes.

- **Control de proceso**

a) Papeleras

En el proceso de fabricación del papel, la pasta que se extrae de la pulpa de la madera debe ser secada y prensada, siendo éste un proceso crítico para la calidad final del papel. La termografía resulta útil para detectar zonas anómalamente húmedas en el proceso continuo del secado (bandas más húmedas en los rodillos), por lo que remontando en el proceso llegamos al origen del problema.

b) Alabes de turbina

General Electric desarrolló una técnica para conocer el estado de obturación de los canales internos de refrigeración de los álabes de una turbina. Aunque al principio se aplicó para los motores a reacción de aviones militares, acabó generalizándose a todas las turbinas.

- **Aplicaciones energéticas**

Están orientadas al mantenimiento de materiales aislantes y refractarios, así como a la detección y medida de pérdidas energéticas por defectos de aislamiento, diseño de equipos, etc. Los equipos inspeccionados son las calderas, líneas de vapor, hornos, reactores, chimeneas y otros. Uno de los problemas que se detecta más fácilmente es la pérdida o mal estado de refractarios en hornos.

- **Visión nocturna**

Es una de las aplicaciones más conocidas y utilizadas, no sólo en el campo meramente militar para localizar objetivos, sino también en su aplicación civil para vigilancia y detección. Son muy utilizadas las cámaras de termografía desde helicópteros para patrullar fronteras, azoteas, búsqueda y rescate, etc. (Fig. # 6).



Fig. # 6 Localización de personas en la azotea de un edificio.

FUENTE:Disponible en energia.com

- **Localización de fugas de gas.**

La mayoría de los gases industriales que se usan son invisibles al ojo humano, con lo que una herramienta que los permita visualizar resulta interesante. Aunque en realidad no es una técnica termográfica, su objetivo es conseguir una imagen de la radiación IR de la zona en estudio. Así, muchos gases tienen bandas de absorción en la región infrarroja del espectro, por lo que se puede usar esta radiación para localizar fugas, orientación, forma y tamaño de la pluma del escape.

Para esta técnica se usa un emisor láser infrarrojo ajustable a distintas longitudes de onda. Paralelamente un receptor de infrarrojos recoge la radiación reflejada de la escena. Si existe el gas para el que se ha ajustado el láser, se ve la pluma de dispersión de color negro, debido a que en esa zona la radiación ha sido absorbida y no es reflejada hacia el detector.

- **Mantenimiento eléctrico**

Con mucho, la aplicación más extendida en la termografía infrarroja comercial es la inspección de equipos eléctricos.

El principio básico de funcionamiento es que todo conductor en carga genera calor. Si en un punto determinado se produce un incremento de la resistencia, ya sea por corrosión, pérdida parcial de contacto, oxidación, etc., se forma un "Punto Caliente", que puede ser cuantificado inmediatamente.

En este tipo de inspección es fundamental conocer el grado de carga del sistema, así como posibles causas de mitigación de calor como el viento en un sistema expuesto, etc. Esto debe ser así para poder interpretar correctamente los resultados.

En España la técnica está muy implantada en la industria en general y en el sector eléctrico en particular. Los equipos regularmente inspeccionados son los componentes de una subestación eléctrica (transformadores, interruptores, seccionadores, bobinas, embarrados, así como conductores y conexiones) todo tipo de cuadros y paneles eléctricos, interruptores, motores, etc.

Una de las aplicaciones ya rutinarias son las inspecciones aéreas de las líneas de alta tensión (Fig.# 7). Estas se realizan desde helicópteros usando un equipo giroestabilizador de dos cámaras, una de visible y otra de infrarrojo. Desde el interior del helicóptero y mediante un *joystick* y dos monitores, el inspector visualiza ambas imágenes del estado de los conductores, conexiones, etc., y sólo con el visible controla el estado de los aisladores, herrajes y estado general del apoyo y su situación con el entorno. Con la ayuda de un GPS se puede ir posicionando cada apoyo para un posterior análisis de distancias.





Fig. # 7 Inspección aérea.

FUENTE: Disponible en energia.com

En general, en las inspecciones de mantenimiento que se realizan para conocer el estado de los equipos, es fundamental conocer las condiciones del entorno, las de régimen de funcionamiento y las condiciones propias del equipo. Esto es así para, una vez hecha la evaluación térmica, extrapolar esa medida a otras condiciones posibles y, teniendo en cuenta las especificaciones del fabricante y las normas y códigos de seguridad aplicables, asignar a esa medida un estado en una doble tabla jerarquizada de riesgos/actuaciones. Esta tabla, que se recomienda muy simplificada, deberá recoger desde “pequeña anomalía, ver evolución”, hasta un “fallo inminente, actuar de inmediato”.

- **Mantenimiento mecánico**

Todo equipo que realice algún movimiento puede sufrir calentamientos en sus articulaciones, ejes, etc. Estos pueden ser síntomas de un rozamiento excesivo que puede degenerar en fatigas y desgastes inadvertibles hasta el fallo final e imprevisible del equipo (Fig. # 8). Esto puede ser debido a una deficiente lubricación, ajustes defectuosos, mal estado de los cojinetes o al propio desgaste por el uso. Aunque los equipos más inspeccionados son grandes motores, lo son también todo tipo de ejes, engranajes y correas.

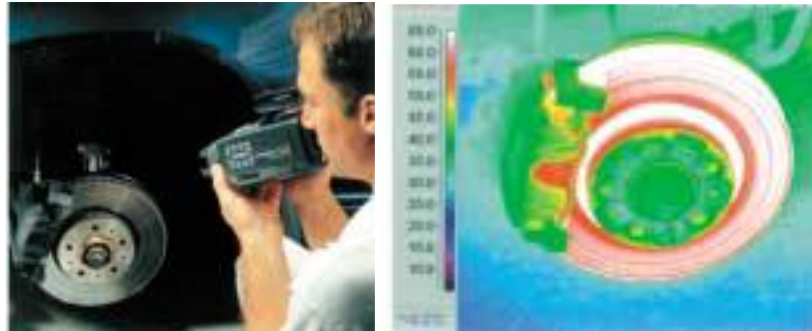


Fig. # 8 Imagen Térmica y Visible de un disco de freno en ensayos de I+D.

FUENTE: Disponible en energia.com

1.2.8 CONCLUSIONES

Como ya hemos visto, la técnica de termografía infrarroja es una herramienta muy útil en numerosos campos y en especial en el mantenimiento industrial, siendo fundamental en los tipos predictivo y preventivo. Su uso generalizado y sistemático permite la reducción directa de costes al disminuir las paradas imprevistas incrementando la disponibilidad total de los equipos y alargando la vida operativa de los mismos, con los beneficios que ello conlleva. Su futuro es de lo más prometedor, por un lado, ha demostrado ser una técnica consolidada y reconocida en sus aplicaciones más “usuales” del sector industrial, medicina y de apoyo a los cuerpos de seguridad, mientras sus posibilidades aumentan con nuevas aplicaciones en I+D, control de calidad y control de proceso en tiempo real.

1.3 ANÁLISIS DE VIBRACIONES.

1.3.1 INTRODUCCIÓN

La prevención de posibles fallas en maquinarias es necesaria para una operación confiable y segura de una Instalación. El riesgo de fallas y el tiempo en que una maquinaria queda fuera de servicio pueden disminuirse sólo si los problemas potenciales son anticipados y evitados.

En general, las vibraciones en una máquina no son buenas: pueden causar desgaste, fisuras por fatiga, pérdida de efectividad de sellos, rotura de aislantes, ruido, etc. Pero al

mismo tiempo las vibraciones son la mejor indicación de la condición mecánica de una maquinaria y pueden ser una herramienta de predicción muy sensible de la evolución de un defecto. Las fallas catastróficas en una maquinaria muchas veces son precedidas, a veces con meses de anticipación, por un cambio en las condiciones de vibración de la misma.

Las vibraciones en una maquinaria están directamente relacionadas con su vida útil de dos maneras: por un lado un bajo nivel de vibraciones es una indicación de que la máquina funcionará correctamente durante un largo período de tiempo, mientras que un aumento en el nivel de vibraciones es una indicación de que la máquina se encamina hacia algún tipo de falla.

Una de las herramientas fundamentales con que se cuenta en la actualidad para el mantenimiento predictivo de una Planta o Instalación es la medición y análisis de vibraciones, ya que cerca del 90% de las fallas en maquinarias están precedidas por un cambio en las vibraciones de las mismas.

No todos los tipos de vibraciones son evitables, ya que algunas son inherentes a la operación de la maquinaria en sí misma, por lo que una de las tareas del analista es identificar aquellas que deben ser corregidas y determinar un nivel de vibraciones tolerable.

1.3.2 ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN MÁQUINAS

Cuando se realiza un trabajo de diagnóstico, siempre se busca el efecto para tratar de descubrir la causa. Este trabajo de diagnóstico está compuesto de dos etapas:

Obtención de los datos de una manera sistemática

Interpretar los datos e identificar los problemas.

Para cumplir con el primero de estos objetivos, uno de los primeros pasos a seguir en el análisis de vibraciones en una máquina es obtener un valor "global" de las vibraciones para poder determinar la condición general de la misma. Estas mediciones deben realizarse en distintos puntos y en tres direcciones, vertical, horizontal y axial. Algunos puntos importantes para la medición de las vibraciones son los ubicados sobre los cojinetes o cerca de ellos, porque es a través de los cojinetes por donde se transmiten las fuerzas de vibración. Las mediciones en distintas direcciones son necesarias debido a que algunos problemas de máquinas rotativas se manifiestan más en alguna dirección que en otra.

En general las mediciones de vibraciones globales se realizan en forma de velocidad (mm/seg) debido a que la experiencia ha demostrado que las mediciones de velocidad son la mejor indicación para evaluar la severidad de las vibraciones en el rango normal de frecuencias de giro de las máquinas rotativas usuales (de 10 a 1000 Hz). El valor global de vibraciones obtenido, comparado con los valores recomendados por el fabricante de la máquina, da una idea de la condición mecánica de la misma. En ausencia de valores recomendados por el fabricante, existen tablas y normas que pueden utilizarse al efecto. En la Tabla # 1 se presentan los valores característicos de amplitudes de vibración en maquinarias relacionadas con la condición mecánica de la misma estipulados por la norma ISO 3945-1985.

SEVERIDAD DE VIBRACIÓN RMS [mm/seg]	TIPO DE SOPORTE	
	RÍGIDO	FLEXIBLE
0,46	Buena	Buena
0,71		
1,12		
1,8		
2,8	Satisfactoria	Satisfactoria
4,6		
7,1	No	No Satisfactoria
11,2	Satisfactoria	
18	Inaceptable	Inaceptable
28		
71		

Tabla # 1 valores característicos de amplitudes de vibración.

FUENTE: Estudio y Ensayo de Componentes Estructurales- U. A. ENDE- Comisión Nacional de Energía Atómica Av. Gral. Paz y Av. de los Constituyentes- (1650)- San Martín- Buenos Aires- Argentina

Debe tenerse en cuenta, tal como lo advierte correctamente la norma, que estos son valores sólo de referencia. El nivel de vibraciones depende de la energía total entregada a la máquina. Parte de esta energía se convierte en vibraciones y ruido. Una máquina de gran

tamaño tendrá obviamente valores globales de vibraciones mayores que, por ejemplo, un motor de 1 HP. En las máquinas de mayor tamaño son prácticamente imposibles de alcanzar valores globales de vibraciones tan bajos como los de máquinas más pequeñas. En el caso en que se encuentre que los valores globales de amplitud de vibración para una máquina en particular revelan una mala condición de la misma, deben realizarse mediciones adicionales que nos permitan determinar las causas de ese mal funcionamiento. Si bien existen distintas maneras presentar las mediciones de vibraciones de una máquina rotativa con el objetivo de detectar e identificar problemas específicos en la misma, alrededor del 85% de los problemas mecánicos de las mismas pueden identificarse realizando un análisis en el dominio de las frecuencias, lo que significa presentar las mediciones de vibraciones en la forma de amplitud de vibración vs. Frecuencia (Fig. # 9).

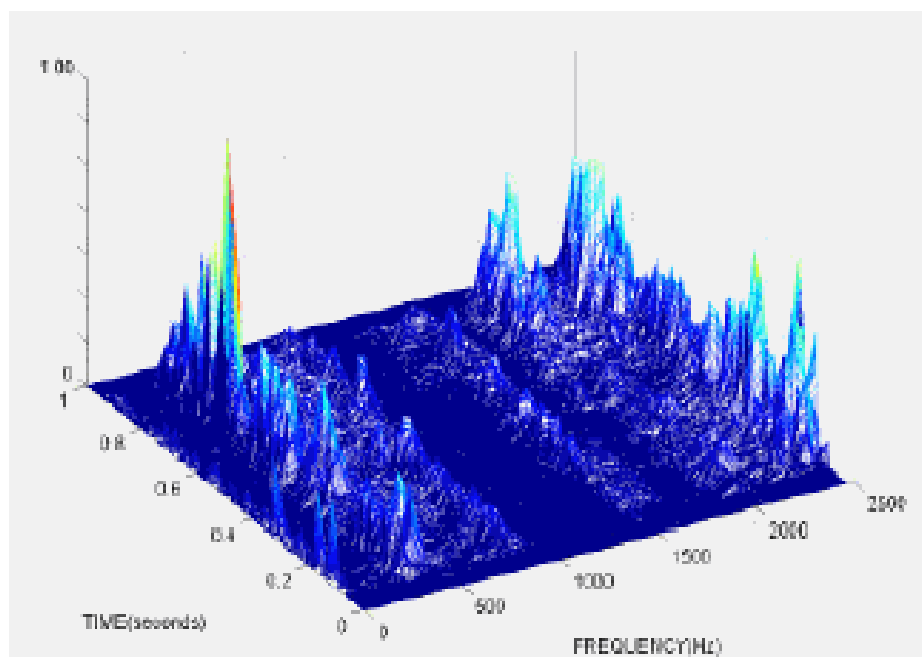


Fig. # 9 Vibraciones en forma de amplitud vs frecuencia.

FUENTE: Rosaler, Robert C. (2002). **Manual del Ingeniero de Planta**. Mac-Graw-Hill/Interamericana de Editores, S.A. de C.V. Bittel, L./Ramsey, J. (1992). **Enciclopedia del MANAGEMENT**. Ediciones Centrum Técnicas y Científicas. Barcelona, España. Disponible en <http://www.solomantenimiento.com/>

1.3.3 CAUSAS MÁS COMUNES DE FALLO

1.3.3.1 FALLOS EN ACOPLAMIENTOS

- **Desequilibrios**

No es necesario que exista un desequilibrio mecánico real, para que exista un desequilibrio en la máquina. La inestabilidad aerodinámica o hidráulica, también puede crear una condición de desequilibrio en la máquina.

- **Desalineamiento**

Es el defecto más usual en la industria. El desalineamiento se produce entre dos ejes conectados mediante acoplamientos. También puede existir entre los cojinetes de un eje sólido, o entre otros dos puntos de la máquina.

– Desalineación paralela: se presenta entre dos ejes entre sí cuando no están en el mismo plano. Este tipo de desalineación generará una vibración radial.

– Desalineación angular: se produce cuando los ejes no están paralelos entre sí, es decir, entre los ejes existe un pequeño ángulo. Este tipo de desalineación generará una vibración axial.

En conclusión, se puede decir que si en un acoplamiento se notan niveles elevados de vibraciones del tipo radial (perpendicular al eje), casi con toda seguridad sufre una desalineación paralela de los ejes acoplados.

Si se miden niveles anormales de vibraciones del tipo axial (paralelo al eje), se puede asegurar con poco margen de error que ese acoplamiento sufre una desalineación angular de los ejes acoplados (Fig. # 10).

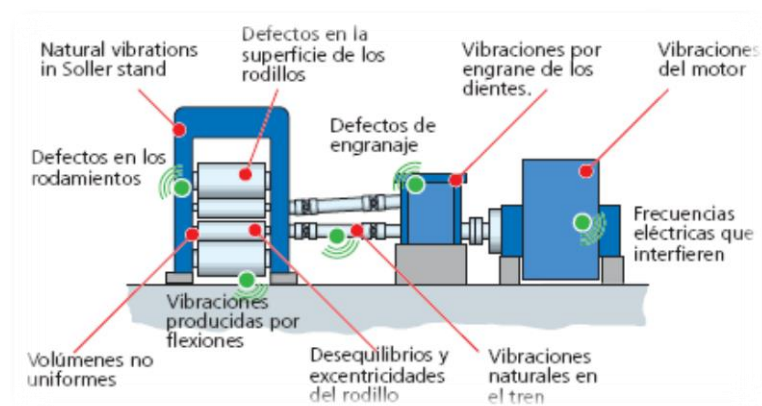


Fig. # 10 Medición de vibraciones.

FUENTE: S. Goldman. "Vibration Spectrum Analysis". Industrial Press Inc. 2nd edition. New York, USA, pp. 83-85, 113-122. 1999. Disponible en <http://www.ni.com/pdf/manuals/373861a.pdf>

- **Falta de apriete en los elementos de unión**

Si al realizar las mediciones se observan niveles de vibración anormales, antes de realizar cualquier otra medición, se debe comprobar que los elementos de apoyo o unión están bien sujetos y no sufren holgura. Si este fallo existiera se producirían vibraciones sin que la máquina estuviera averiada.

Si se tuviera sospecha de que los anclajes están en malas condiciones, se deberán tomar medidas, tanto axiales como radiales, en los puntos de unión o anclajes, ya que puede que no absorban bien las vibraciones existentes en el tren de maquinaria.

1.3.3.2 MONITOREO DE MÁQUINAS

- **Motores eléctricos**

Los motores eléctricos son frecuentemente utilizados como motor principal en procesos de fabricación. En los motores, tanto horizontales como verticales, se deben tomar, siempre dentro de nuestras posibilidades, dos mediciones radiales (perpendicular al eje) y una axial (paralela al eje), en ambos extremos del motor, es decir, en ambos lados del eje del rotor; aunque a veces, con sólo una medida radial en cada lado, se pueden detectar también los fallos existentes.

En estos motores son muy usuales las vibraciones de carácter radial, que indican un defecto en los rodamientos. Si estos defectos son superiores a los niveles tolerables, se deben cambiar los rodamientos con la mayor celeridad posible, ya que este defecto mecánico puede derivar en un problema más grave, tanto de carácter mecánico como eléctrico.

En los motores acoplados a otros equipos, como bombas o generadores, es importante saber diferenciar las vibraciones creadas en el motor, por fallo en los rodamientos del mismo, o las producidas por un mal acoplamiento entre equipos que transmiten las vibraciones a todo el bloque.

- **Acoplamientos**

En los acoplamientos entre ejes, como pueden ser las bombas o los generadores, se deberán tomar las medidas, dentro de las posibilidades existentes, tanto axiales como radiales a ambos lados del acoplamiento.

Si en un acoplamiento se notan niveles elevados de vibraciones del tipo radial (perpendicular al eje), es señal de que puede sufrir una desalineación paralela de los ejes. Si se miden niveles anormales de vibraciones del tipo axial (paralelo al eje), se puede asegurar que ese acoplamiento sufre una desalineación angular de los ejes.

1.3.4 MÉTODOS DE MEDIDA DE VIBRACIONES PARA MÁQUINAS

1.3.4.1 Medida de vibraciones severas

Un procedimiento para localizar el desequilibrio de máquinas rotativas, es la medida de velocidad de vibración o también llamado vibración severa. Este método es la medida de la energía que produce la vibración.

Los distintos niveles de vibración recomendables se recogen en la norma ISO 10816-1. En la tabla se representan los niveles de vibración según el tipo de máquina.

- Grupo K: motores eléctricos hasta 15 kW.
- Grupo M: motores eléctricos de 15 a 75 KW.
- Grupo G: grandes motores.
- Grupo T: turbomáquinas.

La medida se debe realizar en el rango de velocidad y en modo RMS.

1.3.4.2 Medida de vibraciones en motores alternativos

Los motores alternativos, como los motores de combustión y los compresores, se caracterizan por disponer de elementos en movimiento. La vibración de estos elementos es más grande que la vibración de los motores rotativos.

En la tabla se indica la clasificación de los niveles de vibración según el tipo de motor alternativo.

Esta clasificación tiene el siguiente significado:

Máquinas nuevas.

Máquinas de funcionamiento continuo.

No aconsejable su uso para funcionamiento continuo.

Alta vibración, los daños en la máquina no son excluibles.

1.3.4.3 Equipos de medida

Actualmente, en el mercado existen aparatos con una gran precisión en la medida, y de relativo bajo precio. Estos aparatos suelen medir las vibraciones en unidades de desplazamiento (mm), velocidad (mm/s) y de aceleración de la vibración (mm/s), tanto en valores medios (RMS) como en valores de pico (pk-pk).

Una correcta utilización de estos aparatos, como es lógico, mejora notablemente el control de los equipos, pudiendo así realizar un mantenimiento predictivo con buenos resultados y mínimos gastos. Los equipos utilizados para la adquisición de datos de vibraciones en las máquinas van desde los portátiles o de campo hasta la monitorización en continuo u “on line” como se muestra en la figura # 11. Existe una amplia gama y modelos de unos y otros, siendo los distribuidores y fabricantes de los mismos los que pueden orientarnos sobre las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos. En un primer contacto con la tecnología los equipos portátiles son una buena solución para validarla. Dentro de ellos nos encontramos con “vibrómetros” que nos miden niveles de vibración globales con poca capacidad de diagnóstico, (solo indican si la vibración sube o baja, aunque vibrómetros de última generación son capaces de realizar análisis espectrales con ciertas limitaciones), y colectores de datos portátiles con un software de diagnóstico y tratamiento de datos. Estos equipos son más elevados en precios, pero tienen una capacidad de análisis importante a la hora de discernir distintos tipos de problemas en máquinas.

La toma de datos de vibración en máquinas evoluciona hacia sistemas automatizados (sistemas “on line”) que reportan mayores beneficios que la adquisición de datos con colectores portátiles.

Al ser la toma de datos automática, eliminamos el costo de la mano de obra por tomar los datos de vibración de la máquina por lo tanto mayor calidad en la toma de datos tomados. La exactitud en el punto de toma de datos es mayor, puesto que siempre se mide en el mismo sitio y con el mismo sensor y además podemos condicionar la toma de datos siempre que se den unas determinadas condiciones de operación (velocidad y carga dadas).



Fig. # 11 Sistemas de recolección de datos por métodos automatizados.

FUENTE: www.pruftechnik.es

1.3.4.4 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Los SAD constituyen la interfaz entre el mundo análogo y el digital. Las etapas fundamentales para un instrumento basado en SAD se muestran en la figura # 12 y ellas son: etapa transductora, de acondicionamiento, de adquisición y etapa de registro y procesamiento de información.

Los transductores son los encargados de medir los fenómenos físicos y proveer una señal eléctrica que pueda ser interpretada por un sistema de adquisición, de acuerdo a la relación entrada/salida que tenga el transductor (sensibilidad). Los transductores más comúnmente utilizados para la medición de vibraciones son los acelerómetros piezoeléctricos, además de los velocímetros sísmicos o electrodinámicos y los sensores de desplazamiento sin contacto. Algunos transductores requieren de un acondicionamiento especial, como suministro de voltaje, disminución de impedancia, aislamiento y amplificación.

La etapa de adquisición está básicamente constituida por elementos como conversores A/D (análogo/digital) y conversores D/A. Para la adquisición de señales dinámicas, como las de vibración y ruido, se recomienda utilizar tarjetas de adquisición de datos con alta resolución (mayor de 16 bits), bajo nivel de ruido y con una velocidad de muestreo por canal mayor de 100 kHz. Es en la etapa de procesamiento donde se analizan, las señales vibratorias utilizando técnicas de procesamiento digital de señales. Para ello se puede hacer uso de diferentes lenguajes de programación que permitan implementarlas de manera eficiente y confiable.

Finalmente, está la etapa de registro, en donde se almacena la señal vibratoria y los resultados del procesamiento para su posterior visualización.

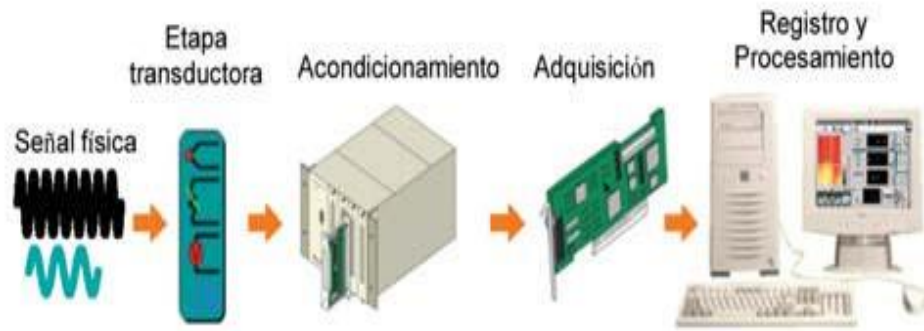


Fig. # 12 Sistema de Adquisición de Datos.

FUENTE: www.pruftechnik.es

1.3.5 APLICACIONES.

1.3.5.1 Medición y Análisis de Vibraciones en un Sistema Bomba – Motor.

Estas mediciones estaban focalizadas en dos objetivos: por un lado verificar un funcionamiento adecuado luego de las reparaciones y tareas de montaje y por otro lado servir como datos de base para un programa de mantenimiento predictivo del conjunto.

La bomba es del tipo centrífuga de dos etapas, con rotores de cinco álabes y un caudal máximo de operación de 200 m³/h y presión en la salida del impulsor de 16 Kg/cm²; el motor que la acciona es de 220 C.V. de potencia a 1.500 RPM.

En la Tabla # 2 se presentan los valores globales obtenidos mientras que en las Figuras 11 y 12 se presentan, a manera de ejemplo, los espectros de frecuencia correspondientes puntos de medición sobre el motor y sobre la bomba respectivamente.

PUNTOS DE MEDICIÓN	VALOR GLOBAL RMS
1	5,7
1A	11,5
2	4,8
2A	11,4
3	6,2
3A	7,5
4	6

4A	10
5	4
6	4,9
7	2,8
8	2,8
9	7,9

Tabla # 2: Valores globales de vibración RMS [mm/seg] luego del montaje

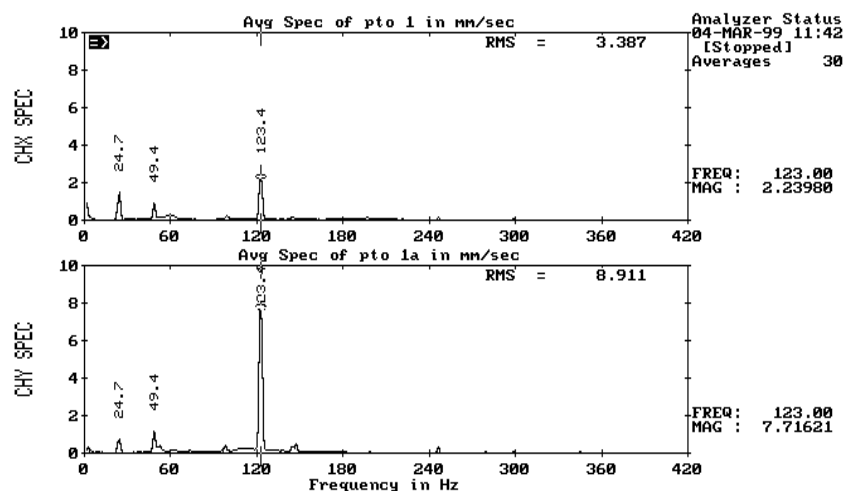


Fig. # 13: Espectros de frecuencia obtenidos en dos puntos de medición sobre el motor.

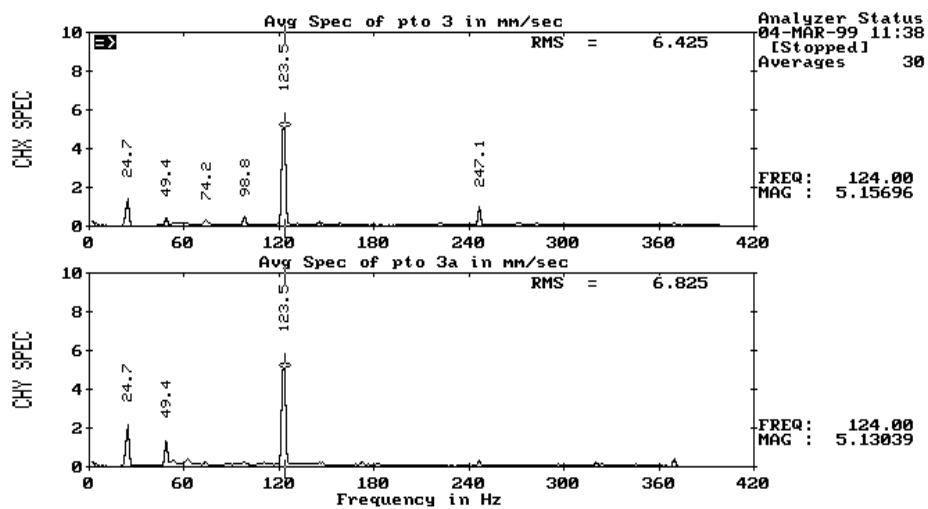


Fig. # 14: Espectros de frecuencia obtenidos en dos puntos de medición sobre la bomba

FUENTE: Edgar A. Estupiñan Profesor Dpto. de Ingeniería Mecánica Universidad de Tarapacá CHILE. www.solomantenimiento.com

Los valores globales de vibración revelan una condición de operación que podía clasificarse, de acuerdo a la Tabla # 2 como insatisfactoria, o hasta en algunos casos como inaceptable. Al mismo tiempo, las características de los espectros de frecuencia obtenidos descartaban problemas originados en resonancias o desbalanceo, por lo que el diagnóstico del problema se orienta hacia la acción de importantes fuerzas hidráulicas, ya que la mayoría de las bombas centrífugas operan con fuerzas hidráulicas inherentes a su funcionamiento originadas en las pulsaciones de presión que aparecen cada vez que un álabe del impulsor pasa por el difusor estacionario. Si el impulsor está correctamente centrado en la carcasa de la bomba y está alineado con los difusores, las pulsaciones de presión se balancean y las vibraciones resultantes son mínimas. Estas vibraciones generalmente son de una frecuencia igual al número de álabes del impulsor multiplicado por las RPM del motor. En caso de que las pulsaciones de presión no se balanceen devienen importantes niveles de vibración, principalmente en la frecuencia antes mencionada.

En el caso de la bomba analizada esta frecuencia corresponde al pico de 123,5 Hz que se puede observar en los espectros de las Figuras # 13 y 14. La inspección posterior de la bomba revela un desalineamiento entre el rotor y los difusores.

1.4 ANÁLISIS DE ACEITES.

1.4.1 INTRODUCCIÓN.

El Análisis de Aceite es una de las técnicas simples, que mayor información proporciona al Administrador de Mantenimiento, con respecto a las condiciones de operación del equipo, sus niveles de contaminación, degradación y finalmente su desgaste y vida útil.

Muchos departamentos de mantenimiento tienen actualmente Programas de Análisis de Aceite. Algunos utilizando el laboratorio de su proveedor de lubricantes o contratando los servicios de laboratorio privados. En muchos de los casos los resultados del análisis, son recibidos semanas o meses después de la toma de la muestra y la información se vuelve irrelevante, ya que para ese momento, las condiciones del equipo ya son diferentes, en muchos casos el aceite ya fue cambiado y en otros el equipo ya falló y fue reparado.

La razón para esto es simple, el enfoque de estos programas es totalmente predictivo y en muchas ocasiones el programa tiene como único objetivo el de determinar si es necesario

un cambio de aceite o si el desgaste de la maquinaria indica una condición de falla. El Mantenimiento Predictivo está enfocado en el monitoreo de los síntomas de falla.

Un Programa de Análisis de Aceite puede convertirse en un derroche innecesario de tiempo y recursos si no está bien establecido. En muchos de los casos, se convierten en programas de “puro nombre”. Los departamentos de Mantenimiento conservan grandes cantidades de papel en archivos y expedientes, de reportes con los resultados de los análisis, recibidos fuera de tiempo (que en ocasiones no han sido revisados) y que contienen valiosa información esperando a ser analizada y explotado su potencial.

Debido a los ambientes industriales y a los diferentes procesos productivos pueden existir diversos tipos de desgaste dentro de las piezas de la maquinaria de la planta. Sin embargo, se pueden distinguir claramente unas pocas fuentes primarias de desgaste. Los problemas relacionados con el tipo de aceite, su degradación o por contaminación. O por problemas en la condición de la maquina, por ejemplo si esta desbalanceada, sobrecalentada, etc.

Entre los tipos de desgaste tenemos:

- Desgaste abrasivo: Es el resultado de partículas pesadas entrando en contacto con los componentes internos, tales partículas incluyen al polvo y diversos metales. Si se logra implementar un proceso de filtrado, es posible reducir la abrasión, que al final asegurara que los sellos como los respiraderos trabajen bien.
- Desgaste adhesivo: ocurre cuando dos superficies metálicas entran en contacto, permitiendo que se desprendan partículas de sus partes. Lubricación insuficiente o contaminada causa normalmente esta condición. Si se logra asegurar que el grado de viscosidad apropiado se mantenga, el desgaste adhesivo se reduce. El reducir contaminación en el aceite también ayuda a eliminarlo.
- Cavitación: ocurre cuando aire a presión o burbujas colapsan, esto forma que las superficies se piquen o se fisuren. La cavitación se reduce si se controla la característica espumosa del aceite con un aditivo especial.
- Desgaste corrosivo: es causado por una reacción química que mueve material de la superficie de un componente. Y generalmente es un resultado directo de la oxidación. Corrientes eléctricas aleatorias producen corrosión o picaduras en la superficie. También la presencia de agua o de productos de la combustión fomenta el desgaste corrosivo

- Desgaste por fatiga: se produce cuando se fisura una superficie, lo que permite que se generen partículas de desgaste.

El utilizar una lubricación adecuada, buenos equipos de filtrado y un buen mantenimiento reducen notablemente el desgaste dentro de los equipos. Ciertos problemas potenciales pueden ser identificados con otras técnicas como: vibraciones, termografía y análisis de motores. En muchos casos, el análisis de aceite logra detectar problemas antes de que otras técnicas lo hagan.

Al implementar un programa de análisis de aceite, es importante seleccionar las pruebas que permitan detectar anomalías en el aceite. Entre las pruebas que se utilizan para detectar el desgaste tenemos:

- Viscosidad: Es la propiedad más crítica de cualquier aceite, es una medida de la resistencia del aceite a fluir. La viscosidad está directamente afectada por la temperatura y presión del sistema. Conforme aumenta la temperatura, la viscosidad decrece, conforme la presión crece la viscosidad decrece. Cualquier cambio en la viscosidad (aumento / disminución) indica contaminación o degradación.
- Número de ácido total (TAN): Monitorea el nivel de ácidos orgánicos producidos por la oxidación del aceite. Todos los sistemas, en el cual existe el periodo de drenaje es prolongado o donde existe una potencial contaminación ácida deben ser monitoreados usando el TAN.
- Contenido de Agua: El contenido de agua debe ser monitoreado, no importa si el aceite es acuoso o de otro tipo. Exceso de agua reducirá la viscosidad del aceite, lo que lo inhabilita para lubricar apropiadamente. Insuficiente cantidad de agua en un aceite basado en agua puede permitir que el aceite pierda su capacidad de resistencia a la llama.
- Características espumosas: Se realizan a diferentes temperaturas, con esto se determina la tendencia espumosa y su estabilidad. La tendencia del aceite a formar espuma, le imposibilita a lubricar adecuadamente, lo que puede provocar una falla mecánica.
- Gravedad específica: Es una tasa de la masa del volumen de un material a la del agua. Aumentos en este índice indican la presencia de contaminantes o materiales oxidantes.
- Análisis espectrométrico: Es la tecnología más común para seguir la tendencia de concentraciones de metales. Esta tecnología solo monitorea las partículas más pequeñas en partes por millón. Cualquier partícula de mayor tamaño no es reportada o detectada.

- Conteo de partículas: Da seguimiento a la cantidad de partículas presentes en la muestra, no diferencia su composición o su material. Se utiliza para conocer la cantidad de partículas globales en la muestra solamente.
- Ferrografía de lectura directa: Monitorea y lleva la tendencia de la concentración relativa de partículas de desgaste ferrosas. Y provee una tasa de la cantidad de esas partículas, se usa en sistemas o equipos que generan muchas partículas.
- Ferrografía analítica: Usa el análisis microscópico, para detectar la composición del material presente. Esta tecnología diferencia el tipo de material y determina su fuente. Es usada para determinar las características de la maquinaria al evaluar el tamaño de la partícula, tipo, concentración, distribución y morfología. Esta información es vital para determinar la fuente y la posible solución al problema.

1.4.2 FORMACIÓN DE PARTÍCULAS DE DESGASTE

Se pueden describir 3 fases:

- Desgaste inicial: Ocurre cuando se arranca por primera vez una maquinaria. Y se generan muchas partículas de desgaste, las cuales serán removidas después de dos cambios de aceite normalmente.
- Desgaste normal: Ocurre después de la etapa inicial, durante esta etapa la maquinaria se estabiliza, la proporción de partículas se incrementa con el uso y se reduce al cambiársele el aceite.

- Desgaste anormal: Ocurre como resultado de fallas en la lubricación o problemas en la maquinaria. Durante esta etapa las partículas de desgaste aumentan significativamente.

Cuando el análisis de aceite se usa rutinariamente, es posible establecer un patrón para cada pieza de maquinaria. Conforme los datos de los análisis se desvían del patrón original se identifican patrones de desgaste anormales. Y se implementa la acción correctiva.

Una combinación de conocimiento en el análisis de aceites, equipo de análisis y bases de datos aseguran la mejor protección para su sistema hidráulico.

La Tabla # 3 nos muestra algunas pruebas del análisis de aceite y su enfoque:

Análisis de Aceite	Objetivo	Resultado esperado
Viscosidad	Salud del lubricante	Estable
Número de Neutralización (AN y BN)	Degradación del lubricante	Tendencia decreciente lenta
Punto de inflamación	Contaminación	Estable
Análisis de elementos por emisión atómica	Degradación de aditivos Contaminación Metales de Desgaste	Decremento suave Negativo Negativo – Tendencia suave
FTIR – Análisis infrarrojo	Degradación de aditivos Contaminación	Decremento suave Negativo
Conteo de partículas	Contaminación y/o desgaste	Estable en la meta establecida
Análisis de humedad	Contaminación	Negativo
Densidad ferrosa o partículas ferrosas	Desgaste	Decremento o Estable
Ferrografía analítica	Localización del tipo de desgaste presente	Identificación del tipo de desgaste, procedencia y causa
Resistencia a la oxidación RPVOT	Salud del lubricante	Estable
Pruebas de membrana y gota	Salud del lubricante Contaminación Desgaste	Conservación de aditivos Negativo Negativo - Estable

Tabla # 3 muestra pruebas del análisis de aceite.

FUENTE: www.widman.biz

1.4.3 ANALISIS DE ACEITE DIELECTRICO

Es un conjunto de pruebas y análisis realizado al aceite de los transformadores, cuya finalidad es comprobar el estado interno de éstos para evitar fallas inesperadas, programar mantenimiento eficiente para preservar o alargar la vida útil de estos equipos así como comprobar la ausencia de compuestos contaminantes o volátiles en el aceite.

1.4.3.1 OBJETIVOS DEL ANALISIS DE ACEITE DIELECTRICO

- Diagnosticar el estado del sistema de aislamiento papel-aceite a nivel de presencia de productos de oxidación y contenido de agua.
- Detectar la concentración de gases combustibles en el aceite y diagnosticar o detectar la presencia de fallas internas incipientes o avanzadas, para programar con tiempo, si es el caso, la inspección interna del transformador y evitar una falla inesperada.
- Determinar la vida útil remanente del transformador.
- Informar al propietario del transformador acerca del procedimiento más adecuado de mantenimiento a seguir según la recomendación del diagnóstico.

- Dar seguimiento de la evolución histórica de los resultados arrojados por los análisis.

1.4.3.2 BENEFICIOS

- Evitar la ocurrencia de averías, cortocircuitos y fallas en transformadores.
- Programación de mantenimiento eficiente y oportuno en los transformadores.
- Certificación del estado del aceite para fines de auditorías de calidad, seguridad y medio ambiente.
- Documentación de estado de los transformadores para fines de garantía.

1.4.4 TIPOS DE ANALISIS QUE SE PUEDEN REALIZAR AL ACEITE DIELECTRICO

Análisis Dieléctrico y Fisicoquímico

Estos análisis recogen las pruebas requeridas por la ASTM para evaluar las condiciones fisicoquímicas del aceite dieléctrico, estas pruebas son:

Rigidez Dieléctrica	Norma ASTM D 877:00
Contenido de Humedad	Norma ASTM D 1533:00
Número de Neutralización	Norma ASTM D 974:01
Gravedad Específica	Norma ASTM D 1298:99
Tensión Interfacial	Norma ASTM D 971:99a
Color	Norma ASTM D 1500:98

1.4.4.1 ANALISIS CROMATOGRAFICO DE GASES (Astm D-3612-01 M C)

Mediante este análisis se detecta la presencia de gases combustibles tales como Hidrógeno, Monóxido de Carbono, Metano, Etileno, Acetileno y otros como Dióxido de

Carbono, y se diagnostica con base en la concentración de cada uno de ellos y algunas relaciones en composición, fallas incipientes o avanzadas como descarga internas, efectos corona, y sobrecalentamientos del aceite o de la celulosa, lo cual nos permite programar con tiempo la salida de servicio de una unidad para inspección interna si fuere necesario y así evitar una falla inesperada del transformador.

1.4.4.2 ANALISIS ESPECIALES

Factor de potencia a 25 °C y 100 °C

Contenido de Furanos

Contenido cualitativo y cuantitativo de PCB'S

Contenido de Inhibidor

Punto de inflamación

Viscosidad a 40 °C

1.4.4.3 APLICACIONES EN LA INDUSTRIA

• DIAGNÓSTICO DE TRANSFORMADOR

El transformador eléctrico es una máquina considerada como un elemento fiable en las instalaciones. No obstante, los materiales están sometidos a temperatura y gradiente de campo eléctrico, provocando un envejecimiento en el aislamiento.

Cuando se produce algún esfuerzo, por ejemplo; cambio de carga, sobretensión de origen atmosférico o de maniobra, si los materiales no están en buen estado, pueden dar origen a una avería que en muchos casos no se manifiesta de manera inmediata por lo que se denomina latente.

La experiencia muestra que aproximadamente un veinte por ciento de los transformadores presenta síntomas de averías latentes que producirán una desconexión intempestiva, en la Fig. # 15 se aprecia un transformador en el cual se pueden aplicar los estudios de mantenimiento predictivo por medio de un análisis de aceites.

⁴Disponible en <http://www.solomantenimiento.com>

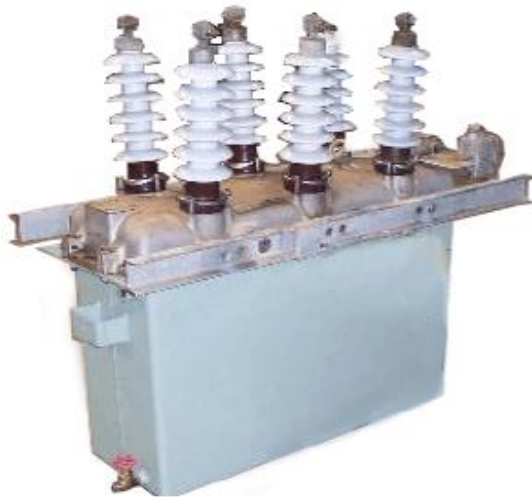


Fig. # 15 Modelo de transformador.

FUENTE: Aceites\DIAGNÓSTICO DE TRANSFORMADORES_ TRANSFORMADOR ELÉCTRICO.htm
www.solomantenimiento.com

- **DETERIORO DE UN TRANSFORMADOR**

Como consecuencia de los cambios de carga, la temperatura del transformador y la del aceite cambian, por ello varía el nivel del aceite en el depósito de expansión por motivo que está saliendo y entrando aire y a pesar del silicagel entra humedad y pasa al aceite.

Sólo unos veinte miligramos de agua por kilogramo de aceite, 20 ppm, pueden provocar la caída del cincuenta por ciento de la rigidez dieléctrica. Esto supone un evidente peligro para la seguridad de las personas y la instalación ya que es el aceite aislante el que soporta, casi él solo, el aislamiento a tierra.

Por otra parte, el aceite alcanza una temperatura lo suficientemente elevada como para reaccionar con el oxígeno que tiene disuelto. Los productos de descomposición son polares, a diferencia del aceite aislante que está formulado a base de compuestos apolares, y además se forman compuestos de polimerización que se depositan en el transformador (depósitos).

Los depósitos dificultan la refrigeración del transformador elevando su temperatura de funcionamiento. Esto produce una descomposición más rápida del aceite al elevarse la temperatura.

Los compuestos polares contribuyen a aumentar las pérdidas dieléctricas del transformador, que como en el caso de los sedimentos, elevan la temperatura del aceite.

Por todo lo anterior, las características que la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) recomienda controlar periódicamente lo siguiente:

Aspecto; Tensión de Ruptura; Contenido en Agua; Índice de Neutralización; Pérdidas Dieléctricas, en la Fig. # 16 se muestran algunos equipos utilizados para la evaluación de aceites dieléctricos.



Fig. # 16 Equipos utilizados para la evaluación de aceites dieléctricos.

FUENTE: Aceites\DIAGNÓSTICO DE TRANSFORMADORES_ TRANSFORMADOR ELÉCTRICO.htm

www.solomantenimiento.com

De los ensayos se deduce: El estado del aceite es satisfactorio, si hay un problema de contaminación y conviene filtrar bajo vacío y eliminar agua, o se aprecia un deterioro químico y se evalúa con ensayos complementarios si se puede regenerar el aceite filtrando a través de tierras adsorbentes, o hay que sustituir el aceite.

Debe evitarse la práctica de filtrar el aceite si no es necesario, ya que esto puede contribuir a un envejecimiento prematuro, encareciendo además el mantenimiento.

El diagnostico de un transformador desde hace más de 30 años dispone de un método fiable y económico que, sin interferir en el normal funcionamiento del transformador proporciona datos que informan de la existencia de defectos incluso aun latentes, lo que

permite disponer de tiempo para programar una acción que evite la pérdida de producción. La técnica tiene la misma filosofía que la empleada en medicina, el aceite aislante del transformador, como la sangre en el cuerpo, pasa por todos los sitios, si en algún punto se está produciendo un calentamiento anómalo (temperaturas superiores a 140°C) o una heterogeneidad del aislamiento que origina descargas eléctricas, el aceite aislante se descompone originando productos que permanecen disueltos en el aceite (hidrógeno, metano, etano, etileno, acetileno, óxidos de carbono).

Si se toma una muestra del aceite y se analiza mediante cromatografía de gases, se puede determinar las cantidades de estos compuestos.

La norma de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) 599 establece la Guía de Interpretación de los resultados de los análisis que permite la identificación del tipo de defecto en transformadores aislados con aceite mineral. Asimismo las experiencias recogidas por el Institute of Electrical and Electronics Engineers. Inc. permiten la identificación del tipo de defecto en el caso de transformadores aislados con siliconas.

La actuación del propietario ante un diagnóstico es la clave para evitar un incidente importante y en consecuencia actuar con celeridad antes de que la información disponible no sea útil porque ya se han producido daños irreparables y pérdida de producción.

- **VALORACIÓN DEL AISLAMIENTO DEL PAPEL DE LOS BOBINADOS**

La geometría de los bobinados del transformador se mantiene con ayuda del encintado de los conductores de cobre, este encintado se realiza con Papel Kraft. Es por lo tanto un material cuya base es la celulosa. Bajo la acción de la temperatura (por encima de los 60°C) la celulosa se degrada disminuyendo su Grado de Polimerización (G.P.). Cuando el transformador es nuevo, después de realizarse la impregnación de los bobinados con aceite, se puede estimar que el G.P. promedio es de 1000.

En su degradación térmica se origina un producto como el 2-furfuraldehído (2-FAL), que en una pequeña parte pasa al aceite. La determinación de la concentración de 2-FAL en el aceite, está relacionada con la disminución del G.P. del papel. Se identifican así los defectos térmicos que afectan al aislamiento sólido y el grado de envejecimiento del aislamiento por la estimación del G:P. Residual del papel aislante, en la Tabla # 4 se puede apreciar una guía de intervención después de haber detectado problemas con el aceite.

- **GUÍA DE INTERVENCIÓN.**

NATURALEZA DEL DEFECTO	GAS CLAVE	ESCENARIO DE POSIBLES ACTUACIONES
DESCARGAS PARCIALES	H2 CH4	El equipo se puede mantener en servicio con vigilancia. Evaluar: Contenido y velocidad de formación de gases.
DESCARGAS ELÉCTRICAS	C2H2 C2H4	Mantener una actitud prudente. Determinar si se trata de un defecto de evolución rápida. Si hay gases en Buchholz comparar con gases en aceite. Examinar las posibilidades de reparar.
TÉRMICO SOLO ACEITE	C2H4 C2H6	El transformador puede permanecer en servicio. Evaluar: Contenido y velocidad de formación de gases.
TÉRMICO ACEITE Y PAPEL	C2H4 C2H6 CO y CO2	Riesgo de fallo eléctrico por carbonización del papel. Evaluar: Contenido y velocidad de formación de gases. Valorar grado de polimerización del papel.

Tabla # 4 Guía de intervención

- **CONCLUSIONES**

Como se ha podido ver anteriormente toda la información que se obtiene, así como el contenido de gases disueltos y humedad en el aceite del transformador, es de suma utilidad tanto para el operador como para el personal de mantenimiento. Les permite tomar decisiones acertadas acerca del régimen de trabajo al que se lo someterá y también tomar acciones de mantenimiento predictivo, en base al mayor conocimiento del estado de la aislación.

1.5 NORMATIVA REGULATORIA.

1.5.1 ANALISIS DE VIBRACIONES.

1.5.1.1 Introducción.

Una buena norma debe representar una opinión consensuada de un número importante de usuarios, debe ser de fácil comprensión, fácil de usar y no contener ambigüedades. Toda norma debe de contener aquella información que permita comparar, con criterios consensuados, procedimientos habituales de medida y evaluación de datos. En este sentido, los objetivos a alcanzar por una norma pueden ser, entre otros:

- Establecer criterios para la clasificación del rendimiento de un equipo o material.
- Proporcionar una base para la comparación de las cualidades de mantenimiento de los componentes o piezas de un equipo del mismo tipo.
- Examinar un equipamiento o instalación cuyo funcionamiento continuado es preciso para asegurar la seguridad industrial o pública.
- Establecer una base a partir de la cual llevar a cabo la selección de equipos o materiales.
- Determinar procedimientos para la calibración de equipos.

Así, algunas normas establecen clasificaciones para los equipos indicando cómo han de llevarse a cabo las medidas y cómo han de analizarse los datos obtenidos; definiendo, del mismo modo, las condiciones de operación del equipo durante el procedimiento de ensayo. En este capítulo, se va a hacer mención principalmente a la normativa relacionada con la vibración en máquinas y sus posibles clasificaciones. En general, no se van a introducir otros posibles campos como podrían ser:

- Normas para la calibración de transductores.
- Normas para el diseño de máquinas de ensayo por impacto.
- Normas asociadas a procedimientos de ensayo para la caracterización de materiales elastómeros empleados en dispositivos de aislamiento de vibraciones e impactos (normas de la ASTM – American Society for Testing and Materials).
- Normas para la evaluación, ensayo y uso de máquinas de equilibrado.
- Normas relativas a los métodos de ensayo y caracterización de materiales de protección para embalajes.
- Normas relativas a los efectos de los impactos y las vibraciones en el hombre.

1.5.1.2 TIPOS DE NORMAS.

Para esta aplicación pueden distinguirse los siguientes tipos de normas:

- **Normas Internacionales (ISO – International Standards Organization).**

Se consideran de máxima prioridad en transacciones internacionales, siendo en la práctica el punto de partida para valorar la severidad de vibraciones. El principal inconveniente que presentan dichas normas es su carácter general.

- **Normas Europeas (EN).**

Dentro del ámbito de la Unión Europea, las normas o directrices europeas van constituyendo en los últimos años la referencia a la que adecuar las correspondientes Normas de carácter nacional. Así, es habitual que las mismas incorporen en su preámbulo una afirmación del tipo:

“Esta norma europea deberá recibir el carácter de norma nacional, bien por la publicación de un texto idéntico, bien por ratificación lo más tarde en enero de 1998 y las normas Internacionales en contradicción con ella deberán ser retiradas lo más tarde en enero de 1998”.

- **Normas Nacionales (UNE).**

Por ejemplo, la norma UNE 20-180-86, que se comentará posteriormente. Esta norma debería ser la más utilizada para determinar la severidad de la vibración en un determinado tipo de máquinas, aunque se considera más como recomendación que como mandato legal.

- **Recomendaciones y guías de los fabricantes.**

Son recomendaciones de los fabricantes sobre los niveles de vibración permisibles por sus equipos. En la mayor parte de los casos, se limitan al área de la turbomaquinaria, aunque hay una gran tendencia a exigir este tipo de información al fabricante cada vez que se adquiere un equipo crítico.

- **Normas internas.**

Resulta recomendable desarrollar normativas internas propias de vibraciones por ser las que mejor se adaptan a los equipos tipo de cada planta productiva. Está en una de las tareas más difíciles dentro del Mantenimiento Predictivo, pero se ve recompensada a medio plazo por los excelentes resultados obtenidos.

1.5.1.3 TIPOS DE MAQUINARIA.

Desde el punto de vista de la medida y evaluación de la vibración, las máquinas pueden subdividirse básicamente en cuatro categorías:

- **Máquinas de movimiento alternativo con componentes tanto rotativos como alternativos** (motores diesel y ciertos tipos de bombas y compresores).

En estos casos, la vibración se mide normalmente en la estructura principal de la máquina a bajas frecuencias.

- **Máquinas rotativas con rotores rígidos** (ciertos tipos de motores eléctricos, bombas monoetapa y bombas de baja velocidad).

La vibración habitualmente se mide en la estructura principal de la máquina (tapas de cojinetes o soportes) donde los niveles de vibración resultan indicativos de las fuerzas de excitación generadas en el rotor como consecuencia de desequilibrios, rozamientos, deformaciones térmicas, vórtices y otros tipos de excitación.

- **Máquinas rotativas con rotores flexibles** (grandes generadores de turbina de vapor, bombas multietapa y compresores).

La máquina puede vibrar de acuerdo con más de un modo de vibración según pasa por una o más de sus velocidades críticas hasta alcanzar la velocidad correspondiente al régimen de servicio. En este tipo de máquinas, la medida de la amplitud de vibración en un elemento de la estructura puede no ser indicativa del estado vibracional del rotor. Por ejemplo, un rotor flexible puede experimentar desplazamientos en vibración de gran amplitud que den lugar a un rápido fallo de la máquina, aunque el nivel de vibración medido en la tapa del cojinete resulte ser muy pequeño. En este caso, por tanto, puede resultar esencial medir directamente la vibración en el eje.

- **Máquinas rotativas con rotores semirígidos** (turbinas de vapor de baja presión, compresores de flujo axial y ventiladores).

En este tipo de máquinas, el tipo de rotor flexible que les caracteriza permite que la medida de amplitud de vibración en la tapa del cojinete resulte indicativa de la vibración del eje.

1.5.1.4 ORMAS SOBRE LA INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMAS DE MEDIDA.

Estas normas se refieren a las características de los equipos y sistemas de medida y adquisición, analizadores de vibraciones y sensores, empleados en la medida y análisis de vibraciones. Engloban aspectos muy diversos como calibración, pruebas de seguridad, agitación y temperatura, etc. Al mismo tiempo, es importante destacar el hecho de cómo hay que cuidar particularmente el aspecto de los sensores, si se piensa utilizar el aparato en zonas potencialmente explosivas (es decir, en estos casos, tanto el aparato como el sensor han de ser intrínsecamente seguros). Algunas de las normas más habituales que suelen cumplir los aparatos y sensores de medida pueden ser las denominadas como: *IEC*, *MIL* y *CISPR*.

Entre las normas nacionales (**UNE**) que hacen referencia a estos aspectos, se pueden destacar las siguientes:

- **UNE 21 328 75 (1)** “***Características relativas a los transductores electromecánicos destinados a la medida de choques y vibraciones***”.
- **UNE 21 328 75 (2)** “***Clases de captadores de vibraciones y elementos sensibles empleados en estos captadores***”.
- **UNE 95 010 86** “***Vibraciones y choques, terminología***”.

A su vez, entre las normas ISO cabe mencionar la **ISO 2954** “**Vibración mecánica en maquinaria rotativa y alternativa – Requerimientos para los instrumentos de medida de la severidad de vibración**”.

No obstante, es importante constatar como un número importante de aparatos de medida de vibraciones no cumple, en general, ninguna norma internacional. En la mayor parte de los casos, se confía en el renombre de ciertas marcas como garantía suficiente. Sin embargo, el cumplimiento de las normas de aparatos puede ser punto de conflicto en los peritajes.

1.5.1.5 NORMAS Y GUÍAS SOBRE LA SEVERIDAD DE LAS VIBRACIONES.

A la hora de llevar a cabo una clasificación de la severidad de la vibración en una máquina, la variable del movimiento a considerar (desplazamiento, velocidad o aceleración de la vibración) depende del tipo de norma y del rango de frecuencias a analizar, amén de otros factores. Por ejemplo:

⁶ Disponible en www.ansi.com

- El análisis del estado vibracional de una máquina en el rango de 10 a 1.000 Hz, se suele llevar a cabo a menudo en función de la velocidad de vibración, al resultar un parámetro prácticamente independiente de la frecuencia en este rango, lo que facilita el llevar a cabo una medida sencilla de la severidad de las vibraciones en una máquina.
- Cuando se trata de analizar un movimiento armónico simple, puede llevarse a cabo el estudio midiendo valores pico a pico, o valores rms, del desplazamiento en vibración. Sin embargo, para máquinas cuyo movimiento es más complejo, el uso de estos dos índices da lugar a resultados claramente diferentes debido al distinto peso aportado por los armónicos de más alta frecuencia.
- En máquinas rotativas con velocidad de giro dentro del rango de 600 a 12.000 RPM, el valor rms de las amplitudes de la velocidad de vibración suele corresponderse bastante bien con el nivel de severidad de la vibración. Así, la International Standards Organization (ISO) define como “**severidad de la vibración**” el mayor valor rms de la amplitud de velocidad de vibración obtenido en la banda de frecuencia 10 – 1.000 Hz y medido en unos puntos preestablecidos de la estructura (normalmente medidas triaxiales en la tapa de los cojinetes o en los soportes).

Por lo tanto, por regla general, las normas de severidad de vibraciones de maquinaria se basan en dos parámetros de la vibración: amplitud y frecuencia. A continuación, se van a comentar algunas de ellas y su aplicación a los diferentes tipos de maquinaria establecidos anteriormente.

- **CARTA DE RATHBONE.**

Es la primera guía (no norma) de amplia aceptación en el ámbito industrial. Fue desarrollada en los años treinta y perfeccionada posteriormente. La carta dispone de dos escalas logarítmicas: frecuencial en hercios (Hz) y amplitudes en desplazamiento (Pico), mediante las que se podrá determinar directamente la severidad de la vibración.

Las principales limitaciones de dicha carta son las siguientes:

- _ No tiene en cuenta el tipo de máquina, la potencia y la rigidez de los anclajes.
- _ La carta es aplicable solamente a los equipos rotativos y no a los alternativos o a otros sistemas industriales.

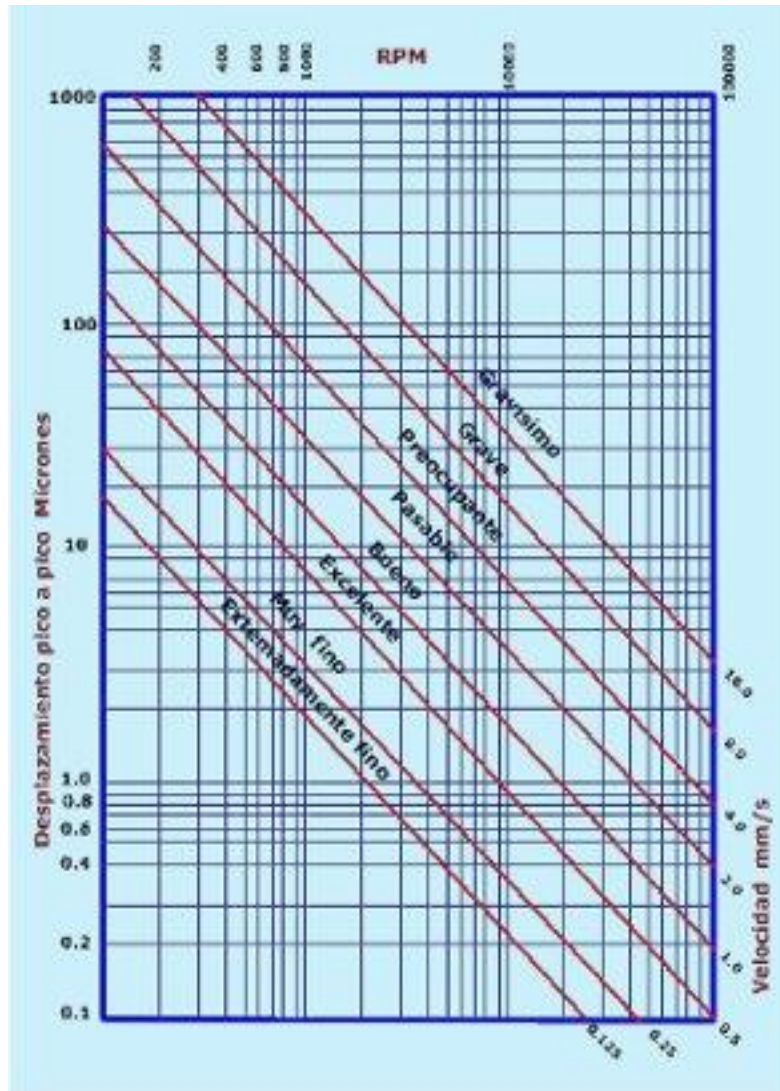


Fig. # 17 Carta de Rathbone.

FUENTE: Disponible en energia.com

_ Cuanto mayor es la frecuencia, la amplitud de vibración en desplazamiento tiene que ser menor para que se conserve la misma severidad. Es decir, si un equipo vibra a 300 RPM con 100 micras P-P, la severidad es “buena”, pero si la misma amplitud corresponde a una frecuencia de 4.000 CPM, entonces la severidad es “muy severa”. La vibración a baja frecuencia es menos peligrosa, que la vibración a alta frecuencia, de ahí que las averías de engranajes y rodamientos, que se producen generalmente a alta frecuencia, sean muy peligrosas. Este es el motivo por el que las amplitudes de baja frecuencia se miden en desplazamientos y las de alta frecuencia, en velocidad o aceleración. La carta de Rathbone fue creada para máquinas de bajas RPM y hoy se considera obsoleta.

1.5.1.6 NORMAS ISO.

La normalización internacional (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION) sobre la severidad de vibraciones de máquinas tiene una extensa gama de normas, entre las cuales pueden citarse:

- **ISO 2372-1974. “Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 10 y 200 rev/s. Bases para la especificación de estándares de evaluación”.**

Es aplicable a máquinas rotativas con rotores rígidos y a máquinas rotativas con rotores flexibles en los que la medida de vibración en la tapa del cojinete resulta indicativa del comportamiento vibracional de eje.

Sólo estudia vibración global, sin bandas de frecuencias.

Los datos que se requieren para su aplicación son el **nivel global de vibración en velocidad - valor eficaz RMS**, en un rango de frecuencia entre 10 y 1.000 Hz (severidad de la vibración, según ISO). Por ello, cuando se trabaja en mantenimiento predictivo haciendo análisis por bandas, puede resultar muy útil definir siempre una **banda ISO de 10 Hz a 1KHz**, de cara a tener una referencia para posibles informes o reclamaciones.

El análisis de este rango de frecuencias permite incluir, para estas velocidades de operación, las acusas más comunes de vibración en máquinas rotativas:

- Excitaciones de carácter asíncrono debidas a rozamientos.
- Desequilibrio del rotor.
- Excitaciones de carácter eléctrico y sus armónicos.
- Armónicos de excitaciones asíncronas del rotor.

De cara al establecimiento de la **severidad de vibración admisible**, se distinguen varias clases de máquinas rotativas:

- **CLASE I** – Componentes individuales, totalmente conectados al conjunto de la máquina en condiciones normales de operación. Por ejemplo, pequeños motores eléctricos hasta 15 Kw.
- **CLASE II** – Máquinas de tamaño medio. Por ejemplo, motores eléctricos de 15 a 75 Kw o hasta 300 Kw en motores con cimentación especial.
- **CLASE III** – Motores principales grandes, con cimentación rígida y pesada.

- **CLASE IV** - Motores principales grandes montados sobre cimentación blanda y ligera. Por ejemplo, Turbo-maquinaria (equipos con RPM > velocidad crítica).

El criterio de severidad en vibración admisible para cada una de las CLASES de máquinas mencionadas, es el reflejado en la tabla:

Velocidad (mm/s, rms)	Tipos de máquinas			
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0,18 a 0,28	A			
0,28 a 0,45				
0,45 a 0,71				
0,71 a 1,12				
1,12 a 1,8	B	B	B	B
1,8 a 2,8				
2,8 a 4,5	C	C	C	C
4,5 a 7,1				
7,1 a 11,2	D	D	D	D
11,2 a 18				
18 a 28				

A Buena

C Insatisfactoria

B Satisfactoria

D Inaceptable

Tabla # 5. Clases de máquinas.

FUENTE: Normas ISO 9001-2000.

Como puede observarse en la tabla, la **severidad de vibración** se divide en cuatro rangos: A-Buena, B-Satisfactoria, C-Insatisfactoria o D-Inaceptable. Para utilizar la norma **ISO 2372**, basta con clasificar la máquina en estudio dentro de la clase correspondiente y, una vez obtenido el valor global (RMS) de vibración entre 600 y 60.000 CPM, localizar en la tabla la zona en la que se encuentra. La clasificación de la máquina se llevará a cabo en base a una serie de consideraciones:

- El tipo y tamaño de la máquina.
- El tipo de servicio que la misma va a proporcionar o proporciona.
- El sistema de soporte de la máquina.

- El efecto de la vibración en la máquina sobre el entorno de la misma (instrumentación, equipos adyacentes, personas, ...)

En general, se suele considerar que la severidad de vibración de la máquina se mantiene invariable si presenta siempre el mismo valor RMS de amplitud de velocidad de vibración en el rango de frecuencias 10 – 1.000 Hz.

- **ISO 3945. “Medida y evaluación de la severidad de vibración en grandes máquinas rotativas , in situ; velocidades de operación entre 10 y 200 rev/s”:**

Esta norma, como su mismo título indica, permite clasificar la severidad de vibración de grandes máquinas rotativas “in situ”, para velocidades de operación también entre 600 y 1.200 RPM, mediante la tabla # 6. Se aplica a los grandes motores principales, Clases III y IV definidas arriba.

Ranges of Radial Vibration Severity			Quality Judgement for Separate Machine Classes			
Range	RMS Velocity in 10-1000 Hz at the Range Limits mm/sec in/sec		Class I	Class II	Class III	Class IV
0.28	0.28	0.011	A	A	A	A
0.45	0.45	0.018	A	A	A	A
0.71	0.71	0.028	A	A	A	A
1.12	1.12	0.044	B	A	A	A
1.80	1.80	0.071	B	B	A	A
2.80	2.80	0.110	C	B	B	A
4.50	4.50	0.180	C	C	B	B
7.10	7.10	0.280	D	C	C	B
11.20	11.20	0.440	D	D	C	C
18	18	0.710	D	D	D	C
28	28	1.10	D	D	D	D
71	71	2.80	D	D	D	D

ISO 3945 Vibration Severity Table.

Tabla # 6 Normativa ISO 3945.

FUENTE: Normas ISO 9001-2000.

En este caso, la clasificación de la severidad de vibración depende de las características de flexibilidad o rigidez del sistema soporte que presenta la máquina:

- Se dice que los soportes son flexibles si la frecuencia fundamental de la máquina sobre dichos soportes es menor que la principal frecuencia de excitación.
 - Los soportes se dicen rígidos si la frecuencia fundamental de la máquina sobre los mismos es menor que la principal frecuencia de excitación.
- **ISO 10816. “Vibración mecánica. – Evaluación de la vibración en una máquina mediante medidas en partes no rotativas”.**

Es una normativa más reciente que las anteriores (de los 90). Recoge una serie de normas, incluidas en los puntos expuestos más adelante, que describen los procedimientos para la evaluación de la vibración en máquinas en base a medidas realizadas en partes no rotativas de las mismas.

- **Parte 1:** Indicaciones generales.
- **Parte 2:** Turbinas de vapor y generadores que superen los 50 MW con velocidades típicas de trabajo de 1500, 1800, 3000 y 3600 RPM.
- **Parte 3:** Maquinaria industrial con potencia nominal por encima de 15 kW y velocidades entre 120 y 15000 RPM.
- **Parte 4:** Conjuntos movidos por turbinas de gas excluyendo las empleadas en aeronáutica.
- **Parte 5:** Conjuntos de máquinas en plantas de hidro-generación y bombeo.

Cada una de las partes de esta norma proporciona un estándar individual para una serie de máquinas y define información específica y criterios aplicables únicamente a esas máquinas.

El criterio general relaciona el monitorizado en condiciones de operación y el ensayo de aceptación de la máquina; y se expresa tanto en términos de magnitud de vibración como de variación en dicha magnitud. Es decir, no hace referencia sólo a valores absolutos, sino también a valores relativos, a variaciones y tendencias.

No sólo habla de velocidad, sino también de aceleración y desplazamiento.

• **ISO 7919. “Vibración mecánica de máquinas no alternativas – Medidas en ejes rotativos y evaluación”**

Una máquina rotativa que tiene una carcasa relativamente rígida y/o pesada en comparación con su masa rotativa, a menudo puede llegar a considerarse como que tiene un eje rotor flexible.

En tal caso, las condiciones de vibración han de ser evaluadas con un mayor grado de sensibilidad si las medidas son llevadas a cabo sobre los elementos rotativos y no sobre los componentes estáticos de la máquina.

Para este tipo de máquinas resulta preferible aplicar la normativa recogida en la serie de normas englobada por esta ISO 7919, antes que considerar la ISO 2372 o la ISO 3945. Estas dos últimas pueden no caracterizar adecuadamente las condiciones de funcionamiento de la máquina; aunque la realización de las medidas de acuerdo con lo establecido en estas dos normas sí pueden resultar útiles. La norma ISO 7919 es aplicable en los siguientes campos:

- **Parte 1.** Productores generales de las diferentes clases de máquinas.
 - **Parte 2.** Grandes equipos turbo-generadores con bases a tierra.
 - **Parte 3.** Máquinas industriales acopladas con rodamientos.
 - **Parte 4.** Turbinas de gas industriales, con potencias de más de 3 megavatios.
 - **Parte 5.** Máquinas hidráulicas acoplados con rodamientos y potencias superiores a 1 megavatio.
- **ISO 10817-1. “Sistemas de medida de vibración en ejes rotativos: Señal relativa y absoluta de la vibración radial de ejes rotativos”.**

En el caso de motores eléctricos y generadores, las normas de la **ISO**, la **ANSI** (American National Standards Institute) la **NEMA** (National Electrical Manufacturers Association) y la **API** (American Petroleum Institute) establecen una serie de criterios de clasificación para los niveles de vibración admisibles en motores eléctricos.

Estos sistemas de clasificación no son iguales en todos los casos. Algunos están basados en el desplazamiento en vibración del eje PICO a PICO, mientras que otros utilizan bien el valor RMS o el valor PICO de la amplitud de vibración en velocidad medida sobre la estructura (sobre los alojamientos de los cojinetes o los soportes), como es el caso de esta norma ISO 10817-1.

En cualquier caso, en cada norma se especifica las condiciones de ensayo y el procedimiento a seguir, incluido el montaje para el soporte de la máquina, la instrumentación y el método de ensayo.

- **ISO 2373. “Vibración mecánica en cierta maquinaria eléctrica rotativa con alturas de eje entre 80 y 400 mm – Medida y evaluación de la severidad de vibración”.**

Esta norma constituye una adaptación especial de la ISO 2372 para motores eléctricos, y se aplica a motores de corriente alterna trifásica y a motores de corriente continua con alturas de eje (distancia vertical entre la base del motor y la línea central del eje) entre 80 y 400 mm. En este caso, el criterio de severidad de vibración (el mismo que el de la ISO 2372) se toma en términos del valor RMS de amplitud de vibración en velocidad, en el rango de 10 a 1.000 Hz, cuando la medida se lleva a cabo con una instrumentación que cumple los requerimientos establecidos por la ISO 2954. Las medidas se realizan con la máquina suspendida libre (por ejemplo, suspendida o montada sobre un soporte elástico de muelles o material elastomérico). El motor opera a la frecuencia nominal (para los motores AC) y a su velocidad nominal.

Cuando se trata de máquinas que disponen de varias velocidades o velocidades variables, los ensayos son llevados a cabo a diferentes velocidades de operación. Salvo que se diga lo contrario, las medidas de la severidad de vibración deben de realizarse sin carga de operación y a la temperatura alcanzada por el motor después de un periodo suficiente de operación en situación de no carga.

La tabla # 7 establece los límites recomendados de la severidad en vibración para varios tamaños de motor.

GRADO DE CALIDAD	REGIMEN DE SERVICIO	VALOR MÁXIMO DE VELOCIDAD DE VIBRACIÓN RMS PARA EJES DE ALTURA H (mm)					
		80 ≤ H ≤ 132		132 ≤ H ≤ 225		225 ≤ H ≤ 400	
		mm/s	in/s	mm/s	in/s	mm/s	in/s
N Normal	600 to 3600	1.8	0.071	2.8	0.110	4.5	0.177
R Reducido	600 to 1800	0.71	0.028	1.12	0.044	1.8	0.071
	1800 to 3600	1.12	0.044	1.8	0.071	2.8	0.110
S Especial	600 to 1800	0.45	0.018	0.71	0.028	1.12	0.044
	1800 to 3600	0.71	0.028	1.12	0.044	1.8	0.071

Tabla # 7 Límites de severidad de vibración. ISO 2373.

FUENTE: Normas ISO 9001-2000.

Estas son las normas que se utilizarán como guía para contrastar los diferentes análisis de vibraciones en la maquinaria industrial.

1.5.2 NORMATIVA PARA TERMOGRAFIA.

Introducción.

Existen un gran número de normas requeridas para desarrollar un correcto proceso de mantenimiento industrial, pero para este caso en particular citaremos las normas "ISO y ASTM Internacional" las cuales están directamente relacionadas con el mantenimiento predictivo industrial en el campo de termografía.

1.5.2.1 NORMAS ISO Y ALGUNAS RECOMENDADAS POR LA ASTM INTERNATIONAL.

1.5.2.2

- ISO 18434-1: 2008

Supervisión de condición y diagnóstico de máquinas.

Procedimientos generales.

La **ISO 18434-1: 2008** proporciona una introducción al uso de la termografía infrarroja a la supervisión y diagnóstico de condición de la maquinaria, donde la "maquinaria" incluye a auxiliares de la máquina tales como válvulas, líquido y las máquinas eléctricamente accionadas, y equipo maquinaria relacionado con el intercambio de calor. Además, se tratan los usos de termografía infrarroja referente a la evaluación del funcionamiento de la maquinaria.

La **ISO 18434-1: 2008** introduce la terminología de termografía infrarroja mientras que pertenece a la supervisión de condición y al diagnóstico de máquinas; describe los tipos de procedimientos de termografía infrarroja y de sus méritos; proporciona la dirección en establecer los criterios de la evaluación de la severidad para las anomalías identificadas por termografía infrarroja; métodos y requisitos de los contornos para realizar termografía infrarroja de máquinas, incluyendo recomendaciones de seguridad; proporciona la información en la interpretación de los datos, y criterios de la evaluación y requisitos de divulgación; proporciona los procedimientos para determinar y compensar la temperatura aparente reflejada, emisividad, y atenuar medios.

ISO 18434-1: 2008 también abarca los métodos de prueba para determinar y compensar la temperatura aparente reflejada, emisividad, y atenuar medios cuando se mide la temperatura de la superficie de un objetivo cuantitativo con una cámara termografía infrarroja.

- **ISO 18436-1: 2004**

Supervisión de condición y diagnóstico de máquinas -- Requisitos para el entrenamiento y la certificación del personal: Requisitos para certificar organismos y el proceso de la certificación.

La **ISO 18436-1: 2004** define los requisitos para los organismos que ofrecen los sistemas de certificación para el personal que realiza la supervisión de condición de la maquinaria, identifica averías de la máquina, y recomienda la acción correctiva. Se especifican los procedimientos para la certificación de la supervisión de condición y del personal de diagnóstico.

- **ISO 18436-7: 2008.**

Supervisión de condición y diagnóstico de máquinas -- Requisitos para la calificación y la evaluación del personal.

La **ISO 18436-7: 2008** define los requisitos para la calificación y la evaluación del personal que realiza la supervisión y el diagnóstico de condición de la maquinaria usando la termografía infrarroja. Un certificado o una declaración de la conformidad de la ISO 18436-7: 2008 proporcionarán el reconocimiento de las calificaciones y de la capacidad de los individuos para realizar medidas y análisis térmicos para la supervisión de condición de la maquinaria usando las cámaras térmicas portátiles de la proyección de imagen. Este procedimiento puede no aplicarse al equipo especializado o a otras situaciones específicas. ISO 18436-7: 2008 especifica un programa de la clasificación de la tres niveles.

- **ISO/DIS 18436-8.**

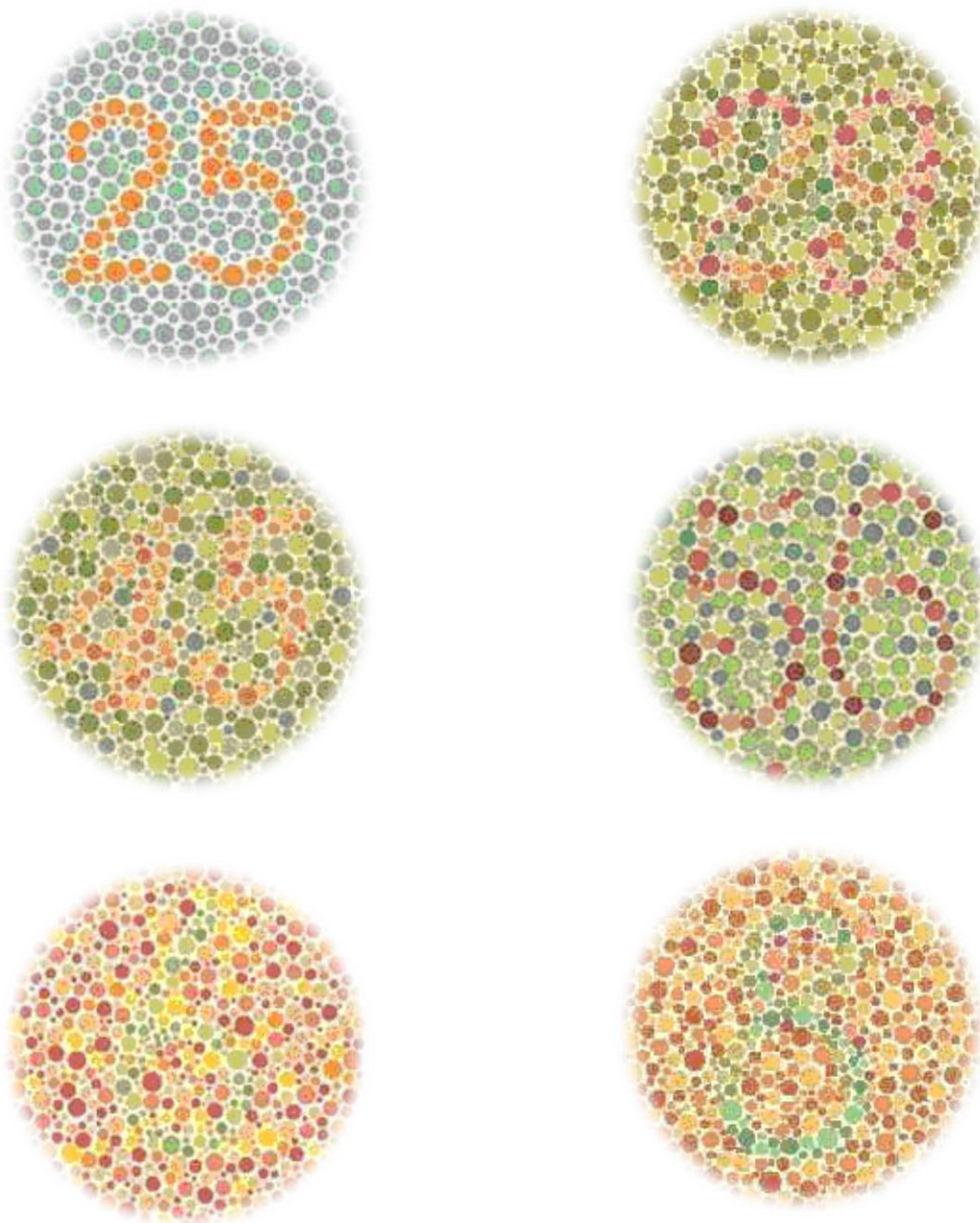
Condición de vigilancia y diagnóstico de máquinas - Requisitos de formación y certificación del personal.

La **ISO 18436-8** recomienda que los candidatos hayan probado la percepción de los colores con los criterios del test de **Ishihara**, donde se exigirá a los empleadores determinar si el incumplimiento de los requisitos de esta prueba afectará a la capacidad del candidato para llevar a cabo el análisis de los datos de la termografía infrarroja mediante paletas de colores. No superar el test de Ishihara podrá exigir al candidato el uso de paletas monocromáticas. Esta prueba específica y cualquier requisito que requiera al candidato el uso de paletas monocromáticas, deberá ser documentado y el expediente de la prueba puesto a disposición del organismo que realiza la certificación.

A continuación presentamos el test de la visión de colores llamado también "Ishihara":

¿Qué número se ve dentro de las figuras?

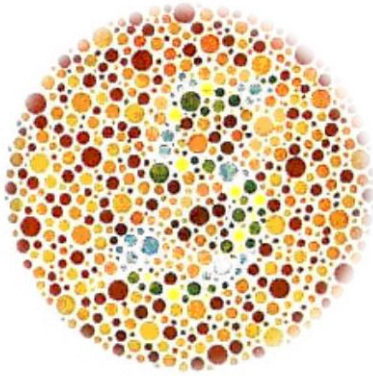
⁹ TORRES Huitzil, César, Análisis de Imágenes Infrarrojas, Instituto Nacional de Astrofísica; Óptica y Electrónica, Puebla, 1998.



Visión a colores normal			Ceguera a rojo – verde		
	Izquierda	Derecha		Izquierda	Derecha
Superior	25	29	Superior	25	puntos
Medio	45	56	Medio	puntos	56
Inferior	6	8	Inferior	puntos	puntos

Fig. # 18 Test de Ishihara
FUENTE: Normas ISO 9001-2000.

A continuación otra prueba de daltonismo interesante:



Pacientes normales deberían ver un 5, en cambio un paciente con ceguera rojo-verde verá un 2 entremezclado con puntos

Fig. # 19 Test de Ishihara para normativa.

FUENTE: Normas ISO 9001-2000.

- **ISO 9712:2005.**

Prueba no destructiva -- Calificación y certificación del personal

La ISO 9712:2005 especifica la calificación y la certificación del personal implicado en la prueba no destructiva (NDT). Es aplicable a la habilidad en uno o más de los métodos siguientes: prueba de la emisión acústica; prueba de la corriente de Foucault; prueba de termografía infrarroja; prueba de fugas (la presión hidráulica prueba excluida); prueba de partículas magnéticas; prueba penetrante; prueba radiográfica; prueba de la tensión; prueba ultrasónica; prueba de la representación visual (se excluyen visual directo, sin ayuda visual y pruebas de ensayos llevados a cabo durante la aplicación de otro método END).

- **ISO 6781:1983.**

Aislamiento térmico -- Detección cualitativa de irregularidades termales en envolventes del edificio -- Método infrarrojo

Especifica un método cualitativo, por examen termográfico (método infrarrojo), para detectar irregularidades termales en envolventes del edificio. El método se utiliza para identificar variaciones amplias en las características térmicas, incluyendo hermeticidad del aire, de los componentes que constituyen los envolventes externos de edificios. No se aplica a la determinación del grado de hermeticidad del aislamiento térmico y del aire de una estructura.

- **EN 13187: 1999 DE BS.**

Rendimiento térmico de edificios. Detección cualitativa de irregularidades termales en envolventes del edificio. Método infrarrojo

Edificios, aislamiento térmico, comportamiento térmico de las estructuras, sistemas térmicos del ambiente, radiación irregular, infrarroja, detectores, termografía, medida de la temperatura, diseño térmico de los edificios, cámaras, equipo de prueba, prueba de funcionamiento, reconocimiento de patrón, informes, condiciones de prueba, muestras de control, defectos, modelo de preparación, pérdida de calor, transferencia térmica.

- **ASTM E1934 - 99a (2005).**

Guía estándar para examinar el equipo eléctrico y mecánico con la Termografía infrarroja.

Significación y uso

Esta guía se puede utilizar por un usuario final para especificar las inspecciones infrarrojas del equipo eléctrico y mecánico y que un termógrafo infrarrojo debe realizar.

El propósito de una inspección infrarroja es identificar posibles defectos los sistemas eléctricos o mecánicos y documentarlos para del usuario final, o ambas.

Alcance

- Esta guía enumera las responsabilidades comunes del usuario final y del termógrafo infrarrojo al usar la termografía infrarroja.
- Esta guía detalla el contenido específico requerido para documentar inspecciones infrarrojas cualitativas y cuantitativas del equipo eléctrico y mecánico.
- Esta guía puede implicar el uso del equipo y de los materiales en presencia de equipo eléctricamente energizado o en movimiento.
- En el equipo eléctrico, los defectos calientes son creados generalmente por un aumento en la resistencia causada por las conexiones flojas o deterioradas, los cortocircuitos, las sobrecargas, los desequilibrios de la carga o los componentes defectuosos, unidos mal o incorrectamente instalados. Los defectos fríos son causados generalmente por los componentes estropeados.

¹⁰ Disponible en www.nema.com

- En el equipo mecánico, los defectos calientes son creados generalmente por la fricción causada por la lubricación incorrecta, el desalineamiento, componentes usados o anomalías mecánicas del cargamento. Los defectos fríos son causados generalmente por los componentes estropeados.
- Los defectos en sistemas del aislamiento son causados generalmente por la falta o por los materiales deteriorados, instalación incorrecta o cantidades escasas de material.

Proporcionando opiniones sobre las causas de defectos, la integridad del equipo o las recomendaciones para las acciones correctivas requiere conocimiento y habilidades más allá de la termografía infrarroja.

Las inspecciones infrarrojas proporcionan datos sobre el equipo a la hora de la inspección solamente.

Las inspecciones infrarrojas no son remediadoras.

Una inspección infrarroja del equipo eléctrico y mecánico no asegura su operación apropiada. Otras pruebas y el mantenimiento apropiado son necesarios para asegurar su funcionamiento confiable.

1.5.3 NORMATIVA PARA ANALISIS DE ACEITE.

1.5.3.1 PRUEBAS DE LABORATORIO Y LAS NORMAS ASTM.

El análisis de laboratorio al aceite usado debe tener los siguientes objetivos:

- Análisis de las características físico-químicas, según las normas ASTM, con el fin de detectar cómo están las propiedades del aceite, y definir si está oxidado de tal manera que se pueda dejar en servicio ó sea necesario cambiarlo.
- Análisis de contaminantes, tales como:
 - Contenido de agua: ASTM D95.
 - Dilución por gases ó combustibles: ASTM D92.
 - Contenido de partículas sólidas: ISO 4406.
- Análisis del nivel de desgaste de los mecanismos lubricados, mediante la espectrofotometría de emisión atómica y la ferrografía.

Las diferentes pruebas de laboratorio a realizar dependen del tipo de aceite (industrial ó automotriz) y del equipo rotativo en el cual está trabajando. El análisis a las propiedades

físico-químicas del aceite usado se lleva a cabo mediante los métodos establecidos por las normas ASTM, el grado de contaminación por partículas sólidas según la norma ISO 4406, y el análisis del desgaste utilizando la espectrofotometría por emisión atómica, y la ferrografía. Para que los análisis de laboratorio efectuados al aceite usado, si estén acordes con su estado real, es muy importante tener cuidado que la muestra de aceite que se tome del equipo rotativo si sea lo más representativa posible, que los frascos para muestreo estén completamente limpios y que el procedimiento empleado para tomar la muestra de aceite si sea el correcto.

1.5.3.2 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL ACEITE.

El éxito de un análisis físico-químico al aceite usado depende en un alto porcentaje en conocer exactamente cuáles son las pruebas que se le deben efectuar, ya que mientras, por ejemplo, la prueba de demulsibilidad para un aceite para turbinas de vapor es importante, no así para un aceite de tipo automotor con aditivos detergentes-dispersantes. Los análisis de laboratorio son una valiosa herramienta en los programas de mantenimiento predictivo siempre y cuando los resultados se sepan interpretar por lo que es necesario que el usuario tenga por lo menos unos conocimientos mínimos en la temática de análisis de aceites de tal forma que pueda tomar decisiones sobre las acciones que debe seguir en cada caso. En caso contrario, debe estar muy bien asesorado del ingeniero de lubricación de la compañía que le está suministrando el aceite ó de la empresa que le está efectuando los análisis de aceites. Este es otro aspecto en el cual algunos fabricantes de lubricantes fallan ya que en muchas ocasiones no son lo suficientemente claros en las recomendaciones que dan basados en los resultados de los análisis de laboratorio ó las generalizan para todos los casos, permitiendo que en un momento dado quien lee el informe lo interprete de una manera diferente a lo que realmente se quiere decir; por ejemplo, esta puede ser la situación del análisis periódico al contenido de metales a una muestra de aceite de un reductor de velocidad en el cual en el último informe emitido por el fabricante del lubricante aparece lo siguiente: "El contenido de cobre en el aceite de 100 ppm está alto, se requiere revisar el estado de los elementos que contengan cobre". En este caso el contenido de cobre de 100 ppm muestra una situación anormal y bastante crítica que debe llevar a que el ingeniero de lubricación sea más explícito en las acciones que se deben ejecutar

indicándole al usuario recomendaciones adicionales como revisar mediante una inspección visual el estado de la canastilla ó jaula de los rodamientos si ésta es de cobre ó el estado de la corona si es un reductor sinfin-corona, que complemente los resultados del contenido de cobre con la tendencia en las vibraciones que tienen los rodamientos del reductor de velocidad y evalúe la tendencia que trae el equipo rotativo en cuanto a su temperatura de operación.

Una asesoría bien objetiva por parte del ingeniero de lubricación puede conducir a que los ingenieros de confiabilidad ó de mantenimiento utilicen los análisis de aceite como una herramienta altamente productiva y no como una práctica ocasional cuando se presentan fallas catastróficas en los equipos rotativos.

En la tabla # 8 se especifican los análisis de laboratorio que se le deben efectuar a las propiedades fisico-químicas del aceite usado de acuerdo con el tipo de mecanismo que se esté lubricando. Las que aparecen con una X es obligatorio hacerlas; con un número es opcional y es necesario tener en cuenta las notas al final de la tabla.

No	Propiedad Físico-química	Método ASTM	Mecanismo lubricado									
			Compresores			Sistema Hidráulico	Motores eléctricos y bombas	Turbinas de vapor	Turbinas a gas	MCI Gasolina y Diesel	Reduct. Engran. Automt. Transm. Automt	Dieléctricos
			Aire	Refrig.	Gases H ₂ S, Isobutil, Propano							
01	Gravedad Específica	D-287	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
02	Viscosidad	D-88	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
03	Índice de Viscosidad	D-567	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	X	(9)	(9)
04	Punto de Inflamación	D-92			X					X		
05	Carbón Conradson	D-189	(2)							(2)	(2)	
06	TAN ó NN	D-664	X	X	X	X	X	X	X		X	X
07	TBN	D-664							X	X		
08	Insolubles Pentano-Benceno	D-893	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
09	Tensión Interfacial	D-971						X				X
10	Dilución por combustible	D-322								X		
11	Demulsibilidad	D-1401				(3)		X				(1)
12	Formación de Espuma	D-892	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	
13	Agua y Sedimentos	D-95	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)			(3)	X
14	Corrosión al cobre	D-130	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)			(4)	(4)
15	Herrumbre	D-665	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)			(5)	(5)
16	Contenido de cenizas	D-482							X	X		
17	Rigidez dieléctrica	D-1816			X			X				X
18	Contenido de azufre	D-1266									(6)	
19	Contenido de cloro	D-808									(6)	

20	Contenido de metales											
	Espectrofotometría de emisión atómica											
	Calcio									X		
	Bario									X		
	Magnesio									X		
	Hierro		X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Cromo									X		
	Aluminio									X		
	Estaño									X		
	Cobre		(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	X	X	X	(7)	X
	Plata									(8)		
	Plomo									X		
	Vanadio									X		
	Sodio									X		
	Níquel									X		
	Boro									X		

Tabla # 8 Pruebas de laboratorio al aceite usado de acuerdo con el tipo de mecanismo.

FUENTE: Normas ASTM.

Notas:

(1) Opcional. Se hace para corroborar los resultados de otros análisis de laboratorio.

(2) Para temperaturas de operación por encima de los 80°C.

(3) Si el contenido de agua ocasional ó permanentemente es alto ($\geq 0,50$ vol.).

(4) Se analiza cuando el contenido de agua en el aceite es alto ($\geq 0,5$ vol.) y hay presencia de bronce, babbitt ó cobre (metales blandos) en el mecanismo lubricado.

(5) Se analiza cuando el contenido de agua es alto ($\geq 0,5\%$ vol.) y hay presencia de materiales ferrosos en el mecanismo lubricado. Siempre que se analiza (3), se debe analizar (4) ó (5).

(6) Si el aceite es del tipo Extrema Presión.

(7) Si hay cobre, bronce ó babbitt en el mecanismo lubricado.

(8) Si los cojinetes de apoyo del cigüeñal del MCI son de plata.

(9) Se le hace solamente al aceite nuevo.

(10) Se hace cuando persista la formación de grandes cantidades de espuma ó de burbujas de gran tamaño.

En la tabla # 9 se especifican los valores máximos y mínimos permisibles para las diferentes pruebas de laboratorio efectuadas bajo las normas ASTM.

No	Propiedad Físico-química	Método ASTM	Resultado del análisis	Valor máximo mínimo permisible	Causa posible del estado del aceite	Observaciones
01	Gravedad Específica gr/ cm ³	D-287	Alta		– Oxidado. – Contaminación con otro aceite de mayor viscosidad.	No es un parámetro fundamental para definir si un aceite está en buen estado ó no, pero sirve para comprobar otras características como la viscosidad, el contenido de insolubles en Pentano y el Número de Neutralización ó TAN.
			Baja		– Diluido. – Contaminado con agua.	
02	Viscosidad cSt/40° ó 100°C SSU/100° ó 210°F	D-88 D-45	Alta	– 5% en aceites para turbinas de vapor, gas e hidráulicas. – 10% en aceites para sistemas hidráulicos y circulatorios. – 25% en aceites para reductores, compresores de aire, refrigeración y gases. – 25% en aceites para transferencia de calor. – 40% en aceites automotores.	– Contaminado con partículas sólidas. – Contaminado con otros aceites de mayor viscosidad.	Es uno de los parámetros más importantes para determinar el estado del aceite
			Igual		– Aceite en buen estado. – Oxidado ó diluido en la misma proporción.	
			Baja	15% de disminución.	– Diluido con gasolina ó con ACPM. – Contaminado con otro aceite de menor viscosidad.	
03	Índice de Viscosidad Adimensional	D-567	Alto		– Oxidación.	En aceites para transmisiones automáticas tipo ATF, es importante analizar esta propiedad porque permite evaluar la estabilidad de los aditivos mejoradores de IV.
			Bajo		– Contaminación con otro aceite con un IV menor. – Dilución por combustible. – Aditivos de IV cizallados.	
04	Punto de Inflamación °C (°F).	D-92	Alto		– Contaminado con otro aceite de un PI mayor.	Esta prueba es importante efectuársela a aceites industriales que trabajan en compresores

			Bajo	– 180°C mínimo en sistemas de transferencia de calor y en aceites para motores a gasolina y diesel. – 150°C en los demás tipos de aceite.	– Dilución por combustible. – Contaminado con un gas como el H ₂ S, propano, isobutano.	centrífugos que compriman gases ricos en H ₂ S, propano e isobutano.
05	Residuos de Carbón Conradson % peso.	D-189 D-524	Alto	– Hasta 0,1% por peso en los aceites para cilindros de compresores. – Para otros tipos de aceite hasta 0,5% por peso.		Para altas temperaturas se debe evitar el uso de aceites derivados del petróleo con altos contenidos de Carbón Conradson.

06	NN ó TAN mgrKOH/gr.ac.usado.	D-664 D-974	Alto	- Incremento de 0,3 en aceites para reductores de velocidad sin aditivos de EP. - Incremento de 0,7 en aceites para reductores de velocidad con aditivos de EP. - Incremento de 0,3 en aceites para turbinas de vapor, gas e hidráulicas, compresores y transformadores. - Incremento de 0,5 en sistemas hidráulicos.	- Oxidado.	Es uno de los parámetros más importantes porque indica el grado de oxidación del aceite usado. Sin embargo, no es definitivo en el cambio del aceite porque pueden haber ácidos presentes no corrosivos ó gases corrosivos diluidos en el aceite que aún no atacan las superficies metálicas de los mecanismos lubricados.
07	TBN mgrKOH/gr.ac. usado.	D-664 D-2896	Bajo	- La mitad del valor original en aceites para motores Diesel con ACPM con más de 0,5% por peso de azufre. - Por el método ASTM D-664 hasta 1,0 en aceites para motores a gasolina y por el ASTM D-2896 hasta 2,0.	Disminución de la reserva alcalina del aceite automotor.	Es importante para evaluar la capacidad detergente-dispersante de los aceites automotores.
08	Insolubles en Pentano. % peso	D-893	Alto	- Hasta 0,005% en aceites para turbinas de vapor e hidráulicas. - 0,004% en turbinas a gas. - 0,5% en reductores de velocidad. - 0,1% en compresores de aire y refrigeración. - 1% en aceites para transferencia de calor. - 1,5% en aceites para motores a gasolina y Diesel. - 0,5% en motores a gas.	- Productos resultantes de la degradación del aceite. - Metales procedentes del desgaste y de los aditivos de tipo metálico. - Carbón formado por una combustión incompleta.	
09	Productos de oxidación ó resinas % peso.			- 0,7 % en aceites para motores de gasolina. - 1,0% en aceites para motores Diesel.	Carbón formado por una combustión incompleta.	
10	Tensión interfacial Dinas x cm.	D-971	Baja	- 18 minutos para aceites de turbinas de vapor. - 20 minutos para aceites dieléctricos.	- Contaminación con agua. - Oxidación del aceite.	Permite saber hasta qué punto se puede centrifugar el aceite para retirarle el agua.
11	Factor de potencia Hz / °C.	D-924	Alta	0,3% máximo para aceites de transformadores.		
12	Dilución combustible, % volumen	D-322	Alto	- 2% en aceites para motores a gasolina. - 5% en aceites para motores Diesel.	- Marcha en vacío a baja temperatura. - Anillos y / o cilindros desgastados. - Mala carburación o filtro de aire sucio. - Ventilación deficiente del cárter.	Permite analizar problemas de desgaste en los anillos y camisas del motor. La presencia de combustible en el aceite corrobora la disminución de la viscosidad y del punto de inflamación del aceite.

13	Demulsibilidad Emulsión / tiempo	D-1401	Alta	Se considera que el aceite tiene buena demulsibilidad si se separa totalmente del agua en un minuto. El resultado se expresa como (40-40-0)1'; ó sea 40 cc de aceite, 40 cc de agua y 0 cc de emulsión. En turbinas industriales son permisibles hasta 3 cc ó ml de emulsión en 1 hora. En aceites automotores no se evalúa esta característica.	Contaminación con excesiva cantidad de agua.	Permite verificar el contenido de aditivos anti-emulsionantes que aún le quedan al aceite usado.
14	Estabilidad a la espuma ml ó cc / min	D-892	Alta	- 25% máximo de volumen en aceites para turbinas industriales. - Para otros tipos de equipos rotativos, incluyendo aceites de tipo automotriz, el fabricante lo especifica.	- Bajo nivel de aceite. - Entrada de aire en la succión de la bomba. - Contaminación del aceite con agua.	En aceites de circulación es importante que tengan baja tendencia a la formación de espuma.
15	Agua y sedimentos % volumen	D-95 D-96	Alto	- 0,2% para cualquier tipo de aceite. - 0,005% para los aceites dieléctricos. - 0,0073% para los aceites de refrigeración.	- Condensación de agua. - Sellos ó retenedores en mal estado. - Falta el tubo de ventilación en el carter.	Se debe drenar periódicamente el agua del cárter ó cambiar los retenedores del equipo rotativo que se encuentren en mal estado.
16	Corrosión al cobre adimensional	D-130	Alto	Hasta 3a en mecanismos donde hay cobre ó bronce (metales blancos).	- Oxidación del aceite. - Contaminación con agua. - Contaminación con gases como el H₂S.	Cuando el aceite se ha contaminado con H ₂ S, muestra un elevado valor de corrosión, pero se puede restituir a su valor original con sistemas de recuperación por vacío (diálisis).
17	Herrumbre Adimensional	D-665	Pasa No pasa		Hierro en presencia de aceite contaminado con agua.	Esta prueba es importante hacérsela a los aceites contaminados con agua que lubrican mecanismos de acero.
18	Contenido de ceniza % peso	D-482 D-874		0,1%	En un aceite usado se puede incrementar por partículas metálicas provenientes del desgaste ó por contaminantes del medio ambiente.	
19	Punto de anilina °C (F)	D-611				Permite determinar la composición de la base lubricante: parafínica, nafténica ó aromática.
20	Estabilidad a oxidación Hr / NN	D-943		Por debajo de 1000 horas para un NN de 2,0.	- Inestabilidad de la base lubricante. - Bajo contenido de aditivos anti-oxidantes.	
21	Rigidez dieléctrica KV	D-877 D-1816	Baja	24 KV mínimo en aceites para transformadores y para compresores de refrigeración.	Contaminación con agua.	Cuando llegue a 18 KV, se puede reacondicionar por termovació el aceite ó se debe analizar la posibilidad de cambiarlo de acuerdo con el valor del TAN.

Tabla # 9 Valores máximos y mínimos.

FUENTE: Normativa ASTM.

Notas:

- (1) El contenido de calcio en los aceites para turbinas de vapor y a gas es de 20 ppm máximo; para los de motores de combustión interna unígrados de 20 ppm y para los multígrados de 60 ppm.
- (2) El % de inhibidor de oxidación con respecto al aceite nuevo en los aceites para turbinas de vapor, gas, sistemas hidráulicos y circulatorios debe ser del 50%.
- (3) El % de aditivos anti-desgaste y/o EP con respecto al aceite nuevo en los aceites para reductores de velocidad debe ser como mínimo del 50%.
- (4) Caterpillar recomienda que por el método ASTM D-2896, el aceite para motores Diesel se debe cambiar cuando el TBN sea igual a 10 veces el % por peso de azufre en el combustible.

CONCLUSIONES.

De las pruebas más importantes, además de la viscosidad y del TAN (Número Acido Total), que se le deben efectuar al aceite usado es el contenido de humedad. El agua tiene un efecto devastador sobre el aceite y las piezas lubricadas porque da lugar a oxidación y corrosión respectivamente. En los aceites con aditivos antidesgaste a base de Ditisfosfato de Zinc (ZDDP) reacciona con ellos y da lugar a la formación de ácido sulfúrico eliminando la película límite.

CAPITULO 2

DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICADO A ERCO

2.1 ANTECEDENTES.

La Compañía Ecuatoriana del Caucho “ERCO” fue fundada en el año de 1955 en la ciudad de Cuenca, en el transcurso de siete años se logró perfeccionar todos los equipos, maquinaria y procesos productivos para que en el año de 1962 se consiga el objetivo de vulcanizar y entregar al mercado, las primeras llantas aprobadas para rodar por los caminos de la ciudad y del resto del país. Desde ese tiempo a la actualidad, ERCO se ha ido consolidando en el mercado ecuatoriano, como una empresa muy importante para el desarrollo del país.

2.2 UBICACIÓN.

Se encuentra ubicada en el sector industrial más representativo de Cuenca en la Av. Panamericana Norte Km. 2.8, en la actualidad forma parte del grupo de Continental que tiene su patente en Alemania, al integrar el grupo de Continental las exigencias de calidad productiva así como también la eficiencia de su maquinaria, se han visto afectadas, debido a los mayores requerimientos de las normas internacionales de calidad y competitividad, las mismas que permanecen renovándose continuamente.

2.3 SITUACION ACTUAL DE ERCO.

A partir de la década de los 70 ERCO ingresa a formar parte de las empresas internacionales abaladas con la normativa ISO (*International Standard Association*), ésta certificación incluye la mejora de los procesos productivos y por ende la creación de proyectos de mantenimiento técnicamente estructurados. Las primeras acciones que se tomaron para la formación del departamento de mantenimiento, fue la implementación del mantenimiento correctivo, que a inicios de la empresa ya existía, pero desempeñaba sus funciones de manera muy esporádica y empírica.

Se crea el departamento de mantenimiento correctivo realizando un levantamiento general de toda la maquinaria y equipos existentes, que para ese entonces debido a la capacidad física constructiva de la empresa, no se requería más que de un solo grupo para toda la empresa.

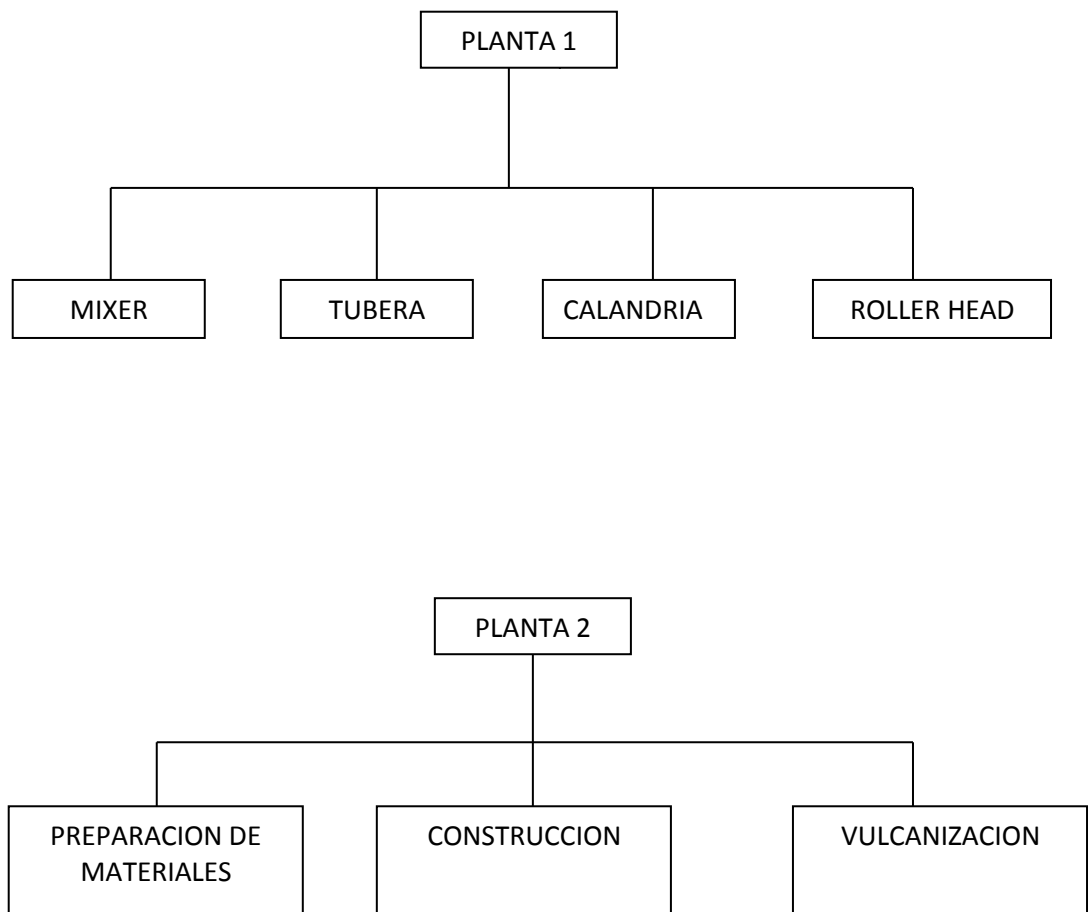
En la década de los 90 con el crecimiento acelerado de la maquinaria y el aumento de producción de llantas, los estándares internacionales exigen que se reevalúe las condiciones de certificación, debido a la capacidad productiva que presenta ERCO pues de ser una

mediana empresa pasa a convertirse en una empresa grande. De este modo la planta general de producción se divide en dos naves industriales con sus propias identidades y necesidades.

Las dos naves (grupos de producción) existentes también se les conoce con el nombre de “sección” y se dividen en:

- **PLANTA 1**
- **PLANTA 2**

Cada una de éstas se encuentra subdistribuida la siguiente forma:



Esquema # 1. Distribución de secciones en ERCO.

FUENTE: Los Autores.

2.3.1 PROCESOS PRODUCTIVOS.

2.3.1.1 PLANTA 1.

- **“MIXER” O MEZCLADOR.**

Es la encargada de iniciar el proceso de producción, tiene una gran cantidad de equipos y máquinas muy importantes.

La primera etapa se le conoce como “Mixer” o *mezclador*, recibe la materia prima Fig. #20 (negro de humo, goma, aceite, caucho natural y sintético además de otros tipos de compuestos), la carga que se prepara no siempre es la misma pues existen por ejemplo los tres tipos principales de compuestos para la elaboración del rodamiento de la llanta, el material calandrado que da la forma al neumático y el B460 para el breker de acero que es el refuerzo de la llanta radial. Una vez determinado el tipo de compuesto a elaborar, ingresan todos los elementos hacia la cámara de mezclado, la cuál posee en su interior dos masas en forma de tornillos, el movimiento de los tornillos es realizado por un sistema moto-reductor que se le conoce con el nombre de “convertidor” de 2000Hp de potencia con alimentación de corriente alterna y su velocidad varía dependiendo de la estado en el que encuentra la mezcla, tardando este proceso un tiempo aproximado de 60 minutos.



Figura # 20. Elementos que ingresan a convertidor.

FUENTE: Los autores.

Una vez concluido el proceso de mezclado del compuesto la carga es trasladada mediante un ducto y con el impulso de un pistón neumático hacia la zona de “homogenización”. En esta área el compuesto, atraviesa por dos masas o cilindros metálicos de 20 pulgadas, hasta conseguir que la mezcla se torne homogénea, este proceso dura aproximadamente de 30 a 45 minutos. Las masas metálicas obtienen su movimiento, a través de un reductor de velocidad que se encuentra unido mecánicamente a un motor de corriente alterna que se le conoce con el nombre de “Droop mill” de 250 Hp de potencia. Luego de ser homogeneizado el compuesto es trasladado por una banda transportadora hacia la zona que se le conoce con el nombre de “Sheter mill”, aquí, se realiza el proceso final del compuesto como es el laminado (*la mezcla elaborada pasa a formar láminas de aproximadamente 800x9x1500 mm de ancho, espesor y longitud respectivamente*), nuevamente mediante la compresión de la carga entre las masas metálicas de 15 pulgadas cada una, desplazadas por un sistema moto-reductor de corriente continua con una potencia de 172 Kw.



Figura # 21. Proceso de laminado del caucho.

FUENTE: Los autores.

Una vez concluido el proceso de laminado como se observa en la figura # 21 el caucho alcanza temperaturas de 80 grados centígrados e incluso superiores, por tal efecto el siguiente paso es

el enfriamiento. Se traslada la lámina de caucho por una banda de lona, hacia la “tina de lechada”, aquí mediante las propiedades químicas de los elementos que forman la lechada conjuntamente con el agua, producen el enfriamiento; además de atravesar completamente la lechada el caucho es trasladado hacia el “rack de enfriamiento” que lo conforman 16 rodillos de 3 pulgadas colocados simétricamente entre dos cadenas, desplazadas por un pistón neumático, en las paredes del rack de enfriamiento como veremos en la figura # 22 se encuentran localizados 11 ventiladores para el secado de la lámina de caucho. Luego de concluido el enfriamiento, el caucho laminado presenta una temperatura de 28 grados centígrados aproximadamente, y es conducido a través de bandas de lona hacia un sistema mecánico de depósito conocido con el nombre de “wig-wag”, éste es el último paso para colocar el caucho laminado en las plataformas metálicas, este mecanismo es desplazado con pistones neumáticos para la acumulación simétrica de la lámina de caucho en las plataformas, para luego ser transportadas hacia el lugar de almacenaje, pues el caucho necesita de 5 a 8 horas de reposo dependiendo del compuesto para ser entregado y expuesto a un nuevo proceso.

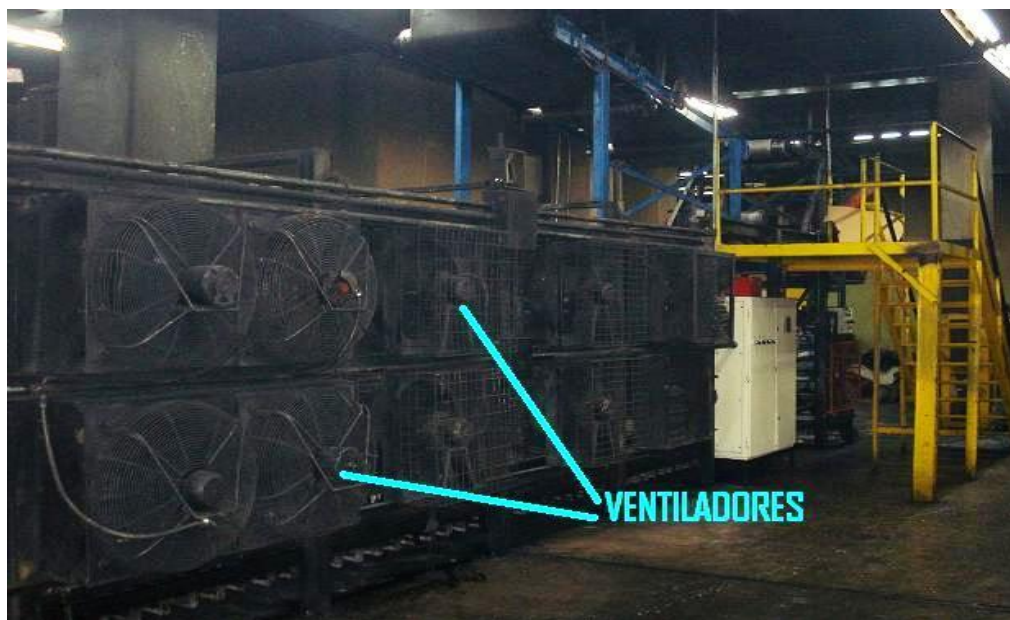


Fig. # 22 Rack de enfriamiento.

FUENTE: Los autores.



Fig. # 23 Sitio de almacenaje.

FUENTE: Los autores.

- **TUBERA.**

Es el área donde se elabora el rodamiento de la llanta, de igual forma que el mezclador se producen diferentes tipos de rodamientos, siendo el más importante el rodamiento usado para la construcción de la llanta de camión, debido a las propiedades físicas que debe soportar en el desarrollo de su trabajo.

El caucho laminado es trasladado desde el sitio de almacenaje hacia el área de alimentación de la máquina conocida con el nombre de “*molino quebrantador*”, consta de un sistema moto-reductor de 300Hp de potencia con 1180 revoluciones por minuto(rpm), dos masas o cilindros metálicos de 84 pulgadas de diámetro. Su función como su nombre lo indica es quebrantar al caucho para lograr una masa blanda y maleable. Este proceso dura aproximadamente 30 minutos, luego la masa de caucho es desplazada por una banda transportadora hacia el “*molino homogenizador*” tiene las mismas propiedades físicas del molino quebrantador, sistema moto-reductor de 500 Hp de potencia a 1188 rpm de velocidad, dos cilindros mecánicos de 84 pulgadas, el material alimentado es compactado para lograr que a través de las masas su constitución física sea mucho más maleable para continuar con el siguiente proceso.

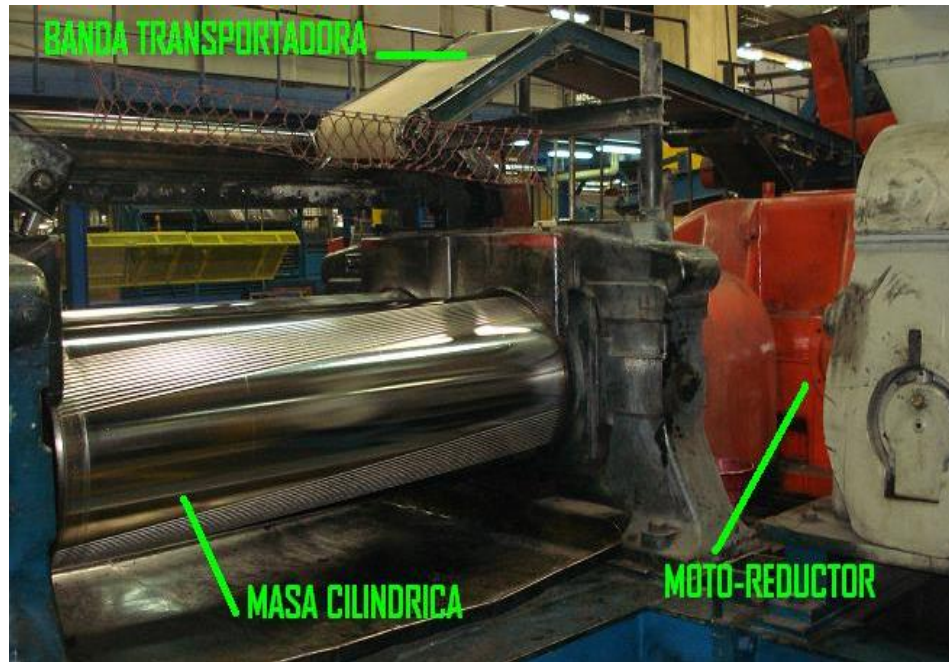


Fig. # 24 Molino quebrantador.

FUENTE: Los autores.

Luego de pasar por el proceso de quebrantado y homogenizado, la masa de caucho es conducida mediante una banda transportadora a la máquina que tiene el nombre de *extrusora*, aquí se realiza la extrusión del caucho a través de un tornillo llamado “*sin fin*”. La extrusora tiene 10 pulgadas de diámetro y consta de cuatro partes: La tolva que es el recubrimiento de la máquina, el tornillo es el encargado de extruir y conducir al caucho, la camisa es una cámara sellada que trabaja conjuntamente con el tornillo, y finalmente la cabeza de la extruidora es muy importante porque aquí se obtiene la forma del rodamiento que es el resultado final de ésta máquina.

El material procesado en la extruidora está expuesto a varios esfuerzos mecánicos como el quebrantado y compactado, a más de esto, se le agregan las propiedades de temperatura, a las que se encuentran afectadas las diferentes zonas de la misma. Para modificar la temperatura existen unidades de calentamiento de agua conocidas como UTC's (por United Temperature Control), éstas UTC's están conectadas en cada zona de la extruidora. Con la finalidad de procesar el caucho y lograr la mejor conformación del rodamiento, los técnicos de departamento de calidad de ERCO utilizan estándares de temperatura en cada una de las

cuatro zonas de la extruidora, teniendo como resultado final temperaturas que varían desde 150 a 250 grados fahrenheit según el tipo de producto que se está elaborando.

El tornillo conocido como sin fin tiene un diámetro de 10 pulgadas su movimiento es transmitido por un reductor de velocidad acoplado mecánicamente a un motor de corriente alterna de 450 Hp de potencia que gira a una velocidad de 1165 rpm; el proceso de extrusión dura aproximadamente 60 minutos. Una vez obtenido el rodamiento en la cabeza de la extruidora se lo debe enfriar ya que alcanza temperaturas superiores a los 250 grados Fahrenheit, nuevamente el rodamiento es colocado en bandas transportadoras y conducido hacia la zona de enfriamiento que la conforman cuatro grupos de bandas, dos inclinadas y dos horizontales, la principal característica de las dos bandas horizontales, es su material ya que están echas de acero inoxidable, esto debido a que todo el tiempo están en contacto con el agua por los aspersores que van colocados a lo largo de las dos bandas que tienen una longitud de 50 metros. El paso final por el que tiene que atravesar el rodamiento es la zona de secado y la de corte, el rodamiento es colocado sobre una mesa de rodillos de 3 pulgadas en la cuál se le aplica aire con una bomba de soplado generado por un motor trifásico de 5 Hp de potencia, a continuación el rodamiento atraviesa la zona de corte que consta de una banda de fibra cuyo desplazamiento se produce a través de un servomotor para controlar con mayor exactitud el avance de la misma ya que ésta determina el tamaño y la precisión que debe tener la medida del rodamiento para cada tipo de llanta, el corte se realiza mediante una cuchilla giratoria (Fig. # 25) tipo cizalla que gira a una velocidad de 1750 rpm generada por un motor trifásico de 5 Hp de potencia, el proceso de corte es automático accionando el desplazamiento de la cuchilla con un pistón neumático.

Al finalizar el corte se almacena en carros de bandejas identificando y agrupando el tipo de rodamiento que se obtuvo.

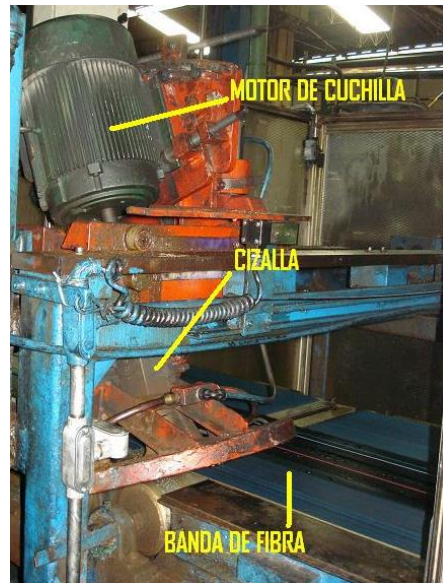


Fig. # 25 Zona de corte de Tubera.

- **CALANDRIA.**

Esta área es la que se encarga de producir el material calandrado, es un tejido de nylon recubierto con caucho el mismo que cortado y aplicado a las medidas correspondientes para cada tipo, llega a constituir el cuerpo de la llanta.

El proceso inicia con la carga de un rollo de nylon tejido el cuál se obtiene mediante importación, luego pasa el nylon a la zona denominada de pretensión es la que se encarga de desplazar el nylon (Fig. # 26) hacia la primera calandria como se le conoce al área donde se produce el primer aplique de caucho, para poder realizar este paso es necesario tener alimentación externa de caucho. Esto se logra a través de tres molinos alimentadores de 60 pulgadas dos con una potencia de 84 Hp cada uno y el otro de 60 Hp, éstos molinos realizan el mismo proceso con el caucho descrito en el área de tubera.

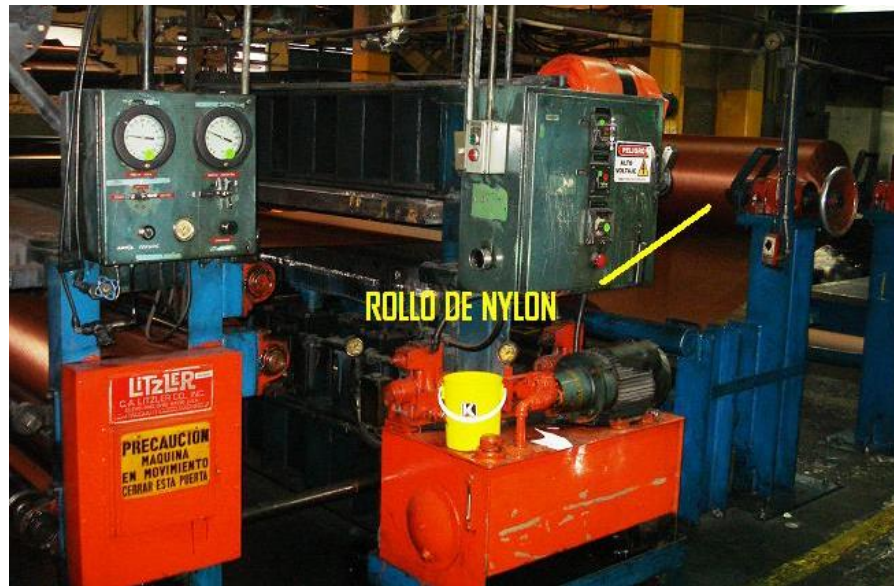


Fig. # 26 Inicio de proceso con carga de rollo de nylon.

FUENTE: Los autores.

Una vez homogenizado el caucho ingresa a los rodillos de calandria en donde nuevamente es comprimido entre las tres masas metálicas que lo conforman logrando de esta manera cubrir el nylon completamente en un extremo y controlar su espesor lo cual es muy importante, luego pasa a un sistema acumulador de nylon que funciona con una motobomba hidráulica accionada con aceite, el acumulador sirve para evitar que por cualquier tipo de falla la línea de producción tenga que detenerse y se interrumpa el proceso. A continuación el siguiente paso por el que atraviesa el nylon es idéntico al de la primera calandria, recibe alimentación de tres molinos de 60 pulgadas movidos todos por un solo motor de 369 Hp de potencia, las tres masas de rodillos se encargan de procesar el caucho y aplicarlo en el otro extremo del nylon, de esta manera tenemos la formación del material calandrado. Durante estos procesos la temperatura se eleva considerablemente obteniendo como resultado final de los mismos, temperaturas de 200 grados Fahrenheit para contrarrestar este efecto y reducir la temperatura el material calandrado pasa a un sistema conocido como tambores de enfriamiento, son 5 cilindros de 40 pulgadas en los cuales internamente circula agua fría, obteniendo una disminución de la temperatura para poder realizar el proceso final que es el enrollado y la puesta en reposo en sus respectivos racks de almacenamiento puesto que de la misma forma del caucho este material necesita un proceso de reposo para ser entregado a la siguiente etapa. En la figura # 27 podemos observar las tres masas de la calandria # 1 durante la etapa de aplicación de caucho.



Fig. # 27 Proceso de aplicación de caucho en calandria.

FUENTE: Los autores.

- **ROLLER HEAD.**

El resultado final obtenido en esta máquina tiene el nombre de lateral, así también se produce el caucho denominado L12 los dos tipos de materiales son utilizados en la construcción de la llanta de automóvil o radial, forman la superficie lateral de la llanta por tal razón es otro proceso muy importante y lo describiremos brevemente.

Tiene un inicio de proceso similar al de tubera pues consta de una extruidora principal de 10 pulgadas de diámetro con una potencia variable de 10 a 200 Kw y una velocidad de 75 a 1500 rpm funciona con corriente continua, posee cuatro UTC's para cada zona de la extruidora. Ingresa el caucho laminado a la tolva de la extruidora, el tornillo se encarga de quebrantar y homogenizar con ayuda de la temperatura, en la cabeza de la extruidora se coloca una pieza precalentada que se le llama dado formador, con este dado se obtiene la dimensión y la forma específica del lateral. De la misma manera que en la tubera el lateral o el L12 pasan mediante

bandas transportadoras al sistema de enfriamiento que consta de cinco bandas a las que se les aplica aire mediante ductos accionado por un motor soplador de 18 Kw de potencia a 1400 rpm de corriente continua. Para finalizar el este proceso se coloca el material en carros transportadores que se les conoce con el nombre de carros tipo casete o también se los enrolla en tacos cilíndricos de madera o metálicos, para su uso posterior en otras máquinas.

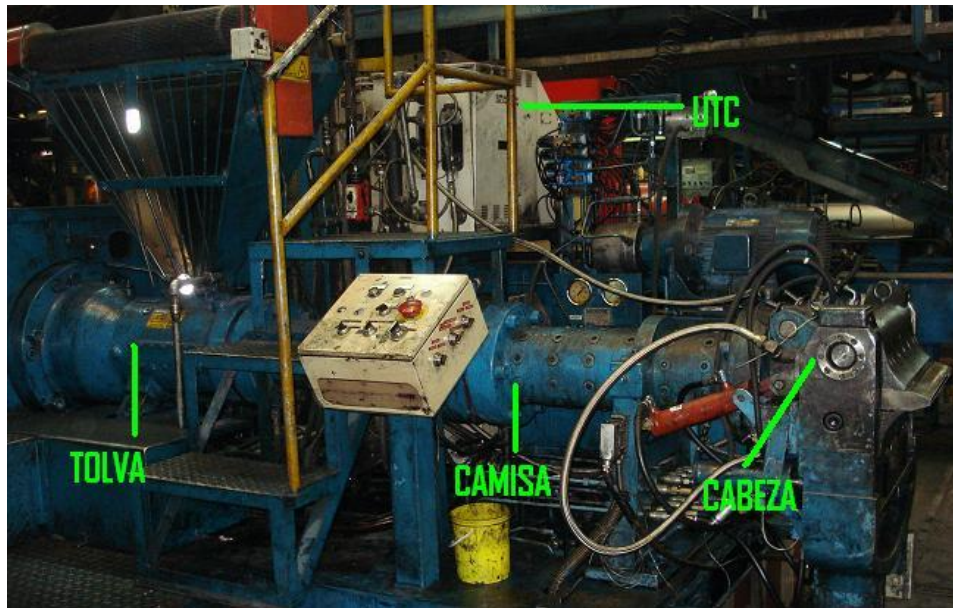


Fig. # 28 Extruidora de roller head.

FUENTE: Los autores.

2.3.1.2 PLANTA 2.

2.3.1.2.1 PREPARACION DE MATERIALES.

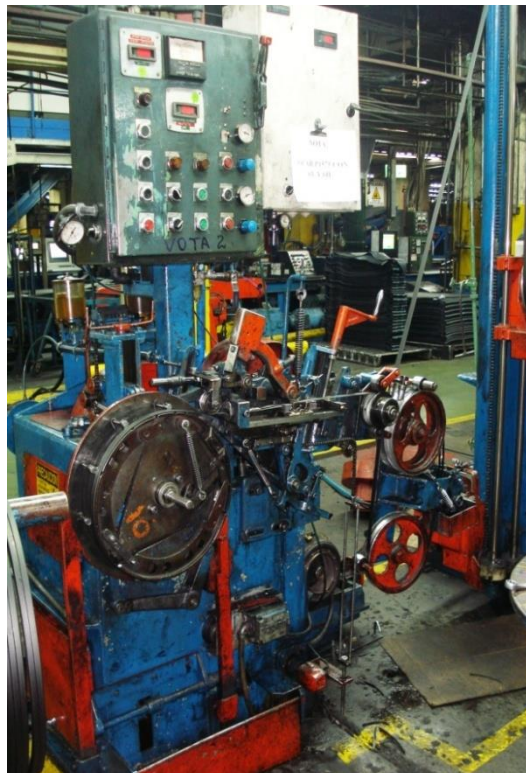
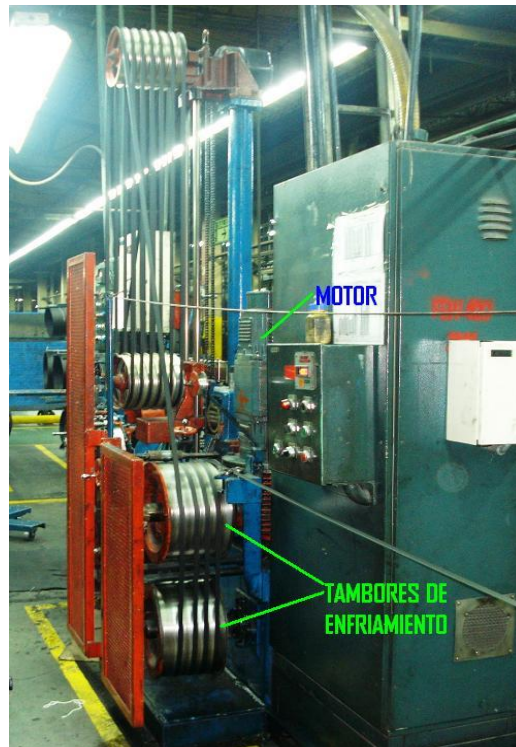
Esta sección de la planta se le conocía con el nombre de área de cortadoras, debido a que este grupo de máquinas realizaba únicamente el corte de los materiales que se obtenían de Planta 1. Pero con el crecimiento de la empresa y por ende de la maquinaria se le ha asignado otro tipo de funciones, como por ejemplo, en esta área se construyen los núcleos de alambre para reforzar la llanta, el breker de acero que constituye el cuerpo de la llanta, además se aplica el relleno y la bandera para formar las pestañas que terminan dando la forma radial al

neumático. A continuación describiremos brevemente las máquinas más importantes en donde se producen las mayores paradas productivas en esta área.

- **CONSTRUCTORA DE NUCLEOS “FSW 400”.**

Existe en toda la empresa una sola máquina para la construcción de los núcleos conformados, es la razón principal de la importancia de ésta, pues una parada significativa repercute en una parada de producción larga y a la vez muy costosa para la empresa.

Está constituida por una estación de carga de alambres, una extruidora, sistema de enfriamiento y arrastre y finalmente de la zona de conformación del núcleo. En la zona de carga se encuentran catorce (14) rollos de alambre, los cuales mediante un rodillo guía llamado peine se conducen hacia la cabeza de la extruidora cuyo principio de funcionamiento es idéntico a las extruidoras descritas con anterioridad en tubera y en roller head, se alimenta a la extruidora caucho precortado ya que se necesitan dimensiones menores del mismo al ser esta extruidora de 31/2 pulgadas de diámetro es alimentada con una tira de caucho de 5 pulgadas de ancho, dentro de la extruidora se produce el efecto de quebrantado y homegenizado, en la cabeza de la misma se coloca un dado formador por el que pasan los alambres (*el número de alambres depende del tipo de núcleo que se esté construyendo*), se obtiene como resultado una tira de alambre recubierta con caucho, a continuación este material es arrastrado por un motor llamado rodillo tractor que lo forman dos cilindros metálicos de 20 pulgadas por los cuales internamente circula agua para el sistema de enfriamiento como podemos ver en la figura # 29, la tira de alambre se enrolla varias veces en los cilindros para lograr disminuir su temperatura, luego pasa hacia el conformador que es un sistema mecánico de levas y engranajes bastante complicado teniendo únicamente un motor trifásico de 5 Hp de potencia para transmitir el movimiento. Aquí se colocan los aros de conformación dependiendo de la medida del neumático que se requiera, además mediante especificaciones del departamento técnico también se determina el número de vueltas que tenga que realizarse para construir el núcleo final.



Arriba Fig. # 29 Sistema de enfriamiento

Abajo Fig. # 30 Conformadora de núcleos.

FUENTE: Los autores.

- **STEELASTIC # 2.**

La importancia de esta máquina se ha incrementado enormemente en los últimos meses del año 2009 esto debido a que ERCO ingresa a formar parte del grupo Continental y empieza a construir las llantas de radial para camiones, de lo que se puede conocer por visitas de los técnicos alemanes en las otras plantas industriales de Continental alrededor del mundo para poder realizar la producción de este tipo de llanta se requiere la implementación de nueva maquinaria como por ejemplo una nueva calandria, una cortadora de pliegos de acero y otras de menor importancia. ERCO es reconocida en este ámbito por el grupo Continental como una empresa de grandes retos y recibe la aprobación luego de una larga etapa de pruebas de material en steelastic.

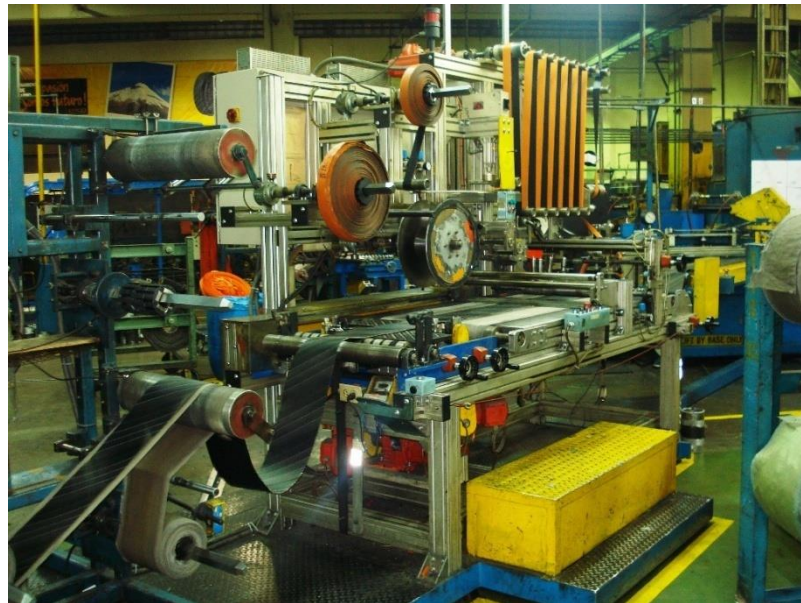


Fig. # 31 Constructora de breker (Steelastic).

FUENTE: Los autores.

Steelastic consta de 5 estaciones de trabajo aunque es considerada pequeña, está formada por la estación de alambre o “*creel room*”, zona de extrusión, sistema de enfriamiento, cortadora y por último la zona de aplicación de goma y enrollado o “*gum edger*”, el motor más grande que posee, es de la extruidora que tiene 75 Hp de potencia y funciona con corriente continua, el resto de motores son pequeños. El proceso inicia con una novedosa estación de carga, se le conoce con el nombre de creel room, es un cuarto cerrado que debe mantener las propiedades

de humedad y de temperatura invariables, pues de lo contrario, los carretes de alambre de acero sufren alteraciones, un solo rack de rollos consta de hasta cien (100) carretes de alambre, por esta razón se necesita un cuarto completamente hermético a una temperatura de 28 grados centígrados y una humedad relativa del 30 UTM. Dependiendo del tipo de material que este programado, se pasan por el peine la cantidad específica de alambres para después colocar éste, en la cabeza de la extruidora, de la misma manera que se alimenta el caucho en la extruidora de la FSW400 se realiza para esta máquina obteniendo como resultado el breker de acero el cuál pasa por una serie de seis cilindros metálicos que constituyen el sistema de enfriamiento, a continuación llega a la zona de corte, en donde a través de servomotores podemos controlar de mejor forma el ancho y largo del breker. Esta zona de corte es la más importante dentro de las funciones de steelastic pues es aquí en donde se realizan el cambio de ángulo del breker y el empalmado del mismo, estas dos etapas son las que determinan el buen estado del breker que se necesita para la construcción de la llanta radial camión. Luego de cortado y empalmado el breker pasa a la zona de aplique de goma, y finalmente es enrollado en cilindros metálicos o en tacos de caucho.

2.3.1.2.2 CONSTRUCCION.

La sección de construcción consta de tres partes fundamentales las cuales son: construcción de llanta radial PLT, construcción de llantas bias que consta de dos grupos de maquinaria para la construcción las cuales son: camioneta bias y camión bias, y por ultimo esta la nueva sección creada en 2008 que es construcción de camión radial.

En esta sección se elabora la fusión de materiales que se han obtenido anteriormente en las etapas ya expuestas. En forma general aquí se realizan las carcasas para unirlos con los rodamientos de la llanta, esto se logra por medio de expansión de las carcasas con presión de aire, y la unión con el rodamiento por adherencia mediante presión ejercida por rodillos denominados Stitches.

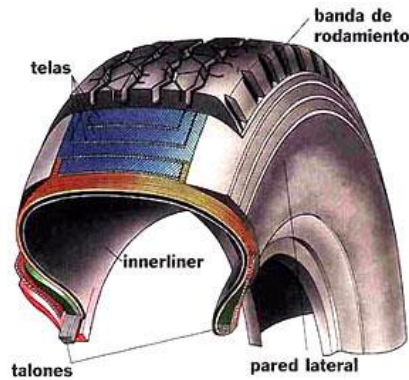


Fig. # 32 Estructura típica de una llanta radial.

FUENTE: Disponible en www.cicloscombinados.com

A continuación describiremos brevemente la máquina más importante en donde se produce la mayor parada productiva en esta área.

- **EXPANDER 9**

En la sección de PLT se encuentra la maquinaria de expansión, que labora continuamente 21 horas diarias durante todo el año, es por tal motivo que se considera de gran importancia en el grupo continental.

La expander consta de tres partes fundamentales: la primera es el “B&T drum” en este segmento de la máquina se aplica los breaker los cuales se colocan; el primero en 0° en el B&T drum el mismo que gira 360°, para luego cortar y pegar las puntas del breaker, a continuación el drum realiza un spot, para ubicarse en la posición de aplique del siguiente breaker que es a 90°, para posteriormente realizar el mismo movimiento de 360° que se realiza en el primer paso, luego de aplicados los breakers se coloca el cap ply que nos sirve para tener una mejor adhesión entre los materiales, como en los pasos anteriores el drum se coloca en posición, ahora en 180° y realiza el procedimiento anterior pero en este caso el material es aplicado 720°, para finalizar este proceso por medio de la bandeja de rodamientos (parte frontal de la máquina), se aplica con una parada de drum de 270° y aplicándolo a 360° para de igual manera al final pegar las puntas y quede formado el paquete breaker. El movimiento del drum es a través de un motor de corriente continua de 5hp en conexión shunt a 200VCC, se ubica en

la parte izquierda del B&T drum y transmite su movimiento por medio de poleas. Vale mencionar que en la parte de la expansora en donde se encuentra ubicado el B&T drum el material llega por medio de los alimentadores, los cuales están colocados en la parte posterior de la máquina, estos materiales llegan a la parte frontal gracias a motores de ½ hp situados en cada bandeja, el material cae para su aplicación de manera automática debido a que el operador de la máquina presiona el pedal de “automático” para el posicionamiento del tambor y simultáneamente se ubican las bandejas correspondientes.



Fig. # 31 Sección de conformación paquete de breaker.

FUENTE: Los autores.

La expansión de la llanta en esta maquinaria continúa cuando al aplastar el pedal “automático” finalizado el primer paso el “Transfer Ring” toma el paquete y lo remueve del B&T drum hasta colocarlo en posición de reposo. Para continuar el proceso se tiene que realizar el tercer paso, a este se lo denomina la sección del “Expander drum” (tambor de expansión), el control de este tambor se lo hace con un motor de 5hp de corriente continua y de igual manera la transmisión de movimiento es por medio de poleas. En el “Expander drum” se coloca la carcasa que viene ya elaborada de otra máquina de la sección, cuando están listos los materiales se da la señal del pedal de automático a la máquina, la misma que realiza el proceso del “Transfer Ring”, llevando el paquete hacia el tambor de expansión, luego mediante presión de aire expande a la carcasa un tiempo determinado, hasta que se forme un solo elemento con el paquete, dos segundos más tarde el transfer abandona el lugar y se ubica en reposo. El mencionado TFR

realiza su movimiento por medio de un motor de 2hp de corriente continua en conexión shunt, conectado a un reductor de velocidad a través de catalinas.

Cuando los materiales están en el lugar requerido se da la señal para que entren a funcionar los "Stitchers", los cuales tienen varias funciones como son: sacar el aire entre el material, pegar a presión el mismo, además dar la forma a la llanta; para completar el proceso se perfora al rodamiento mediante puntas, con el fin de sacar todo el aire que pueda quedar dentro, luego de esto la llanta esta lista para ser vulcanizada. Para el proceso de stitchado se tienen diferentes calibraciones, las primeras son de los tres pistones que tienen los stitcher, a estos se los calibra por tiempos que se dan directamente en pantalla de datos. En la parte inferior de los stitchers se encuentra el motor de rotary de stitchado, a este motor de 2hp de corriente alterna lo controla un drive ubicado en el tablero principal de la máquina.



Fig. # 32 Sección de llanta expandida.

FUENTE: Los autores.

2.3.2.1.3 VULCANIZACION.

Representa la sección final de la planta, no por eso se le resta importancia al contrario es aquí donde se realiza la lubricación de la llanta verde como se le conoce a la llanta obtenida en la sección de construcción. Al lubricar la llanta se le coloca un compuesto que evita la adherencia de la misma en los moldes internos de la prensa. Finalizada la lubricación se traslada la llanta a través de bandas de lona a las diferentes zanjas del área, que dependiendo del tamaño se irán distribuyendo a las distintas prensas para su posterior vulcanizado o cocinado como suele llamárselo comúnmente. Una vez situadas las llantas junto a la prensa, el operador coloca dos llantas dentro de los moldes de las prensas y procede a cerrar las cámaras mediante pistones

neumáticos, para que el proceso se desarrolle con normalidad la temperatura de los moldes tiene que encontrarse en 180 grados centígrados y mantenerse durante todo el proceso, este nivel de temperatura se logra con la alimentación de vapor directamente aplicada mediante tuberías desde el caldero principal de la empresa, convirtiendo al caldero en una máquina de gran importancia para la elaboración final de la llanta. El tiempo de vulcanizado de la misma varía en función al tamaño y al tipo de llanta que se esté produciendo, por ejemplo no es igual vulcanizar una llanta para camión que una llanta para auto tipo radial.

Internamente en la prensa existe un sistema conocido como blader que no es más que un expansor de aire comprimido, éste blader, con el ingreso de aire, presiona a las paredes de la llanta hacia los moldes logrando de esta manera obtener la forma precisa y deseada de la misma. Luego de concluida la vulcanización de la llanta se la coloca en bandas de lona para transporte y enfriamiento todo este proceso es automático debido a la temperatura con la que se sale desde la prensa. En la parte final de revisión de las llantas existen equipos y máquinas que se utilizan para chequear varios parámetros concernientes a control de calidad y especificaciones técnicas; así también los inspectores de las mismas pulen y verifican la existencia de anomalías en las llantas, esto para determinar si es posible repararlas o desecharlas por fallas de elaboración.



Fig. # 35 Proceso de vulcanizado de llantas.

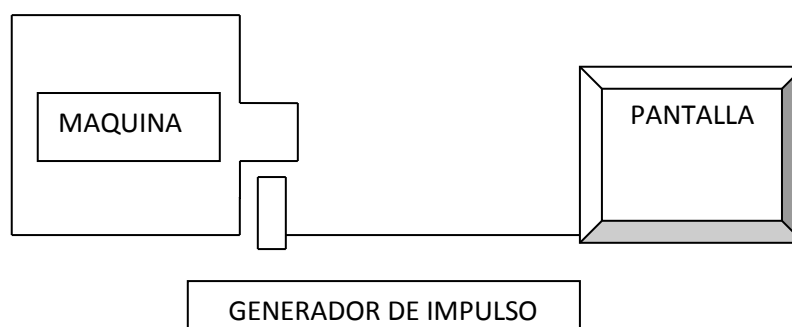
FUENTE: Los autores.

2.4 CLASIFICACION DE LA MAQUINARIA PARA INTERVENCION. Lo expuesto en el inciso anterior en relación a los procesos productivos no es el único factor con el que

podemos contar para determinar la importancia operativa de una o de otra máquina, en base a esto tenemos que realizar una evaluación de las paradas de producción más significativas ocurridas en un período de 365 días, toda esta información la obtenemos de la base de datos de ERCO. Facilita de gran manera la existencia de un programa informático para controlar el tiempo que se mantiene en operación una máquina, conocido como “SIM” (Sistema Informático de Manufactura) éste programa empieza su aplicación a finales del año 2008.

2.4.1 BREVE DESCRIPCION DEL “SIM”.

A partir de los primeros meses del año 2008 empieza en ERCO la implementación de un “Sistema Informático de Manufactura” (SIM), el cuál consta de un software que recibe información periférica de un generador de impulsos. Con una alimentación constante de energía para evitar que cuando se apague la maquinaria (generalmente esto ocurre en el tercer turno de los días domingo porque no existe producción salvo algunas excepciones con sobre tiempo y cuando se interviene la maquinaria por mantenimiento correctivo o preventivo) se desenergize y no exista registro de datos; para generar impulsos de ingreso al software se aprovecha las características giratorias que poseen las máquinas como pueden ser rodillos, engranajes, acoples o cualquier tipo de señal continua que se pueda detectar con un sensor inductivo colocado hipotéticamente en contacto con éstos elementos, el sensor realiza el conteo de las veces que se desplaza la parte giratoria asignada y determina si la máquina se encuentra operativa o detenida, esta información es receptada por el software e interpretada visualmente en una pantalla, que nos especifica el nombre de la máquina, el estado en que se encuentra y el tiempo de duración del estado funcional.



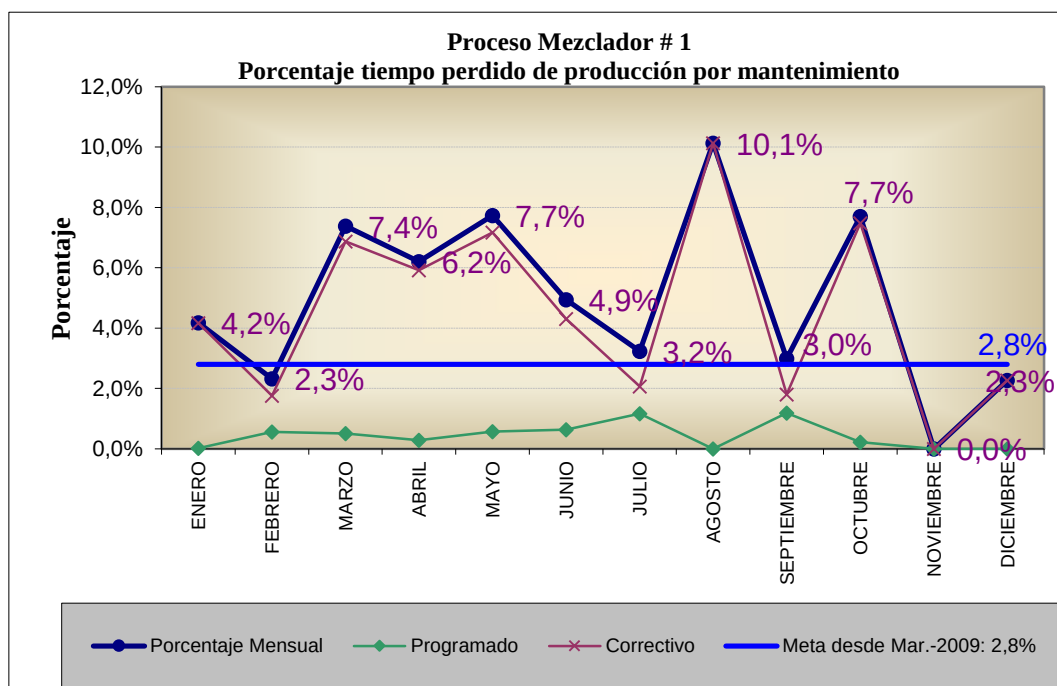
Esquema # 2 Diagrama funcional del SIM.

FUENTE: Los autores.

2.4.2 PARADAS DE PRODUCCION OBTENIDAS DEL SIM.

De la base de datos de ERCO se obtienen las tablas con los valores de tiempo perdido durante el período de un año (datos del SIM 2009). En las gráficas se pueden observar los porcentajes de parada de producción más representativos luego de analizar todos los datos del SIM en las máquinas que en la actualidad se encuentran operativas en la empresa. De este modo se determinan cinco (5) máquinas con mayor cantidad de minutos de parada durante el año 2009, estas máquinas son: mezclador # 1, calandria, steelastic # 2, expander # 9 y FSW 400; estos porcentajes de parada se establecen por una relación directa entre los tiempos totales en minutos de producción y de parada en el período de treinta (30) días. Cabe señalar que dentro de los tiempos de parada se visualizan, los incurridos por mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo pero cada uno por separado; de este modo si tenemos por ejemplo una parada de producción del 10%, quiere decir que dentro de los treinta días de producción existió una intervención que interrumpió la producción de esa máquina durante tres (3) días.

A continuación presentamos las tablas, en donde se puede observar los porcentajes más elevados de paradas durante el año 2009, con la ayuda de esta información se puede evaluar la importancia de las diferentes máquinas en el proceso productivo así como la jerarquización de cada una de las mismas dentro del plan de mantenimiento predictivo tratado en este estudio.



FUENTE: Datos obtenidos del SIM.

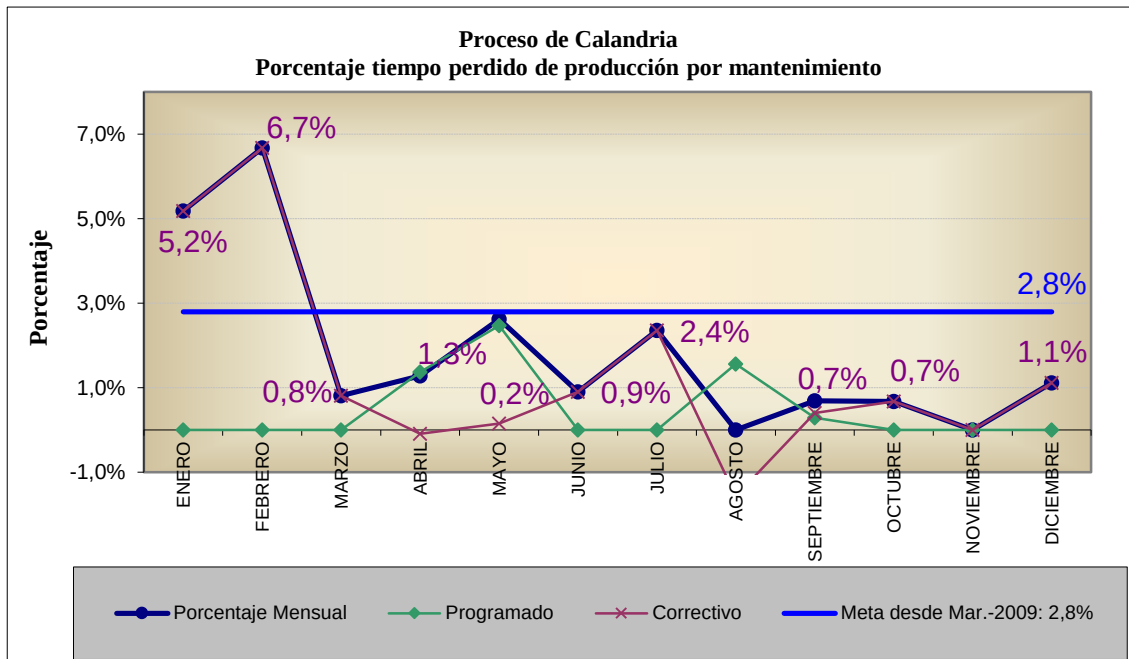


Tabla # 11 Parada productiva de Calandria.

FUENTE: Datos obtenidos del SIM.

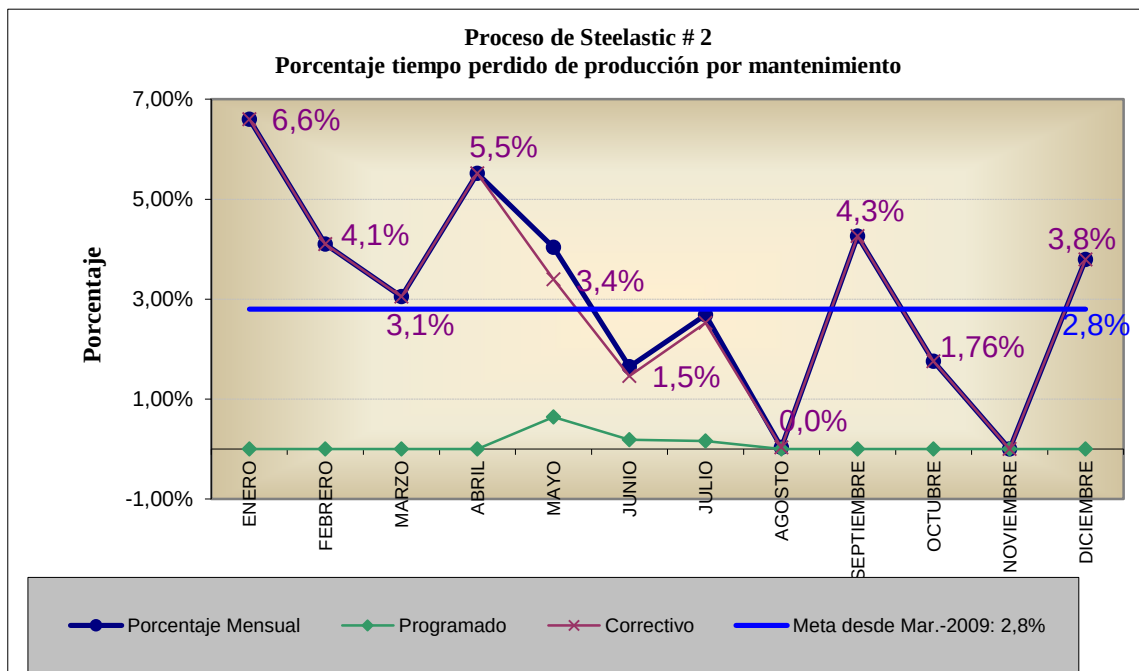
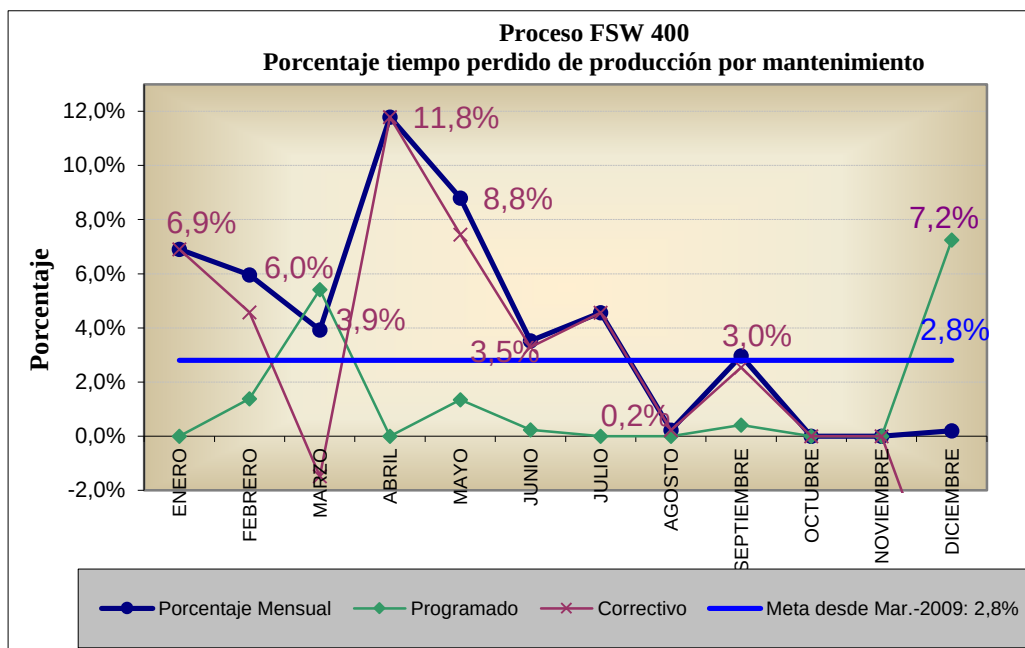


Tabla # 12 Parada productiva de Steelastic # 2.

FUENTE: Datos obtenidos del SIM.



FUENTE: Datos obtenidos del SIM.

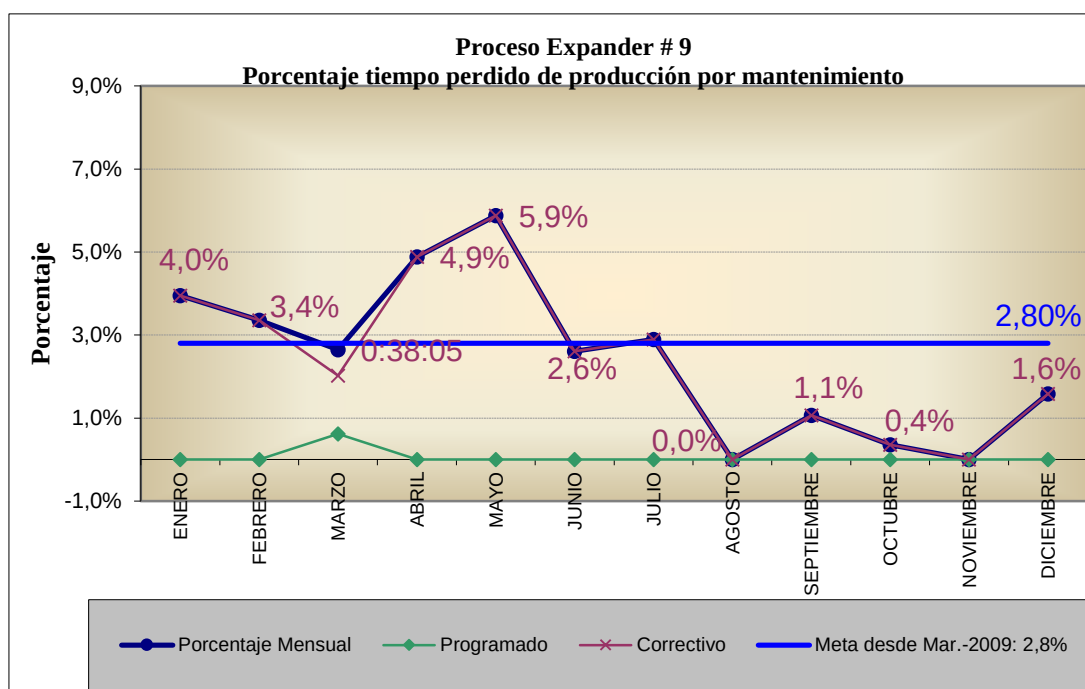


Tabla # 14 Parada productiva de Expander # 9.

FUENTE: Datos obtenidos del SIM.

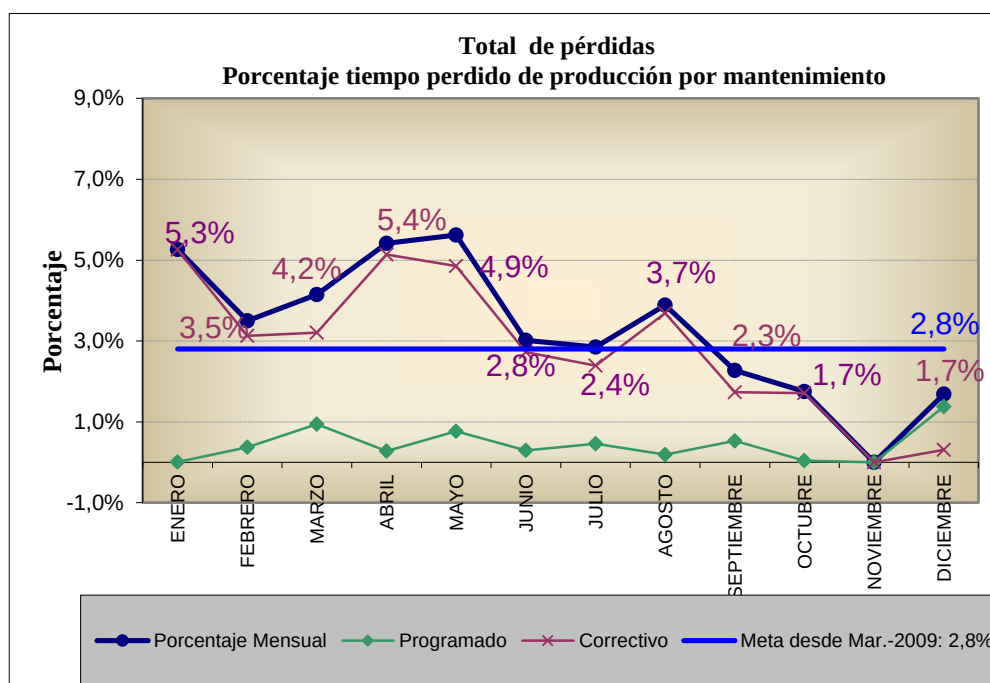


Tabla # 15 Paradas productivas totales.

FUENTE: Datos obtenidos del SIM.

2.5 IMPLEMENTACION DEL NUEVO SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Basados en las estadísticas del apartado anterior en donde se describe las máquinas que han generado la mayor cantidad de paradas de producción, se las puede clasificar y considerar como las máquinas con mayor prioridad para intervención dentro del plan de implementación de mantenimiento predictivo, es así que podemos enumerarlas de la siguiente manera:

- MIXER O MEZCLADOR # 1
- CALANDRIA
- STEELASTIC # 2
- EXPANDER # 9
- FSW 400

Anteriormente se realizaba mantenimiento correctivo en el caso de un fallo eventual y mantenimiento preventivo durante 15 días cuando se le otorgaba al personal de producción sus vacaciones anuales.

2.5.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN ERCO

Este tipo de trabajo se realiza con un cronograma general de la máquina basado en el historial anual de reemplazo de partes y piezas por ejemplo chumaceras, rodamientos, carbones de motores, reemplazo de aceites de reductores etc.; sin contar con un análisis real y específico de paradas de producción y las causas que las producen, como también de la vida útil y el estado en el que se encuentran los diferentes componentes de las máquinas.

Por otro lado el departamento de Ingeniería de Planta que es el encargado del mantenimiento en ERCO, mediante la implementación y la puesta en marcha del actual proyecto de tesis de mantenimiento predictivo intenta reducir las partes y piezas de repuesto que se encuentran en bodega pues esto genera un costo elevado para los rubros de la empresa, existiendo elementos que se encuentran en stock por varios años sin ser utilizados, ya que las partes originales no han sufrido deterioros ni desperfectos; así también existen otros componentes que se les considera obsoletos porque son repuestos de maquinaria que fue reemplazada u otras que en la actualidad ya no se encuentran operativas. Por tales motivos se busca optimizar la cantidad de repuestos existentes en bodega y de igual manera programar a tiempo el pedido o la construcción del elemento que se requiera para un trabajo específico. Existen elementos que son de fabricación local o se los encuentra en almacenes dentro del país, pero también hay repuestos especiales que únicamente se los consigue en el exterior, lugar de procedencia de la máquina; para cada caso en particular se debe realizar un cronograma específico ya sea para su construcción o importación, este cronograma lo deben realizar los técnicos de predictivo conjuntamente con ingeniería de planta para su correcta coordinación y programación de mantenimiento, con el fin de evitar prolongadas paradas de producción por intervención del personal que se encuentra bajo su cargo.

2.5.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Para desarrollar un cronograma de mantenimiento predictivo luego de identificar las máquinas que van a ser intervenidas, tenemos que determinar los puntos de críticos en cada una de ellas,

los cuales serán utilizados para realizar las mediciones o las tomas de datos en los tres campos que esta tesis abarca, que son termografía, análisis de vibraciones y de aceites.

A continuación se detallan las máquinas con los puntos de intervención para mantenimiento predictivo:

MAQUINA	MIXER # 1	CALANDRIA	STEELASTIC # 2	EXPANDER # 9	FSW400
PUNTOS DE MEDICION	MOTOR 2000HP	MOTOR ALIMENTADOR 60HP	MOTOR EXTRUIDOR 75HP	MOTOR 2HP TRANSFER RING	MOTOR EXTRUIDOR 75HP
	TORNILLO DE CAMARA	MOTOR DE MOLINO 500HP	REDUCTOR DE MOTOR	REDUCTOR TRANSFER RING	REDUCTOR DE 75 HP
	MASA 20" GIRATORIA	REDUCTOR DE MOTOR DE 60HP	EJE DE TAMBOR DE 20"	MOTOR 5HP EXPANDER DRUM	MOTOR DE TAMBORES
	REDUCTOR DE MOTOR	REDUCTOR DE MOTOR DE 500HP	TABLERO DE VARIADORDE VELOCIDAD	MOTOR 5HP DE B&T DRUM	REDUCTOR DE 75 HP
	TABLERO PRINCIPAL	MASA DE MOLINO 60"		TABLERO PRINCIPAL	EJE PRINCIPAL DE CONFORMADOR
		TABLERO DE CONTROL			TABLERO PRINCIPAL

Tabla # 16 Puntos de intervención para mantenimiento predictivo.

FUENTE: Los Autores.

Cada uno de estos puntos de medición se los ha seleccionado teniendo como base los datos históricos de paradas productivas, en donde por ejemplo se han registrado:

- Paradas de producción por reemplazo de controladores de velocidad electrónicos de alta potencia debido principalmente a roturas de rodamientos en motores.
- Roturas de masas de extrusión en el sistema de calandrado de material.
- Desgaste de piñones internos de reductores debido a presencia de sustancias extrañas en los lubricantes.
- Mal estado de conexiones eléctricas en tablero de distribución que deterioran la vida útil de drives de control y PLC's.

2.5.2.1 TIEMPOS DE MONITOREO DE MAQUINARIA

La gran cantidad de maquinaria existente en toda la empresa, dificulta en parte la estimación de tiempos de monitoreo haciendo que se tenga como base las horas de trabajo del personal que laborará en el nuevo laboratorio de mantenimiento predictivo, siendo así, trabajaran dos personas cumpliendo un horario de ocho(8) horas diarias. Nos será de gran ayuda tener un horario de 8H00 a 17H00pm puesto que el horario de trabajo del personal productivo es de manera continua trabajando 8 horas en turnos rotativos (6H00 a 14H00pm; 14H00 a 22H00pm; 22H00 a 6H00am), la importancia radica en que durante las ocho horas laborables de los técnicos del laboratorio, se producen tres tipos de paradas momentáneas de producción: La primera se presenta a las 10H00am cuando el personal se retira al almuerzo y dura aproximadamente treinta (30) minutos, la segunda ocurre cuando se termina la primera jornada de trabajo a las trece horas con cuarenta y cinco minutos(13H45), y la tercera cuando arranca la nueva jornada laboral a las 14H20pm, dentro de las horas laborables de los técnicos se puede observar el comportamiento de la maquinaria en todas sus fases, teniendo así el arranque que es muy importante para ver el comportamiento de los componentes de la misma, la parada momentánea en la comida y la parada total en el relevo del turno; además se podrá observar el tiempo de funcionamiento más extenso de las máquinas dentro de las veinticuatro(24) horas del día que es de 6H15 a 10H00am.

De tal manera se realizarán monitoreos de termografía y vibraciones en períodos de cuatro meses para tener un historial continuo de los diferentes elementos que serán intervenidos, se conectarán los equipos para que registren durante 24 horas los datos para luego conectarlos en otra máquina al día siguiente.

En el caso de análisis de aceite se tomará una muestra de aceite y se procederá al análisis en el laboratorio, tratando que la muestra tomada sea de la parte inferior del reductor el cuál debe encontrarse en reposo, esto se debe a la existencia de partículas sólidas, las mismas que podrán ser analizadas en la muestra, esta prueba se realizará dos veces al año es decir semestralmente en los reductores de gran potencia.

Todos los datos registrados desde los diferentes equipos de medición ya sean de termografía, análisis de vibraciones y de aceites se obtendrán a través de los software de los mismos, gracias a la nueva tecnología que nos ofrecen, todos los equipos requeridos para implementar el laboratorio traen incluido un software, además un valor agregado otorgarán los técnicos debidamente capacitados en cada una de las ramas en las que se desempeñaran, para tal efecto se tendrá un ingeniero eléctrico especializado en termografía, un ingeniero mecánico con capacitación en vibraciones y en análisis de aceites lubricantes. Con los datos obtenidos del software y con el análisis respectivo de cada uno de los técnicos se elaborará los correspondientes reportes que se presentaran al jefe inmediato para su valoración, coordinación y programación futura.

En la tabla # 17 se puede observar el cronograma de revisión o de análisis de las cinco principales máquinas tratadas en esta tesis, así en el resto de días que no se encuentran utilizados en el cronograma se irán colocando todas las demás máquinas operativas de ERCO, esto debido a la gran cantidad de maquinaria existente, para la cuál se debe realizar un trabajo de campo similar al tratado en este estudio.

		ENERO																FEBRERO																MARZO																ABRIL																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		S1				S2				S3				S4				S5				S6				S7				S8				S9				S10				S11				S12				S13				S14				S15				S16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
MAQUINA	COMPONENTE	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m	j	v	l	m</

Tabla # 17 Cronograma de revisión.

FUENTE: Los autores.

2.6 ANALISIS DE COSTO DE IMPLEMENTACION

2.6.1 INTRODUCCION

Para realizar el análisis del costo de implementación del laboratorio o departamento de mantenimiento predictivo se tiene que aclarar que no se incluirá el costo de los equipos de medida ya que en el siguiente capítulo se procederá a evaluar este costo contrastando con el beneficio que conlleva evitar las paradas de producción por intervención de las máquinas con mantenimiento programado y correctivo.

Únicamente se evaluarán los costos de mano de obra y de capacitación porque existen otros valores como el de infraestructura que no serán incluidos, pues ERCO cuenta con el espacio físico necesario y además cualquier readecuación del mismo está a cargo del departamento de obra civil que se encarga de todo lo concerniente a nuevos proyectos.

- COSTO DE MANO DE OBRA
- COSTO DE CAPACITACION

2.6.2 COSTO DE MANO DE OBRA

El costo que representa para la empresa contratar a dos personas que serán las encargadas de instalar los diferentes equipos, recolectar muestras, analizar los datos obtenidos y realizar los informes correspondientes en cada uno de sus campos de especialización. Todo este costo se debe calcular en el período de un año, para de esta manera poder relacionarlos con los datos concernientes a paradas de producción del año 2009 que fueron extraídos de la base informática de ERCO. De este modo se obtiene los siguientes datos:

	SUELDO MENSUAL	SUELDO ANUAL
Ing. Eléctrico	800	9600
Ing. Mecánico	800	9600
	TOTAL(usd)=	19200

Tabla # 18 Costo de mano de obra anual de los técnicos.

FUENTE: Los autores.

2.6.3 COSTO DE CAPACITACION

Se asume que la capacitación para cada uno de los técnicos se la realizará una sola vez en el año, por un lado con los distribuidores de cada equipo y por otro con un profesional especializado en mantenimiento predictivo obteniendo el siguiente valor:

	CAP. EQUIPO	CAP. PREDICTIVO
Ing. Eléctrico	400	500
Ing. Mecánico	400	
SUB. TOTAL	800	500
TOTAL (usd)		1300

Tabla #19 Costo de capacitación de los técnicos.

FUENTE: Los autores.

Con estos valores obtenidos de las tablas # 18 y 19 se determina un costo total de la mano de obra para implementar el departamento de mantenimiento predictivo en la empresa, siendo el resultado mostrado a continuación:

C. MANO DE OBRA	19200
C. CAPACITACION	1300
TOTAL(usd)	20500

Tabla # 20 Costo total de mano de obra.

FUENTE: Los autores.

El costo total representado en la tabla # 20, se convierte en la inversión que la empresa requiere hacer para contratar y capacitar únicamente a los técnicos para el laboratorio en el transcurso de un año, mas adelante en el siguiente capítulo se analizarán los costos por compra de equipos y de igual forma se realizará un análisis de costo versus beneficio aplicando mantenimiento predictivo en el presente estudio con relación al mantenimiento aplicado actualmente en ERCO.

OBSERVACIONES

- Una de las razones fundamentales para la elaboración de esta tesis, ha sido la importancia de evitar paradas de producción largas e imprevistas, como lo ocurrido en el año 2008 cuando en el mes de Marzo se produjo la rotura de uno de los piñones de la masa giratoria del sistema de calandria, esto debido a sobrecalentamiento en el eje principal, la causa que lo originó fue la ausencia de lubricación en el sistema; este tipo de falla potencial se pudo haber evitado, utilizando una de las técnicas desarrolladas en la presente tesis como es la termografía, ya que ante la falta de lubricación los elementos en contacto producen calentamiento excesivo para luego de un lapso de tiempo colapsar completamente. En aquel entonces la empresa se vio forzada a detener la producción por el lapso de dos días, si bien, el hecho de conocer que fueron 48 horas, no parece un valor demasiado representativo, hasta percatarse que todas las 48 horas son productivas por la razón de que ERCO opera en la modalidad de turnos rotativos y además otro dato interesante es el número de llantas que se construyen en cada turno de producción, llegando a contabilizar un total de pérdida en los dos días de once mil (11000) llantas vulcanizadas, bastaría con colocar un promedio cualesquiera del valor de la llanta en el mercado para representar esa cantidad de llantas en una cantidad económica que dejó de percibir la empresa, pero este tema se analizará mas adelante en el siguiente capítulo.
- Existen otros sistemas que no han sido considerados dentro del plan piloto de la presente tesis, como por ejemplo, tableros de distribución, puntos de contacto en subestaciones de transformación, transformadores de aislamiento, gran cantidad de motores trifásicos y de corriente continua, rodillos giratorios de varios tipos y tamaños, prensas para vulcanizar las llantas, entre otros. La razón principal se debe a la gran cantidad existente de máquinas y por otro lado se están desarrollando proyectos nuevos, una vez que se concluyan todos éstos proyectos y las nuevas máquinas comiencen a operar, se podrá definir un cronograma total para el año laboral,

conociendo con detalle la cantidad final de equipos y la importancia que representa cada una en el proceso productivo de la empresa.

- El departamento encargado de evaluar las pérdidas productivas ingeniería de planta, la Gerencia de Finanzas responsable en analizar los costos económicos de estas pérdidas, se hallan en la necesidad de implementar un nuevo sistema de mantenimiento que reduzca las paradas de producción en la empresa, con esta finalidad se realiza el presente estudio, que una vez concluido será puesto a consideración de los dos departamentos.

CAPITULO 3

ESTUDIO PARA IMPLEMENTACION DEL DPTO. DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN ERCO

3.1 INTRODUCCIÓN.

Sin dudas, el desarrollo de nuevas tecnologías ha marcado sensiblemente la actualidad industrial mundial. En los últimos años, la industria mecánica se ha visto bajo la influencia determinante de la electrónica, la automatización de proyectos y las telecomunicaciones, exigiendo mayor preparación en el personal, no sólo desde el punto de vista de la operación de la maquinaria, sino desde el punto de vista del mantenimiento industrial.

La realidad industrial, matizada por la enorme necesidad de explotar eficaz y eficientemente la maquinaria instalada y elevar a niveles superiores la actividad del mantenimiento. No remediamos nada con grandes soluciones que presuponen diseños, innovaciones, y tecnologías de recuperación, si no mantenemos con una alta disponibilidad nuestra industria.

Es decir, la industria tiene que distinguirse por una correcta explotación y un mantenimiento eficaz. En otras palabras, la operación correcta y el mantenimiento oportuno constituyen vías decisivas para cuidar lo que se tiene.

3.2 EQUIPOS REQUERIDOS PARA REALIZAR LOS ANÁLISIS

En el constante y acelerado crecimiento tecnológico que tenemos en la actualidad existen una variedad de herramientas y equipos que se emplearán para el beneficio y ayuda tanto para la empresa que utiliza su servicio, como también para el personal de mantenimiento, debido a que son éstos, los que van a tener el primer contacto con dichos equipos, a los cuales se los tiene que utilizar de la mejor manera para aprovechar todas las ventajas que nos ofrecen.

Luego de haber realizado varias consultas y comparaciones entre diferentes equipos en el mercado se han elegido tres aparatos, los mismos que han sido considerados por las características que a continuación presentamos:

- Versatilidad
- Velocidad de respuesta
- Confianza
- Resolución (termografía)
- Tecnología

3.2.1 CÁMARA TERMOGRÁFICA FLUKE Ti25

Por sobre los demás modelos de cámaras la fluke Ti25 presenta como principales características el uso de la tecnología “*IR-FUSION*” que no es más que, fusionar la imagen real

(luz visible) con la imagen infrarroja para lograr transmitir la información esencial del modo más rápido y sencillo; además posee la propiedad de grabar notas de audio durante el proceso de revisión, lo que evitaría utilizar papel y lápiz para tomar nota en casos puntuales. Sólo tiene que desplazarse rápidamente sobre los distintos modos de visualización para identificar mejor las áreas problemáticas, en imágenes totalmente infrarrojas, imagen en imagen o con fusión automática de imagen visual y térmica.



Fig. # 36. Fluke Ti 25
FUENTE: www.Fluke.com

3.2.1.1 PROPIEDADES

- Optimizada para su uso en exigentes entornos de trabajo.
- Diseñada y fabricada para resistir una caída de dos metros.
- Resistente al polvo y al agua. Probada conforme a la norma IP54.
- Proporciona la imagen clara y nítida necesaria para detectar problemas con rapidez.
- Gracias a su gran sensibilidad térmica (NETD), detecta incluso leves diferencias de temperatura que podrían indicar la existencia de un problema.
- Intuitivo menú de tres botones, muy fáciles de manejar... para desplazarse a través del mismo sólo hay que pulsar con el pulgar.
- Tampoco le hará falta llevar encima papel y lápiz, gracias a su sistema de búsqueda de informes por reconocimiento del habla. Las notas de voz se pueden grabar junto con las imágenes capturadas. Estos comentarios hablados se almacenan con las imágenes individuales para consultas posteriores.
- Incluye todo lo necesario para empezar a trabajar.
- Correa ajustable y adaptable para diestros y zurdos.

A continuación presentamos las características técnicas y generales que brinda la cámara fluke Ti25 en las tablas # 21 y 22 respectivamente:

3.2.1.2 ESPECIFICACIONES TECNICAS

Temperatura	
Rango de medida de la temperatura (no calibrado si es inferior a -10 °C)	-20 °C a +350 °C (dos rangos)
Precisión	± 2 °C o 2% (la mayor de ambas)
Corrección de emisividad en pantalla	Sí
Óptica y sensor	
Campo de visión	23° x 17°
Campo de visión instantáneo (IFOV)	2,5 mrad
Distancia focal mínima	Lente de infrarrojos: 15 cm Lente de luz visible (visual): 46 cm
Enfoque	Manual
Frecuencia de imagen	Velocidad de actualización de 9 Hz
Tipo de detector	Matriz de plano focal de 160 x 120, microbolómetro no refrigerado
Tipo de lente de infrarrojos	Lente de 20 mm F = 0,8
Sensibilidad térmica (NETD)	≤ 0,1 °C a 30 °C (100 mK)
Banda espectral de infrarrojos	De 7,5 µm a 14 µm
Cámara de luz visible	Resolución de 640 x 480
Presentación de la imagen	
Paletas de color	Hierro (ironbow), azul-rojo, alto contraste, ámbar, metal caliente, gris
Rango y nivel	Cómodo ajuste automático y manual de nivel y rango
Rango mínima (en modo manual)	2,5 °C
Rango mínima (en modo automático)	5 °C
Información sobre IR-Fusion®	Incluye infrarrojos con fundido automático MAX, MID o MIN; e imagen en imagen con fundido automático MAX, MID o MIN (fundido visual e IR)
Imagen en imagen (PIP)	Tres niveles de fundido de infrarrojos en pantalla mostrados en 320 x 240 píxeles centrales
Pantalla completa (PIP desactivado)	Tres niveles de fundido de infrarrojos en pantalla mostrados en LCD de 640 x 480
Anotaciones de voz	
Anotaciones de voz	Hasta 60 segundos de tiempo de grabación por imagen
Almacenamiento de imágenes y datos	
Soporte de almacenamiento	Tarjeta de memoria (la tarjeta de memoria de 2 GB almacenará al menos 1.200 imágenes infrarrojas completamente radiométricas (.is2) y sus imágenes visuales vinculadas con 60 segundos de anotación de voz o 3.000 imágenes infrarrojas (.bmp) básicas)cada una
Formatos de archivos	No radiométricos (.bmp) o completamente radiométricos (.is2) No es necesario disponer de un software de análisis para archivos no radiométricos (.bmp)
Formatos de archivo exportables. Con software SmartView™ incluido	JPEG, BMP, GIF, PNG, TIFF, WMF, EXIF y EMF

Tabla # 21 Especificaciones cámara Ti 25

FUENTE: www.Fluke.com

3.2.1.3 ESPECIFICACIONES GENERALES

Especificaciones generales	
Temperatura De trabajo	de -10 °C a 50 °C
De almacenamiento	de -20 °C a 50 °C
Humedad relativa	10 a 90% (sin condensación)
Pantalla	Pantalla LCD (640 x 480) VGA panorámica en color, diagonal de 9,1 cm (3,6 pulg.) con retroiluminación (brillante o automática seleccionable)
Controles y ajustes	Escala de temperatura seleccionable por el usuario (°C/°F) Selección de idioma, Hora y fecha, Selección de emisividad, Puntos fríos y calientes en la imagen seleccionables por el usuario Ti25 permite al usuario ajustar la paleta, el fundido alfa, el nivel, la escala, PIP y la emisividad en una imagen capturada antes de almacenarla.
Software	SmartView™, software completo de análisis y generación de informes incluido
Alimentación	Batería: batería interna recargable (incluida) Duración de la batería: de tres a cuatro horas de uso continuo (para 50% de brillo del LCD), Tiempo de carga de la batería con un adaptador/cargador de CA y cargador de coche de CC: dos horas para la carga completa
Adaptador/cargador de CA	Adaptador/cargador de CA (110 V CA a 220 V CA, 50 Hz a 60 Hz). Carga la batería mientras la cámara está funcionando. Adaptador de alimentación de CA universal incluido.
Ahorro de energía	Modo "En espera" activado después de 5 minutos de inactividad, apagado automático después de 20 minutos de inactividad
Normativas de seguridad	Directiva CE: IEC/EN 61010-1 2ª edición Grado de contaminación 2
Compatibilidad electromagnética	Directiva EMC: EN61326-1 C-Tick: IEC/EN 61326, US FCC: CFR 47, Parte 15 Clase A
Vibraciones	2 G, IEC 68-2-29
Impactos	25 G, IEC 68-2-29
Dimensiones (LxAxF)	27 cm x 13 cm x 15 cm
Peso	1,2 kg
Grado de protección IP	IP54
Ciclo de calibración	Dos años (para un funcionamiento y envejecimiento normales)
Idiomas	Inglés, italiano, griego, español, francés, ruso, portugués, sueco, turco, checo, polaco, finés, chino simplificado, chino tradicional, coreano y japonés.

Tabla # 22 Especificaciones generales cámara Ti 25

FUENTE: www.Fluke.com

3.2.2 ANALIZADOR DE VIBRACIONES DIGIVIBE MX 100.

3.2.2.1 CARACTERISTICAS PRINCIPALES.

- **ANÁLISIS DE VIBRACIÓN.**

El DigivibeMX utiliza una computadora común como analizador de vibraciones, operando a partir de una interfaz convertidora analógico-digital, uno o dos sensores de vibración de tipo electromagnético y un potente software de análisis de vibración.

Gracias a su sistema de filtrado automático, usted no tiene que preocuparse por ajustar la frecuencia del análisis. DigivibeMX puede detectar automáticamente la frecuencia de rotación de su equipo.

Aunque es más sencillo realizar balanceos con sensor óptico, esta versión incluye una herramienta de balanceo sin ángulo de fase.



Fig. # 37 Analizador de vibraciones Digivibe MX 100

FUENTE: www.erbessd.com

- **CAPACIDAD Y MEMORIA**

El DigivibeMX posee una capacidad de más de 160 Gbytes permitiéndole grabar más de 640,000 espectros de vibración de alta definición.

- **DEFINICIÓN AJUSTABLE**

En DigivibeMX usted puede ajustar la precisión de sus espectros tanto como usted guste. El número de líneas de resolución puede variar entre 10,000 en el caso más bajo, hasta 1,000,000

- **EQUIPO DE CÓMPUTO**

Ventajas de usar equipos convencionales:

- De fácil reemplazo y actualización a muy bajo costo
- Con equipos convencionales siempre estaremos a la vanguardia en velocidad y capacidad de almacenamiento.
- Alta compatibilidad con paquetes de uso común como Microsoft Word, Excel etc.

- **BASE DE DATOS**

El DIGIVIBE MX incorpora en este modelo una nueva y poderosa base de datos, la cual organizará todos sus equipos, y le simplificará la revisión periódica de los mismos. A través de esta base de datos, usted puede generar los reportes, curvas de tendencia y balanceos de cada uno de sus equipos.

La base de datos genera de manera automática un archivo historial de todas las muestras que haya tomado de cada uno de sus equipos. Este historial puede ser modificado de una manera sencilla para añadir datos previos con los que usted ya cuente.

- **ANÁLISIS EN TIEMPO REAL**

DigivibeMX es capaz de realizar simultáneamente una innumerable cantidad de procesos en tiempo real gracias a la potencia de su procesador. Entre otros:

- Filtros pasa banda, pasa bajos y pasa altos
- Transformada Rápida de Fourier
- Comparación de dos señales simultaneas
- Angulo de Fase
- Tacómetro
- Reportes Automáticos
- Curvas de tendencia

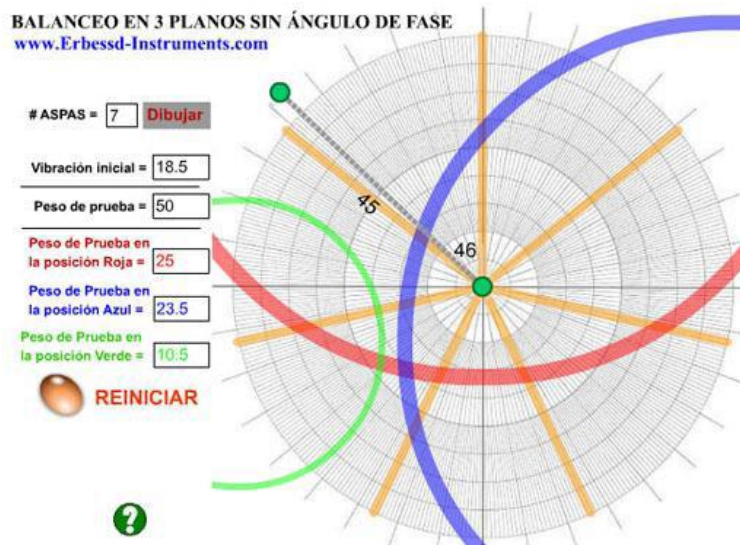


Fig. # 38 Análisis en tiempo real

FUENTE: www.erbessd.com

3.2.2.2 HERRAMIENTA DE INTERPRETACIÓN Y DIAGNÓSTICO

DigivibeMX incorpora ahora una potente herramienta de interpretación y diagnóstico de señales que trabaja tanto a partir de las señales registradas como en base a una serie de preguntas que el usuario tendrá que contestar de acuerdo con sus observaciones.

Los resultados obtenidos son exportables a Microsoft Word o cualquier editor de texto para su reporte correspondiente.

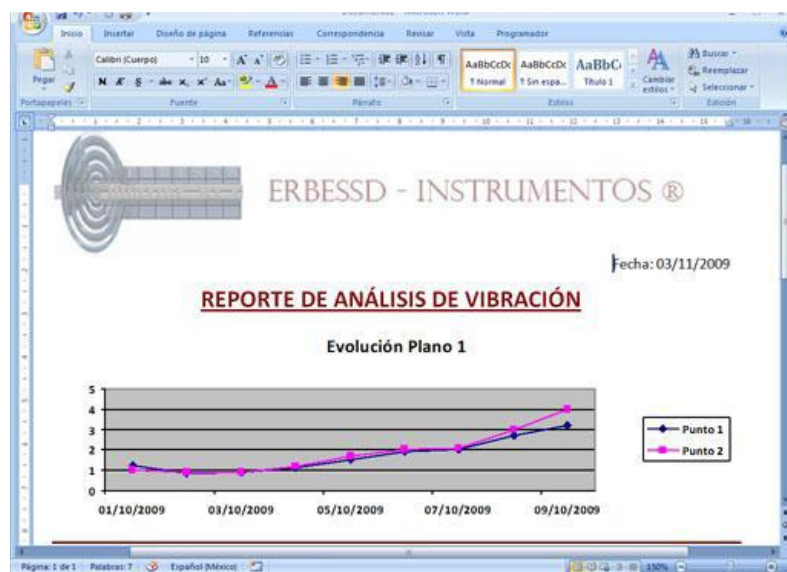


Fig. # 39 Herramienta de interpretación y diagnóstico

FUENTE: www.erbessd.com

3.2.2.3 ANÁLISIS DE RODAMIENTOS

DIGIVIBE MX cuenta con una base de datos de más de 3500 rodamientos de varias marcas con la cual usted podrá seleccionar aquel correspondiente a su máquina. En la gráfica de envolvente de aceleración usted podrá ver entonces las frecuencias correspondientes a daños en pista interna, pista externa, jaula y elementos rodantes.



Fig. # 40 Análisis de rodamientos

FUENTE: www.erbessd.com

3.2.2.4 ACCESORIOS OPCIONALES

- Contrapesos de prueba.
- Báscula
- Minibásculas Electrónicas.
- Extensiones de cables para sensores.

3.2.2.5 DOCUMENTACIÓN

- Manual de usuario.
- Manual de consulta de vibraciones mecánicas.
- Manual de Balanceo dinámico.

3.2.2.6 KIT

- DIGIVIBE MX 100 Analizador de vibraciones con 1 sensor de vibración, 1 sensor láser de movimiento, laptop, 1 convertidor, manual de usuario, manual de vibraciones mecánicas, manual de balanceo en español.

3.2.2.7 FICHA TÉCNICA DIGIVIBE MX 100

FICHA TÉCNICA DIGIVIBE MX 100	
Hardware	
Sensores	1 Sensor de vibración. Con cable de 1.8 mts
Base magnética para sensor	
Convertidor	DIGIVIBE MX.
Cables de entrada.	
Computadora portátil	(Inspiron™ 10 Mini) con opción a otros modelos.
Maletín-mochila	con capacidad para equipo y accesorios.
Entrada	
Sensor de velocidad	
Rango de entrada	de 0.5 Hz a 20 kHz
Muestreo de grabación	de hasta 96000 Hz
Alarma de exceso de vibración	Programable
FFT	
Precisión de frecuencia	de 0.1% a 10 segundos de grabación variable de acuerdo con la longitud de la grabación.
Ventanas de medición	Hanning, Hamming, Blackman, Rectangle, Triangle y Tukey
Visualizador de armónicas	
Resolución	1600 líneas en tiempo real expandible hasta 1,000,000
Salida	
Sonido de audio para el estetoscopio electrónico.	
Gráficos que pueden copiarse a cualquier programa compatible	con imágenes BMP de Windows XP y VISTA y Windows 7
Parámetros de medición	
Desplazamiento	
Velocidad	
Aceleración	
Envolverte de aceleración	
Procesamiento	
Procesador	Intel® Celeron® M 380 (1.60GHz / 400MHz FSB), o superior.
Pantalla Amplia	de 10" con resolución WXGA (14WXGA) o superior.
RAM 1GB, DDR2, 633MHz (256MB) o superior.	
Disco Duro	de 160 GB o superior.
Alimentación	
Batería	Primaria extendida de 4 Celdas, 32 WHr (6BAT).

Tabla # 23 Ficha técnica Digivibe MX100

FUENTE: www.erbessd.com

3.2.3 ANALIZADOR DE ACEITES: SPECTROLNF Q200.

El SpectroLNF Q200 utiliza las técnicas de imagen láser y un software avanzado de procesamiento de imágenes para analizar muestras de aceite de los motores y determinar la salud de la máquina mediante la medición de concentración de partículas, el desgaste, tipos de partículas y las tendencias. El LaserNet Fines® data, es un programa de mantenimiento basado en condición del aceite, lo que reducirá los costos, mano de obra y la probabilidad de una máquina con parada inesperada y un largo tiempo de inactividad.

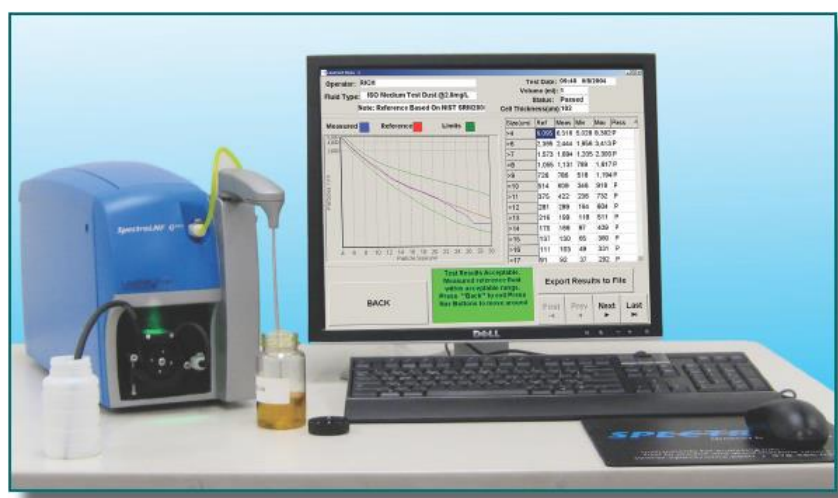


Fig. # 41 SpectroLNF Q200

FUENTE: www.spectroinc.com

3.2.3.1 CONTADOR DE PARTÍCULAS

Las partículas son separadas por el tamaño directamente y puestas en contenedores de tamaño de 4 - 15 μm . 15 - 25 μm . 25 - 50 μm y 50 μm . y mayores. La capacidad de imagen directa de este instrumento elimina la necesidad de calibración con un polvo de prueba, la distribución de tamaño de partícula exacta que a su vez puede ser cuestionable. Las burbujas de aire se ignoran y el láser es lo suficientemente potente para procesar gran hollín (negro) de los aceites.

3.2.3.2 FUNCIONAMIENTO

El SpectroLNF Q200 es la próxima generación de clasificadores de forma de partícula. El nuevo SpectroLNF Q200 ofrece las numerosas mejoras incluso una cámara de CCD muy rápida, un zipper ergonómico y la habilidad de medir la viscosidad.

La condición del resultado está basado en el análisis de aceite lo cual se ha vuelto en una práctica aceptada en cualquier programa de mantenimiento. Con el conocimiento de los metales de uso y contaminantes presentes en un sistema lubricado, puede determinarse si ese equipo está operando apropiadamente o si se requiere mantenimiento preventivo. SpectroLNF Q200 combina las técnicas de análisis de aceite normales de partícula contar, clasificación de la forma, y viscosidad en un solo instrumento analítico.

El SpectroLNF Q200 es un microscopio automatizado que captura la imagen de la silueta de partículas en aceite que fluye a través de 100 μm . Las ópticas del aumento usando un poderoso láser pulsado, una imagen de la muestra se captura por una cámara de video y guarda en la memoria del computador. Los objetos se analizan entonces por el tamaño y algunos forman características que se usan para clasificar las partículas en las clases de uso mecánicas. Cada pulso del láser proporciona un solo marco de la imagen a ser analizado, y se combinan los resultados de miles de marcos para el análisis de cada muestra.

3.2.3.2.1 CLASIFICADOR DE FORMA DE PARTÍCULA

La clasificación de forma de partícula se realiza con una red neural artificial que se desarrolló específicamente para el SpectroLNF del sistema de Q200. Se escogieron los rasgos de la forma para dar la distinción óptima entre las clases asignadas de corte, fatiga, desgastes severos, gotas de agua no metálicas libres y fibras. La red neural está especializada en una biblioteca extensa de partículas que son clasificadas por personal especializado.

3.2.3.2.2 PARTÍCULAS

El SpectroLNF Q200 guarda miles de imágenes para obtener las estadísticas. Aunque la forma real de cada partícula no se captura, lo que se obtiene es la silueta, el diámetro equivalente de cada partícula, de 4 a $>100 \mu\text{m}$, se calcula para proporcionar NAS, NAVAIR e ISO que tienen sus códigos. El SpectroLNF Q200 mide las concentraciones de partículas en un rango de área de $1600 \times 1200 \mu\text{m}$ pero no mide la partícula en sí, en lugar de esto mide el obstáculo ligero

causado por una partícula en un momento. No es necesario recalibrar el SpectroLNF Q200 porque, la amplificación determinada en la fábrica, permanece fija. El NIST que es la Referencia Normal de Material 2806 (el Polvo de Prueba de Medio en el Fluido Hidráulico) es moderado como un último procedimiento de QC en la fábrica y puede usarse después de esto como un fluido de prueba. Las burbujas de aire ($> 20 \mu\text{m}$) se reconocen y se eliminan y gotas de agua ($> 20 \mu\text{m}$) se reconocen y cuantifican. El láser es muy poderoso para procesar partículas muy pequeñas.

3.2.3.2.3 VISCOSIDAD

El SpectroLNF Q200 proporciona el análisis de viscosidad de la muestra al mismo tiempo mientras realiza el análisis de la partícula y clasificación de forma de la partícula. Se informan las medidas de Viscosidad dinámicas en Centipoise (el cP) a los 40°C . El tiempo del proceso típico es de 2 - 6 minutos por la muestra para un rango de viscosidad de ISO 15 a 320 de calidad. La capacidad de viscosidad tampoco requiere la calibración, pero el SpectroLNF Q200 puede verificarse periódicamente con una norma de viscosidad certificada.

Estos tres equipos son los que requiere comprar la empresa para equipar el laboratorio de mantenimiento predictivo, los valores referentes a los costos de cada uno de ellos se detallan a continuación en el siguiente apartado que corresponde al análisis de costo beneficio.

3.3 ANALISIS DE COSTO-BENEFICIO

3.3.1 INTRODUCCION

El análisis predictivo en el mantenimiento de maquinaria, es muy útil para reducir las paradas productivas por daños, que pueden ser evitados con un correcto análisis previo, en el presente estudio se considera uno de los principales inconvenientes en la implementación del mantenimiento predictivo, el costo de la inversión de los equipos.

De lo mencionado anteriormente, ERCO contrata los servicios de una empresa de la ciudad de Quito llamada "PREDICTIVA", esto representa un elevado costo para la empresa, por tal motivo se ve en la necesidad de realizar un estudio de implementación para este tipo de mantenimiento.

El actual proyecto se elaborará, tomando en cuenta que el departamento de mantenimiento predictivo funciona dentro de las instalaciones de ERCO, de este modo, no se requiere de un espacio físico amplio; se optará por utilizar una oficina en donde se elaboren informes acerca

de los datos registrados y otra oficina adjunta para realizar los análisis de aceites, éstos espacios si se encuentran disponibles en la empresa.

3.3.2 CÁLCULO DE LAS RAZONES FINANCIERAS DEL PROYECTO.

A continuación procedemos a determinar las razones de rentabilidad, consideradas las más importantes, a efectos de obtener información sobre la actual situación de la empresa.

3.3.2.1 COSTO DE OPERACIÓN.

3.3.2.1.1 COSTO DE LOS EQUIPOS.

Uno de los principales puntos a determinar es el costo de operación de los equipos, para el cuál, se necesita hacer un análisis de los tres tipos requeridos, además se debe tomar en cuenta la depreciación de los equipos, la misma que, para este cálculo se proyectará a dos años, esto debido a la constante modificación de las tecnologías, que van tomando a los equipos antiguos en obsoletos, en períodos de tiempo cada vez más cortos.

A continuación se detalla el cálculo para el uso del equipo y su respectiva depreciación.

$$Ceq. año = \frac{Ceq}{A} \left(\frac{\$}{año} \right)$$

De donde:

Ceq. → Costo del equipo (\$)

A → Número de años (se consideran dos años)

C eq.año → Costo del equipo por año

DETALLE	AÑOS	COST. EQUIPO	C. EQ/AÑO
Cámara termográfica	2	\$ 4954.17	2477,17
Analizador de vibraciones	2	\$ 3990.00	1995
Analizador de aceites	2	\$ 5360.45	2680,22
Computador portatil	2	\$ 960.00	480
TOTAL		\$ 15.264,62	7632,39

Tabla # 24 Costo total / por año de los equipos
FUENTE: Los autores.

Una vez que se obtiene el costo del equipo para cada año, se procede a calcular aproximadamente el número de días laborables del equipo en el año, de la siguiente manera, tomando en cuenta que en “ERCO”, se procederá a tener dos personas encargadas para el control del laboratorio nos da lo siguiente:

$$D_{lab.} \times \text{mes} = 20 \frac{\text{días}}{\text{mes}}$$

$$D_{lab.} \times \text{año} = 12 \text{ meses} \times 20 \frac{\text{días}}{\text{mes}}$$

$$D_{lab.} \times \text{año} = 240 \text{ días}$$

De donde:

$$D_{lab.} \times \text{mes} \rightarrow \text{Días laborables por mes}$$

$$D_{lab.} \times \text{año} \rightarrow \text{Días laborables por año}$$

Esto significa que los equipos junto con el personal laborarán aproximadamente 240 días en un año. Con los datos obtenidos se procede a calcular el costo de los equipos por día, es decir cuánto cuesta el equipo por día durante los próximos dos años, aplicando la siguiente fórmula:

$$C_{d.eq} = \frac{C_{eq.año}}{D_{lab.} \times \text{año}} \left(\frac{\$}{\text{día}} \right)$$

De donde:

$$C_{d.eq} \rightarrow \text{Costo diario del equipo.}$$

En la tabla # 25, se resume los tres cálculos anteriores para todos los equipos a utilizar en el nuevo departamento.

DETALLE	COST. EQUIPO	AÑOS	C. EQ/AÑO	D.LAB/EQ	COST.DIA/EQ
Cámara termográfica	\$ 4954.17	2	2477.17	240	10,32
Analizador de vibraciones	\$ 3990.00	2	1995.00	240	8,31
Analizador de aceites	\$ 5360.45	2	2680.22	240	11,16
Computador portátil	\$ 960.00	2	480.00	240	2,00
				TOTAL=	31,79

Tabla # 25 Costo diario de los equipos requeridos.

FUENTE: Los autores.

3.3.2.1.2 COSTO DE MANO DE OBRA

Calcula el costo de los técnicos contratados para laborar en el nuevo departamento. Este personal lo conformarán dos profesionales en ingeniería eléctrica y mecánica los mismos que laborarán de lunes a viernes en jornadas de ocho horas; y serán los encargados de realizar las mediciones y posteriormente emitir los informes.

Para el cálculo de mano de obra tomaremos en cuenta los topes de salario según las categorías que son dadas por la administración de “ERCO”. En el siguiente cálculo vemos el salario según las categorías tanto en el caso del Ing. eléctrico y mecánico.

Salario técnico eléctrico:

$$sal. dia. el = ((sal. bas. el)(0,95)) + (sal. bas. el)$$

$$sal. dia. el = ((12,448)(0,95)) + (12,448)$$

$$sal. dia. el = (11,826) + (12,448)$$

$$sal. dia. el = 24,275 \text{ USD}$$

Donde:

sal. dia. el → salario diario del técnico eléctrico (USD)

sal. bas. el → salario básico por categoría técnico eléctrico (USD)

0,95 → incentivo de producción (%)

Y para encontrar el valor mensual de remuneración tenemos el siguiente cálculo.

$$sal. mes. el = ((sal. dia. el)(dias/mes))$$

$$sal. mes. el = ((24,275)(30))$$

$$sal. mes. el = 728,254 \text{ USD}$$

Donde:

sal. mes. el → salario mensual del técnico eléctrico (USD)

Salario técnico mecánico:

$$sal. dia. mec = ((sal. bas. mec)(0,95)) + (sal. bas. mec)$$

$$sal. dia. mec = ((12,414)(0,95)) + (12,414)$$

$$sal. dia. mec = (11,793) + (12,414)$$

$$sal. dia. mec = 24,208 \text{ USD}$$

Donde:

sal. dia. mec → salario diario del técnico eléctrico (USD)

sal. bas. mec → salario básico por categoría técnico eléctrico (USD)

0,95 → incentivo de producción (%)

Y para encontrar el valor mensual de remuneración tenemos el siguiente cálculo.

$$sal. mes. mec = ((sal. dia. el)(dias/mes))$$

$$sal. mes. mec = ((24,275)(30))$$

$$sal. mes. mec = 726,254 \text{ USD}$$

Donde:

sal. mes. mec → salario mensual del técnico mecánico (USD)

En el presente caso tomaremos en cuenta los días laborables para obtener el rubro correspondiente a la mano de obra.

$$Csal. tec \times \text{año} = (sal. mes. tec)(mes/año)$$

De donde:

Csal.tec x año → Costo del salario del técnico por año

sal.mes.tec → Salario del técnico en el mes

mes x año → Meses laborables por año.

El resumen de los cálculos se expresan en la tabla # 26:

TECNICO	mes.lab.año	sal.mes.tec	Csal.tec x año
Ing. Eléctrico	12	728,254	8739,048
Ing. Mecánico	12	726,254	8715,048

Tabla # 26 Costo de salarios por año de los técnicos.

FUENTE: Los autores.

Los servicios básicos no los calcularemos, debido a que las oficinas funcionan en el interior de la empresa no generan un costo adicional para este nuevo estudio.

Para terminar el costo de operación, se deben considerar todos los costos parciales en estudio, lo que deriva en la siguiente formula:

$$C.ser.esp = \frac{C.d.eq.es + C.sal.tec.d.esp}{\# \text{ horas día}}$$

De donde:

C.ser.esp → Costo del servicio específico (termografía, vibración o aceites)

C.d.eq.es → Costo diario de equipo específico

C.sal.tec. d. esp. → Costo salario de técnico por día específico

C.d.eq.TERM.	C.sal.tec.TERM	# HORAS	COSTO FINAL
10,32	24,275	8	4,324375

Tabla # 27 Costo diario del servicio de termografía.

FUENTE: Los autores.

C.d.eq.VIBR.	C.sal.tec.VIBR	# HORAS	COSTO FINAL
8,31	24,208	8	4,065

Tabla # 28 Costo diario del servicio de análisis de vibración.

FUENTE: Los autores.

C.d.eq.ACEI.	C.sal.tec.ACEI	# HORAS	COSTO FINAL
11,16	24,208	8	4,421

Tabla # 29 Costo diario del servicio de análisis de aceites.

FUENTE: Los autores.

C.d.eq.COMP.	C.sal.tec.COMP	# HORAS	COSTO FINAL
2	24,241	8	3,280

Tabla # 30 Costo diario del servicio de computador portátil.

FUENTE: Los autores.

Se han calculado todos los valores parciales a tomar en cuenta, para obtener un valor total diario se deben sumar todos estos valores y obtendremos los costos finales. (Todos estos costos parciales y finales están dados en USD).

$$\text{costo total} = C.d.eq.TERM + C.d.eq.VIBR + C.d.eq.ACEI + C.d.eq.COMP$$

C.d.eq.TERM.	C.d.eq.VIBR.	C.d.eq.ACEI.	C.d.eq.COMP.	COSTO FINAL
4,324	4,065	4,421	3,28	16,090

Tabla # 31 Costo diario total de equipos.

FUENTE: Los autores.

Donde:

C.d.eq.TERM → Costo diario equipo termográfico

C.d.eq.VIBR → Costo diario equipo vibraciones

C.d.eq.ACEI → Costo diario equipo aceites

C.d.eq.COMP → Costo diario equipo computador portátil

3.3.2.2 PERDIDAS DE PRODUCCIÓN POR MANTENIMIENTO.

Se determinarán los costos de las pérdidas de producción en dólares según el porcentaje de paradas por mantenimiento durante el año. Estos valores se obtienen de la base de datos del departamento financiero de ERCO y se la denomina: “**valor proyectado a producir por año**”, calculado para cada una de las máquinas intervenidas en este estudio.

- **VALOR PROYECTADO A PRODUCIR POR AÑO:** Es un valor general que se le puede proyectar, con el historial producido durante los últimos dos años, para encontrar los valores parciales de cada máquina se ha procedido conjuntamente con departamento financiero, a realizar un listado total de máquinas operativas de producción, para luego subdistribuir las en grupos de mayor o menor jerarquía y mediante esta distribución, obtener un porcentaje aproximado del valor en dólares de cada una de las máquinas.

El cálculo aplicado a continuación, se utilizará en todos los casos, para determinar los costos de paradas de producción por intervención del personal de mantenimiento.

$$cpp = (vpa) \times (pm)$$

Donde:

cpp → costo por pérdida de producción (USD)

vpa → valor proyectado a producir por año (USD)

pm → porcentaje mensual de pérdida (%)

Para el caso del cálculo en el mezclador # 1 tenemos:

$$cpp = (vpa) \times (pm)$$

$$cpp = (25000) \times (4,2\%)$$

$$cpp = 1050 \text{ USD (enero)}$$

$$cpp = (vpa) \times (pm)$$

$$cpp = (25000) \times (2,3\%)$$

$$cpp = 575 \text{ USD (febrero)}$$

.

.

.

$$cpp = (vpa) \times (pm)$$

$$cpp = (25000) \times (2,3\%)$$

$$cpp = 1050 \text{ USD (diciembre)}$$

3.3.2.2.1 MEZCLADOR # 1.

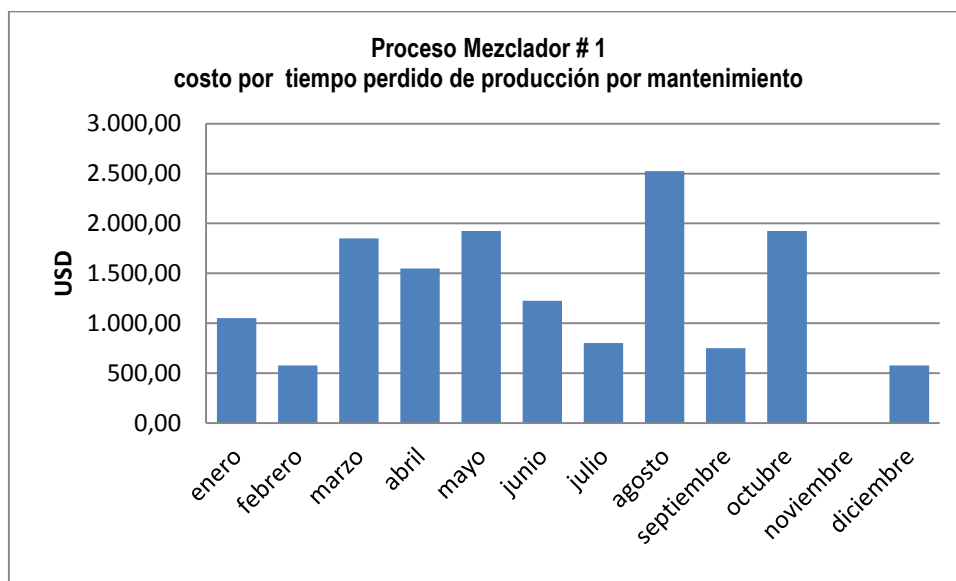


Fig. # 42 Proceso Mezclador # 1
costo por tiempo perdido de producción por mantenimiento.

FUENTE: Los autores.

El total porcentual por año se ve en la tabla a continuación:

Meses	USD
enero	1.050,00
febrero	575,00
marzo	1.850,00
abril	1.550,00
mayo	1.925,00
junio	1.225,00
julio	800,00
agosto	2.525,00
septiembre	750,00
octubre	1.925,00
noviembre	0,00
diciembre	575,00
Total por año	14.750,00

Tabla # 32 Total costo porcentual por año de proceso de Mezclador # 1.

FUENTE: Los autores.

3.3.2.2.2 CALANDRIA.

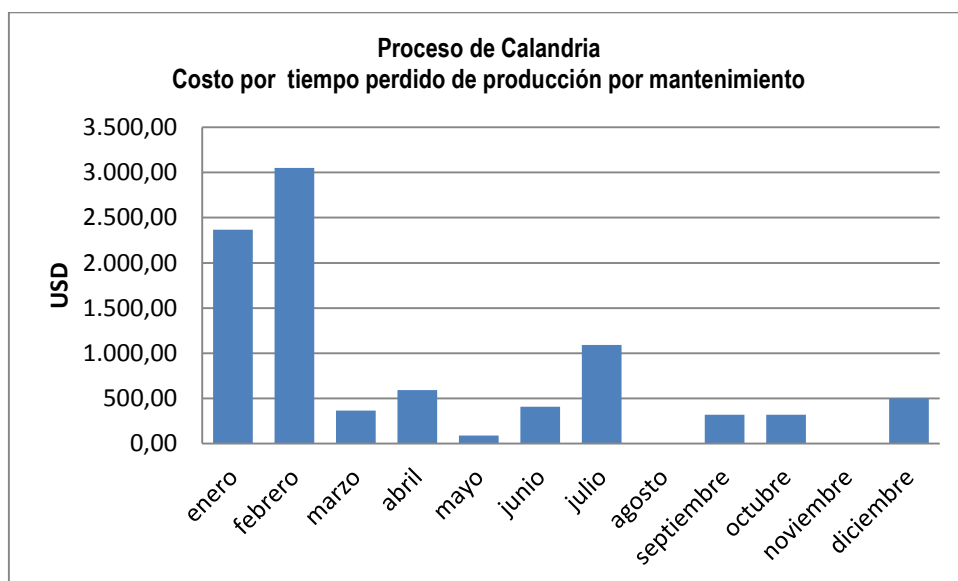


Fig. # 43 Proceso de Calandria
costo por tiempo perdido de producción por mantenimiento.

FUENTE: Los autores.

3.3.2.2.3 STEELASTIC # 2.

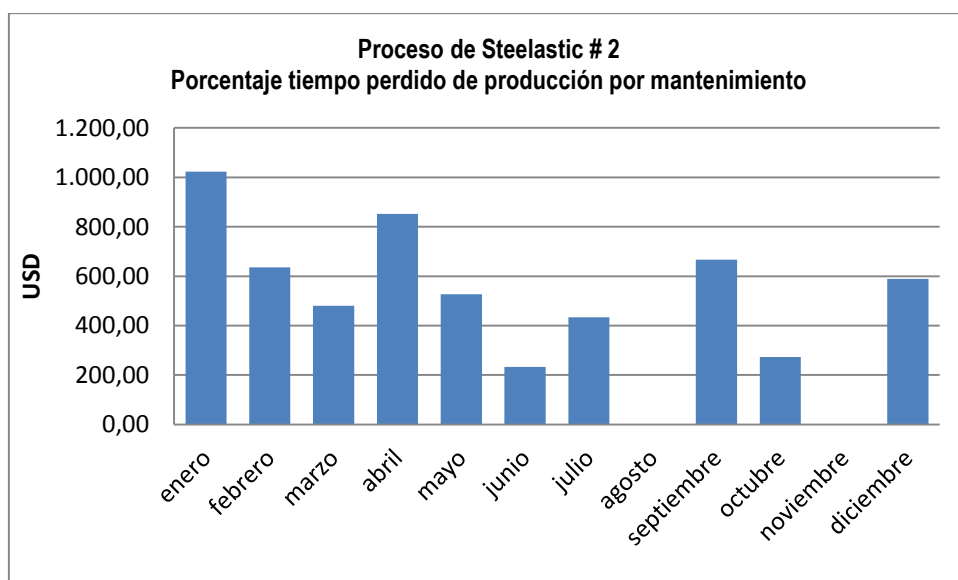


Fig. # 44 Proceso Steelastic # 2
costo por tiempo perdido de producción por mantenimiento.

FUENTE: Los autores.

3.3.2.2.4 FSW 400

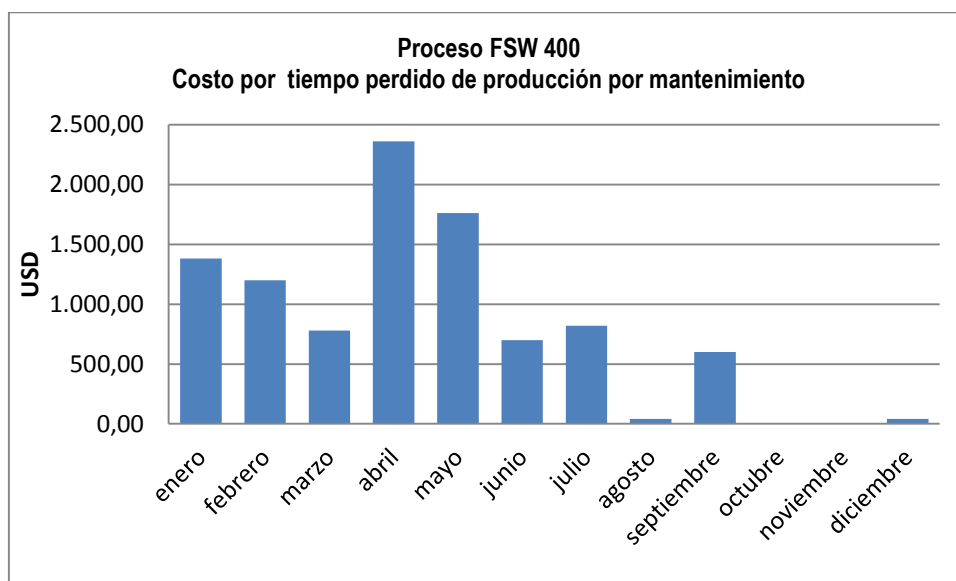


Fig. # 45 Proceso FSW 400
costo por tiempo perdido de producción por mantenimiento.

FUENTE: Los autores.

3.3.2.2.5 EXPANDER # 9

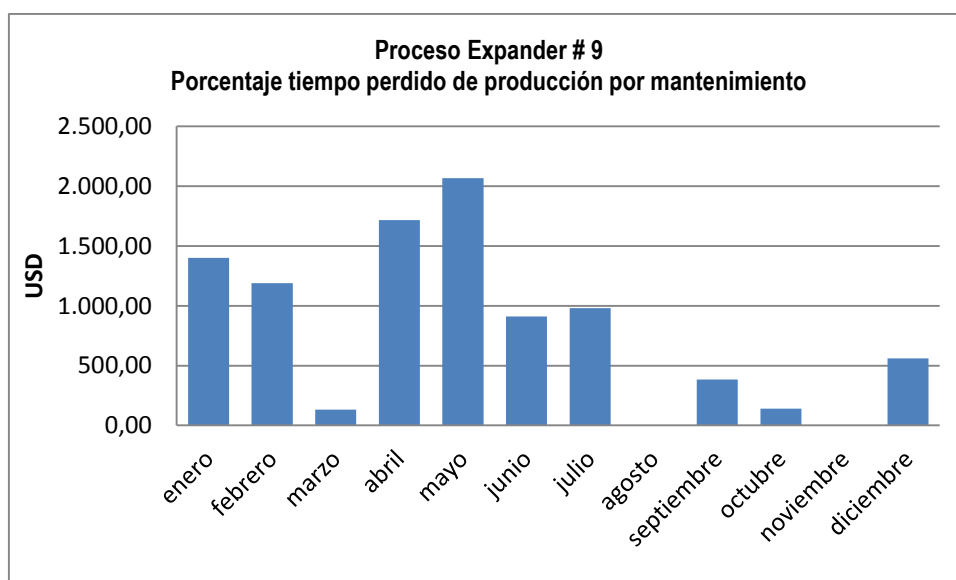
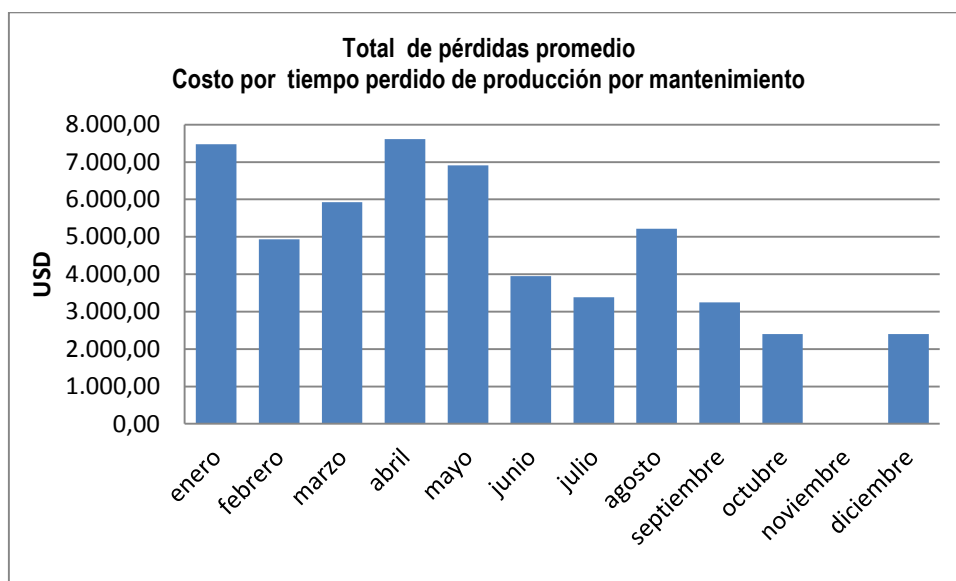


Fig. # 46 Proceso Expander # 9
costo por tiempo perdido de producción por mantenimiento.

FUENTE: Los autores.

3.3.2.2.6 TOTAL DE PÉRDIDAS.



*Fig. # 47 Total de pérdidas promedio
costo por tiempo perdido de producción por mantenimiento.*

FUENTE: Los autores.

3.3.2.2.7 PORCENTAJES TOTALES POR MES Y TOTAL DE PÉRDIDAS ANUAL

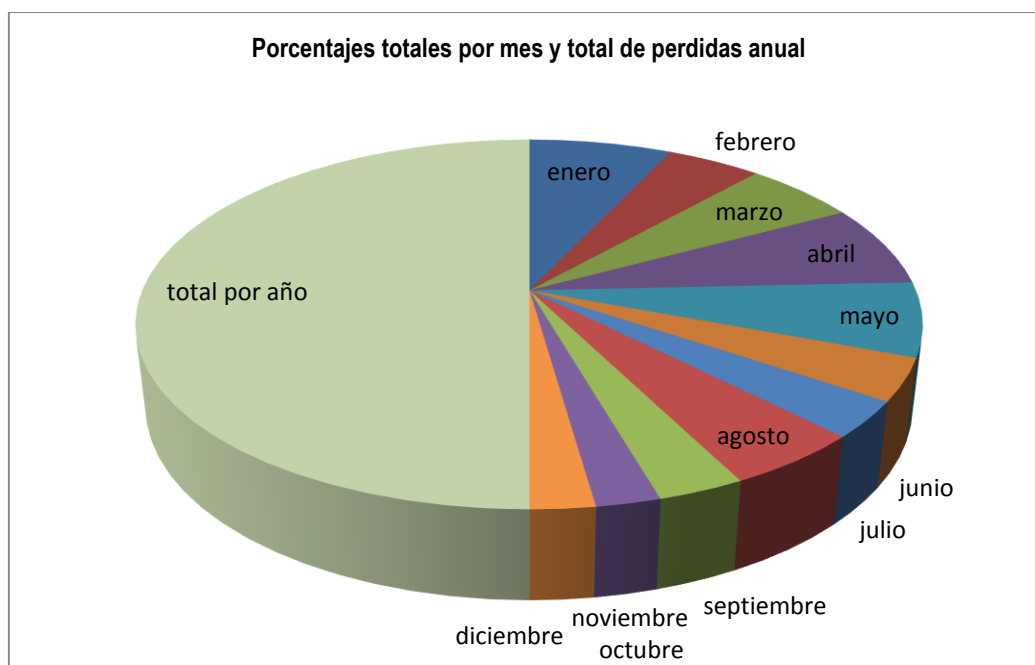


Fig. # 48 Porcentajes totales por mes y total de pérdidas anual.

FUENTE: Los autores.

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Total por año	141025,5											
Porcentaje mensual	5,3	3,5	4,2	5,4	4,9	2,8	2,4	3,7	2,3	1,7	0	1,7
Costo pérdida mensual	7474,352	4935,89	5923,1	7615,4	6910,2	3948,7	3384,6	5217,9	3243,6	2397,4	0	2397,4335
											Total por año	53448,665

Tabla # 33 Costo total por paradas por año.

FUENTE: Los autores.

En la siguiente tabla podemos observar los resultados que se obtienen al realizar la comparación entre el costo de las paradas por mantenimiento correctivo sin realizar un análisis predictivo, versus el costo que involucra la implementación del nuevo departamento. Todos estos valores se presentan de manera global para un año de ejecución.

	INVERSIÓN POR AÑO			COSTO POR PARADAS	
COSTOS ANUALES					
	Costo de equipos		7632,39		
	Costo de los técnicos	Ing. Eléctrico	8739,048	Total costo anual por paradas (USD)	53448,66
		Ing. Mecánico	8715,048	Porcentaje de resultado por aplicación de mant. Predictivo (%)	50
TOTAL			25086,486	TOTAL	26724,33

Tabla # 34 Costo inversión vs costos por paradas.

FUENTE: Los autores.

En la tabla # 34 se expresa la relación que existe, entre la inversión requerida en el primer año y el costo total de las paradas producidas por mantenimiento correctivo. En el caso de las interrupciones de producción por mantenimiento cabe señalar que consideramos un porcentaje de eficacia del proyecto de un 50%; es decir este porcentaje representa la mínima proyección de reducción de pérdidas durante un año, de esta manera, con la implementación del laboratorio el costo (dólares) de paradas se reduce a la mitad como valor inicial. Este valor porcentual se incrementará con la aplicación del cronograma desarrollado en el capítulo 2, a

todo el conjunto de máquinas operativas de ERCO, debido a que los datos de los costos considerados en este apartado, únicamente abarcan a un pequeño grupo de las mismas.

3.3.2.3 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

Obtenidos los cálculos totales de implementación del proyecto en relación directa con el costo total de las paradas de producción, procedemos a determinar la factibilidad del proyecto mediante el siguiente cálculo:

$$factibilidad = \frac{inv}{cp}$$

$$factibilidad = \frac{25086,486}{26724,33}$$

$$factibilidad = 0,93$$

Donde:

Factibilidad	→	posibilidad de desarrollar el proyecto
inv	→	inversión para desarrollar el proyecto
cp	→	costo por paradas anuales

El valor encontrado en el cálculo nos muestra un resultado <1 en el caso de menor rendimiento, por lo tanto se llega a la conclusión que el proyecto es factible y el presente estudio puede ser desarrollado con normalidad.

3.4 PROPUESTA DE IMPLEMENTACION

3.4.1 INTRODUCCION

Como un complemento al trabajo realizado en esta tesis, se ha visto la posibilidad de implementar una empresa independiente de prestación de servicios de mantenimiento predictivo, ya que en la actualidad en el Austro del país no existe una empresa que ofrezca este tipo de servicio. Con la experiencia que tiene ERCO y realizando encuestas en otras empresas importantes del parque industrial, como son Cartopel, Graitman e Indurama se ha encontrado la apertura necesaria para usar este tipo de servicio, siempre y cuando se garantice el trabajo, con técnicos especializados, equipo de medición de alta tecnología y sobre todo que el costo del servicio sea accesible para la capacidad económica de la empresa contratante.

Una de las mayores ventajas que encontraremos en el mercado industrial de Cuenca, es el costo de viáticos, pues la empresa que ofrece el servicio para esta parte del país es la empresa “PREDICTIVA” de la ciudad de Quito, a la cual se le tiene que cancelar, el viaje de los técnicos y la estadía en la ciudad si se requiere de sus servicios por más de un día, incrementando el costo final del análisis; sumada a esto la ventaja de tener la empresa o el laboratorio cerca de las diferentes industrias hace que, cuando se requiera del servicio de forma puntual y rápida, se tenga una respuesta muy eficaz comparando con el actual servicio que se encuentra en otra ciudad.

La ubicación de la empresa será en el Parque industrial de Cuenca esto por efectos de publicidad en primera instancia y segundo para tener cerca a las potenciales industrias contratantes del servicio.

Para implementar esta nueva empresa comenzaremos analizando los diferentes costos que involucran otorgar un nuevo servicio en el campo industrial:

- COSTO DE INFRAESTRUCTURA
- COSTO DE LOS EQUIPOS
- COSTO DE OPERACIÓN

3.4.2 COSTO DE INFRAESTRUCTURA

La empresa o el laboratorio de mantenimiento predictivo, realiza en mayor porcentaje trabajo de campo, limitándose únicamente a procesar informes en oficina y un espacio pequeño para la ubicación del equipo para el análisis de aceite, por tal motivo no se requiere de una

infraestructura grande que amerite una construcción; se optará por alquilar un pequeño inmobiliario que cuente con los servicios básicos, disponga de una oficina principal, un baño y una oficina adicional que se sirva de laboratorio para pruebas de aceite.

Luego de buscar e investigar los costos de alquiler y de servicios básicos en el parque industrial de Cuenca se determinaron los siguientes valores, los mismos que se serán proyectados para un año para un posterior análisis; además en el anexo 1 se presenta un plano con la disposición de las oficinas para la empresa.

	MENSUAL	ANUAL
ALQUILER	100	1200
SER. BASICOS	100	1200
	TOTAL (USD) =	2400

Tabla # 35 Costo de alquiler y servicios básicos.

FUENTE: Los autores.

3.4.3 COSTO DE LOS EQUIPOS.

El detalle del costo de los equipos que se requieren para ofrecer el servicio de mantenimiento predictivo se presenta a continuación en la tabla # 36, ya que únicamente se enfocará en los tres campos de aplicación aquí estudiados.

EQUIPO	ESPECIFICACION	CANT	TOTAL
Cámara termográfica	\$ 4954.17	1	\$ 4954.17
Analizador de vibraciones	\$ 3990.00	1	\$ 3990.00
Analizador de aceites	\$ 5360.45	1	\$ 5360.45
Computador personal	\$ 960.00	1	\$ 960.00
		TOTAL =	\$ 15264.62

Tabla # 36 Costo total de los equipos requeridos.

FUENTE: Los autores.

3.4.4 COSTO DE OPERACIÓN.

Para determinar el costo de operación de los equipos se necesita hacer un análisis de los tres tipos requeridos, cabe acotar que los cálculos de depreciación así como de proyección se harán para dos años esto se debe a que la tecnología se encuentra modificándose constantemente y al cabo de estos años saldrán nuevos equipos que volverán obsoletos a los utilizados en este estudio. Además se incluirán para este cálculo los costos de infraestructura, costo de mano de obra y los costos de servicios básicos, con todos estos datos se calculará el costo del servicio de termografía, vibracional y de aceites con el que se ofertará a las industrias.

En primera instancia se aplica la siguiente fórmula para cada equipo:

$$Ceq. año = \frac{Ceq}{A} \quad \left(\frac{\$}{año} \right)$$

De donde:

Ceq. → Costo del equipo (\$)

A → Número de años (se consideran dos años)

C eq.año → Costo del equipo por año

Una vez que se obtiene el costo del equipo para cada año, se procede a calcular aproximadamente el número de días laborables del equipo en el año, de la siguiente manera:

$$Dlab. x mes = 20 \frac{días}{mes}$$

$$Dlab. x año = 12 meses x 20 \frac{días}{mes}$$

$$Dlab. x año = 240 días$$

De donde:

Dlab. x mes → Días laborables por mes

Dlab. x año → Días laborables por año

Esto significa que los técnicos laborarán aproximadamente 240 días en un año.

Con los datos obtenidos se procede a calcular el costo de los equipos por día, es decir cuánto cuesta el equipo por día durante los próximos dos años, aplicando la siguiente fórmula:

$$Cd.eq = \frac{Ceq.año}{Dlab.x año} \left(\frac{\$}{día} \right)$$

De donde:

$Cd.eq \rightarrow$ Costo diario del equipo.

En la tabla #37, se resume los tres cálculos anteriores para los todos los equipos a utilizar en la nueva empresa:

DETALLE	COST. EQUIPO	AÑOS	C. EQ/AÑO	D.LAB/EQ	COST.DIA/EQ
Cámara termográfica	\$ 4954.17	2	2477.17	240	10.32
Analizador de vibraciones	\$ 3990.00	2	1195.00	240	4.97
Analizador de aceites	\$ 5360.45	2	2680.22	240	11.16
Computador portatil	\$ 960.00	2	480.00	240	2.00
				TOTAL=	28.45

Tabla # 37 Costo diario de los equipos requeridos.

FUENTE: Los autores.

Ahora se calcula el costo de la mano de obra de los dos técnicos, sin considerar la capacitación de los equipos ya que al comprar los mismos éste servicio viene incluido, únicamente se considerará la capacitación por parte de un profesional en mantenimiento predictivo una sola vez en un año.

Así tenemos el siguiente cálculo con los datos de la tabla # 18 del capítulo 2 de mano de obra:

$$Csal.tec \times día = \frac{Csal.tec}{Dlab.xaño} \left(\frac{\$}{día} \right)$$

De donde:

$Csal.tec \times día \rightarrow$ Costo del salario del técnico por día

Csal.tec → Salario del técnico en el año

Dlab. x año → Días laborables por año.

El resumen de los cálculos se expresan en la siguiente tabla # 38:

TECNICO	SAL. AÑO	D.LAB.AÑO	C.SAL.TEC.DIA
Ing. Eléctrico	9600	240	40
Ing. Mecánico	9600	240	40

Tabla # 38 Costo de salarios por día de los técnicos.

FUENTE: Los autores.

Ahora calculamos los costos de servicios básicos y transporte por día, del mismo modo se incluirán los gastos de material de oficina para realizar reportes, tomamos en cuenta los datos de la tabla #35 y utilizamos la siguiente fórmula:

$$C.ser.bas. x día = \frac{Cser.bas x año + Cmat.of x año + C tran.x año}{Dlab.xaño}$$

De donde:

C.ser.bas. x día → Costo de servicios básicos por día

Cser.bas x año → Costo de servicios básicos por año

Cmat.of x año → Costo de material de oficina por año

Ctran x año → Costo de transporte por año.

SER. BAS /AÑO	MAT.OF /AÑO	C. TRAN /AÑO	SUB. TOTAL	DIAS LAB/AÑO	C. SER.BAS/DIA
2400	250	500	3150	240	13,13

Tabla # 39 Costo de servicios básicos por día.

FUENTE: Los autores.

En resumen el costo de operación de los equipos se calcula con los datos de las tablas # 37, 38, 39, para cada una de las aplicaciones que la nueva empresa ofrece, así tendremos tres cuadros que presentan variación en cuanto al precio final y a su vez si se contratara el servicio total vendría a resultar la sumatoria de los parciales, aplicamos la siguiente fórmula:

$$C.ser.esp = \frac{C.d.eq.es + C.sal.tec.d.esp + C.ser.bas.dia}{\# \text{ horas dia}}$$

De donde:

C.ser.esp → Costo del servicio específico (termografía, vibración o aceites)

C.d.eq.es → Costo diario de equipo específico

C.sal.tec. d. esp. → Costo salario de técnico por día específico

C.ser.bas.día → Costo de servicio básico por día.

C.d.eq.TERM.	C.sal.tec.TERM	C.ser.bas	# HORAS	COSTO FINAL
10.32	40	13,13	8	7,93

Tabla # 40 Costo del servicio de termografía.

FUENTE: Los autores.

C.d.eq.VIBR.	C.sal.tec.VIBR.	C.ser.bas	# HORAS	COSTO FINAL
4.97	40	13,13	8	7,26

Tabla # 41 Costo del servicio de análisis de vibración.

FUENTE: Los autores.

C.d.eq.ACEIT.	C.sal.tec.ACEIT.	C.ser.bas	# HORAS	COSTO FINAL
11.16	40	13,13	8	8.03

Tabla # 42 Costo del servicio de análisis de aceites.

FUENTE: Los autores.

C.d.eq.ACEIT.	C.sal.tec.ACEIT.	C.ser.bas	# HORAS	COSTO FINAL
2.00	40	13,13	8	6.89

Tabla # 43 Costo del servicio de computador portátil.

FUENTE: Los autores.

Luego de encontrados los valores parciales de los costos del servicio tanto para termografía, vibración y de análisis de aceites, se determina con una sumatoria el valor total que se cobrará por realizar un análisis predictivo completo a las industrias o personas naturales, de este modo presentamos la siguiente tabla:

C.d.eq.TOTAL.	C.sal.tec.TOTAL.	C.ser.bas	# HORAS	COSTO FINAL
30.11	80	13,13	8	15,4

Tabla # 44 Costo total del servicio de mantenimiento predictivo.

FUENTE: Los autores.

Como podemos ver hemos calculado el costo del servicio completo de revisión en mantenimiento predictivo, con este valor se ofertará el servicio a las industrias que deseen contratar a la nueva empresa. Dando opciones de contrataciones parciales, es decir si únicamente requieren uno u otro de los servicios indistintamente, ofreciendo un análisis técnico, equipo de alta tecnología y las recomendaciones para mitigar posibles problemas existentes.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.

- Se pudo cumplir con el objetivo general de realizar el estudio y la propuesta de un plan de mantenimiento predictivo aplicado a ERCO, utilizando las herramientas fundamentales como son: la termografía y los análisis tanto vibracional como de aceites, con lo que se reducirá en gran número, el mantenimiento correctivo de la empresa, y así, obtener mayores beneficios económicos.
- Los análisis eléctricos y mecánicos que se requieren realizar, constituyen una parte muy importante dentro del concepto de Gestión de Mantenimiento, en el diagnóstico de maquinaria de producción, ya que nos permite conocer con mayor detalle las características de funcionamiento ideal para cada una de ellas, de este modo se lograra, una optima conservación de todos los sistemas funcionales, tanto eléctricos como mecánicos en estudio.
- En el presente estudio se elaboró un plan de mantenimiento predictivo, basado en los datos estadísticos que se obtuvieron del Sistema Integrado de Manufactura (SIM) de ERCO, es por tal razón, que el proyecto esta enfocado netamente en analizar las paradas de producción mas representativas y su causa de origen; de esta forma, el cronograma desarrollado muestra únicamente las máquinas consideradas críticas para ERCO y no representa el total de maquinaria operativa existente.
- Se realizó un análisis minucioso de los diferentes tipos de equipos requeridos para mantenimiento predictivo, las principales características que se observaron fueron las técnicas, luego de esto, la normativa que empleaba cada tipo de equipo (para esta tesis utilizamos las normas ANSI/IEEE e INEN-NTE), y al final pero las más importantes fueron las económicas; esta importancia radica en la proyección que se le puede dar a la tesis, como una empresa externa a ERCO, para prestación de servicios de mantenimiento predictivo en todo el parque industrial del Austro y del país.

- Se cumplió el objetivo de analizar el costo beneficio de la aplicación del mantenimiento predictivo en la maquinaria de ERCO, logrando obtener una perspectiva del rendimiento que ofrece, el uso de las técnicas predictivas con relación al mantenimiento programado y correctivo que prevalecen actualmente en la empresa. Además se elaboró un estudio paralelo de la implementación de una empresa de prestación de servicios de mantenimiento predictivo, determinando los costos parciales y totales que ofrece, por su contratación; este análisis en particular se ejecutó realizando varias encuestas a las empresas interesadas o que actualmente emplean los servicios de mantenimiento predictivo de manera casual.

4.2 RECOMENDACIONES.

- Las técnicas utilizadas en este estudio predictivo: análisis termográfico, vibracional y de aceites, pueden ser extendidas para llevar a cabo la inspección de otros dispositivos o máquinas de la empresa como por ejemplo calderos, líneas de vapor, bandas, poleas, rodillos de transmisión, etc., en los cuales se produce disipación de calor y ruidos; con el propósito de aprovechar al cien por cien el equipo adquirido para el nuevo laboratorio.
- Se recomienda aplicar el cronograma desarrollado en esta tesis, a toda la maquinaria de ERCO, pues se cuenta con la cantidad suficiente de días laborables, distribuyendo adecuadamente los períodos de inspección, con la finalidad de lograr un monitoreo permanente, pero sin ocasionar paradas de producción innecesarias.
- Cuando se realicen capturas de imágenes termográficas, de espectros de vibración y se elaboren los respectivos ferrogramas en aceites, se recomienda llevar un registro absoluto, de todos estos datos, para conocer el rendimiento de las máquinas y equipos; y además poder planificar de mejor manera las intervenciones del personal de mantenimiento cuando el caso así lo amerite.

- Se deben ejecutar las acciones recomendadas en los informes de termogramas, ferrogramas y vibracional, utilizando el mejor criterio técnico y en coordinación estricta con los departamentos afectados del área de producción, pues existen casos, en los que se puede prolongar el tiempo de intervención y otros que por el contrario la no intervención a tiempo puede ocasionar fallas críticas en los sistemas tanto eléctricos como mecánicos.
- Para finalizar se recomienda que, una vez implementado el departamento de mantenimiento predictivo o laboratorio, este debe trabajar conjuntamente con la sección de bodega de repuestos, así de esta manera, se elaborarán historiales de máquinas, equipos, piezas y partes que con el pasar del tiempo, se tornarán en las estrictamente necesarias y por ende se mantendrán en stock, reduciendo elementos que existen actualmente y no han sido utilizados jamás por el departamento de mantenimiento de ERCO.

4.3 BIBLIOGRAFIA

- REY, Francisco, mantenimiento total de la producción, Fundación Confemetal, Madrid.
- OCAMPO, José Eliseo, Costos y Evaluación de Proyectos, 2^{da} Edición, Editorial Continental, Ciudad de México 2005.
- TORRES Huitzil, César, Análisis de Imágenes Infrarrojas, Instituto Nacional de Astrofísica; Óptica y Electrónica, Puebla, 1998.
- Kelly, A.; Harris, M.J. (1998). Gestión del mantenimiento industrial, Fundación REPSOL YPF, ISBN: 84-923506-0-1
- ORDÓÑEZ Guerrero Antonio, Universidad de Sevilla, Escuela Universitaria Politécnica, Virgen de África nº 7,41011 SEVILLA (ESPAÑA), pag. 5.
Disponible en www.us.es/mmindustrial.
- BARRON Ron, ENGINEERING CONDITION MONITORING, Practice, Methods and Applications, University of Strathclyde, Glasgow, Editorial LONGMAN, ISBN: 0-582-24656-3.
- www.abb.com
- www.ieee.org

- www.hipotronics.com
- www.ansi.com
- www.inen.gov.ec
- www.megger.com
- www.nema.org
- www.testequipmentconnection.com
- www.ingeman.net
- www.cmcm.com.mx
- www.alava-ing.es
- www.renovetec.com
- www.grupotam.com.mx
- www.cicloscombinados.com
- www.energia.com
- www.flir.com
- www.AzimaDLI.com
- www.vibratorsa.com
- www.prevention-world.com
- www.mpsysistemas.com
- www.widman.biz
- www.metas.com.mx
- www.mantenimientos.htm
- www.mantenimiento/mundial
- www.iso.ch

A continuación se detallan los anexos correspondientes a hojas de reportes para las tres actividades de mantenimiento predictivo desarrollados en la presente tesis; además se elaboran dos propuestas de infraestructura para la construcción del laboratorio, la primera dentro de la empresa en estudio “ERCO” y la segunda es una proyección para una empresa de prestación de servicios de mantenimiento predictivo independiente.

ANEXO “A”

**HOJAS DE REPORTE PARA:
TERMOGRAFIA, ANALISIS DE
VIBRACIONES Y DE ACEITES**

ERCO Continental Tire Andina		REVISION ANALISIS TERMOGRAFICO	Código: 651-090
			Fecha:
			Ficha:

Frecuencia: mensual

Realizado por:

Actividad N°

MAQUINA		MOTOR	REDUCTOR	TABLERO PRINCIPAL	EJES	MASA GIRATORIA	ACOMETIDAS	OTROS
---------	--	-------	----------	-------------------	------	----------------	------------	-------

MIXER # 1	T.N.							
	P.F.							
	P.C.							
CALANDRIA	T.N.							
	P.F.							
	P.C.							
EXPANDER # 9	T.N.							
	P.F.							
	P.C.							
STEELASTIC # 2	T.N.							
	P.F.							
	P.C.							
FSW400	T.N.							
	P.F.							
	P.C.							

Las revisiones y correcciones se realizarán de acuerdo con la especificación de la maquinaria

T.N. temperatura normal maquinaria

P.F. puntos frios

P.C. puntos calientes

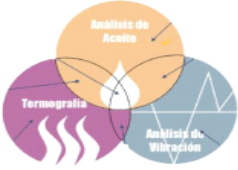
		ERCO CONTINENTAL TIRE ANDINA		
ANALISIS TERMOGRÁFICO				
FECHA:		Realizado por:		
MIXER # 1		Cargo:		
		TEMPERATURA °C	PUNTOS FRIOS	PUNTOS CALIENTES
MOTOR 2000HP	Caja de conexión			
	Masa			
	Acometida			
TORNILLO DE CAMARA				
MASA 20" GIRATORIA	Caja de conexión			
	Masa			
REDUCTOR DE MOTOR 2000HP		Caja de conexión		
TABLERO PRINCIPAL	Contactores			
	Bornes			
	Relés			
	Drives			
	PLC			
	Breakers			

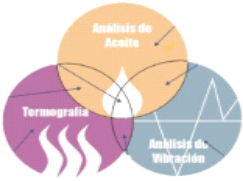
OBSERVACIONES:

		ERCO CONTINENTAL TIRE ANDINA		
ANALISIS TERMOGRÁFICO				
FECHA:		Realizado por:		
CALANDRIA		Cargo:		
		TEMPERATUR A °C	PUNTOS FRIOS	PUNTOS CALIENTES
MOTOR ALIMENTADOR 60HP	Caja de conexión			
	Masa			
	Acometida			
REDUCTOR DE MOTOR DE 60HP	Masa			
MOTOR DE MOLINO DE 500HP	Caja de conexión			
	Masa			
	Acometida			
REDUCTOR DE MOTOR DE 500HP	Masa			
MASA DE MOLINO DE 60"	Masa			
TABLERO DE CONTROL	Contactores			
	Bornes			
	Relés			
	Drives			
	PLC			
	Breakers			
OBSERVACIONES:				



OBSERVACIONES:

		ERCO CONTINENTAL TIRE ANDINA		
ANALISIS TERMOGRÁFICO				
FECHA:		Realizado por:		
STEELASTIC # 2		Cargo:		
		TEMPERATURA °C	PUNTOS FRIOS	PUNTOS CALIENTES
MOTOR EXTRUIDOR 75HP	Caja de conexión			
	Masa			
	Acometida			
EJE DE TAMBOR DE 20"	Eje			
REDUCTOR DE MOTOR DE 75HP	Masa			
TABLERO DE VARIADOR DE VELOCIDAD	Bornes			
	Relés			
	Breakers			
	Drive			
TABLERO PRINCIPAL	Contactores			
	Bornes			
	Relés			
	Drives			
	PLC			
	Breakers			
OBSERVACIONES:				

		ERCO CONTINENTAL TIRE ANDINA		
ANALISIS TERMOGRÁFICO				
FECHA:		Realizado por:		
EXPANDER # 9		Cargo:		
		TEMPERATURA °C	PUNTOS FRIOS	PUNTOS CALIENTES
MOTOR 2HP TRANSFER RING	Caja de conexión			
	Masa			
REDUCTOR TRANSFER RING				
MOTOR 5HP EXPANDER DRUM	Caja de conexión			
	Masa			
MOTOR 5HP DE B&T DRUM	Caja de conexión			
	Masa			
TABLERO PRINCIPAL	Contactores			
	Bornes			
	Relés			
	Drives			
	PLC			
	Breakers			

OBSERVACIONES:

ERCO Continental Tire Andina		REVISION Y ANALISIS DE ACEITES		Código: 651-080
				Fecha:
				Ficha:

Frecuencia: mensual

Realizado por:

Actividad N°

MAQUINA		MOTOR		REDUCTOR		MASA GIRATORIA		Observaciones Especificas
		V.E.	V.M	V.E.	V.M	V.E.	V.M	
MIXER # 1	Cavitación							
	Viscosidad							
	Desgaste por fatiga							
CALANDRIA	Cavitación							
	Viscosidad							
	Desgaste por fatiga							
EXPANDER # 9	Cavitación							
	Viscosidad							
	Desgaste por fatiga							
STEELASTIC # 2	Cavitación							
	Viscosidad							
	Desgaste por fatiga							
FSW400	Cavitación							
	Viscosidad							
	Desgaste por fatiga							

OBSERVACIONES:

ANEXO “B”

**PLANOS PARA OFICINAS: INTERNA DE ERCO Y DE EMPRESA
INDEPENDIENTE.**

