



CLIENTE:
AERONAUTICA CIVIL

PROYECTO:
INFORME DE MEDICIONES TÉRMICAS Y
MEDICIONES DE VIBRACIONES EN MOTORES SEW Y
REDUCTORES



INFORME ISP: 0926



<https://ingserpro.wixsite.com/ingserpro>

BQ, lunes, 22 de julio de 2024

INFORME ISP:0926

Señores:

AERONAUTICA CIVIL

Yasset Alfonso Vejar Uribe

TÉCNICO AERONAUTICO ATSEP IV GRADO 11

GRUPO DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN AÉREA

BARRANQUILLA

Asunto: **INFORME DE MEDICIONES TÉRMICAS Y
MEDICIONES DE VIBRACIONES EN MOTORES
SEW Y REDUCTORES**

Cordial Saludo:

El alcance del informe se basa en las situaciones encontradas en sitio y las acciones correctivas tomadas sea por garantía o por malos manejos de equipos, el reporte indicará cuál es la situación encontrada al momento de la inspección.

Quedamos a su entera disposición para cualquier aclaración que estimen pertinente y nos suscribimos.

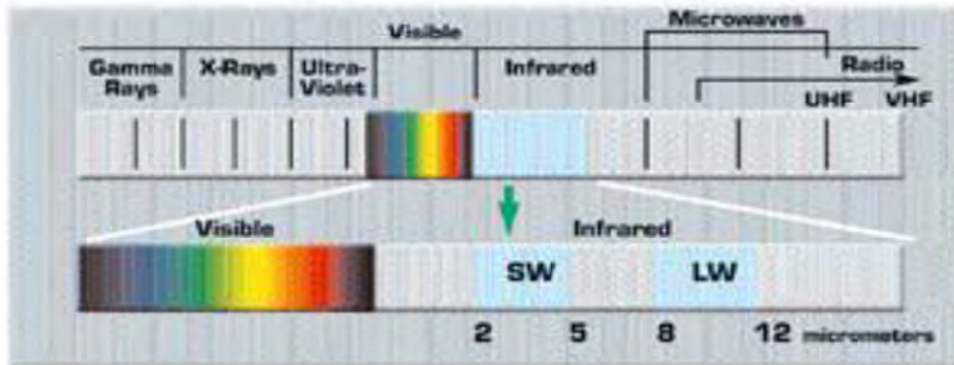
Atentamente,

ING. JESIDT PIZARRO VALENCIA
Desarrollador de Negocios.
JESIDT.PIZARRO@INGSERPRO.COM
Cel: 3177492619



UN POCO DE TEORÍA SOBRE LA TERMOGRAFÍA

Nuestros ojos son sensores diseñados para detectar luz visible (o radiación visible). Existen otras formas de luz (o radiación) que no podemos ver. El ojo humano sólo puede ver una pequeña parte del espectro electromagnético. En uno de los extremos del espectro no podemos ver la luz ultravioleta, mientras que en el otro nuestros ojos no pueden ver la infrarroja.

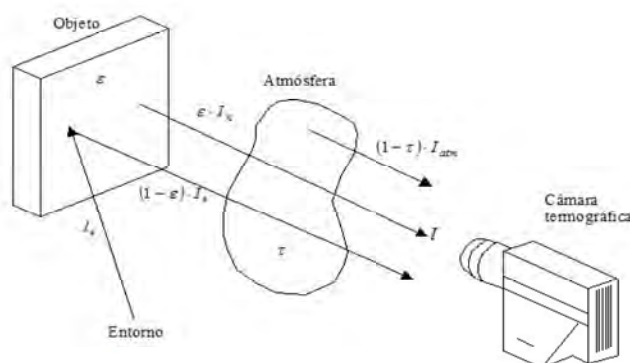


Las radiaciones infrarrojas se encuentran entre las zonas visibles e invisibles del espectro electromagnético. La principal fuente de radiación infrarroja es el calor o radiación térmica. Cualquier objeto que tenga una temperatura por encima del cero absoluto ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ó 0 K) emite una radiación en la zona de infrarrojos. Incluso aquellos objetos que pensamos pudieran estar muy fríos como el hielo, emiten radiación. Estamos expuestos a la radiación infrarroja cada día. El calor que sentimos del sol, de un fuego o de un radiador también es infrarrojo. Aunque nuestros ojos no pueden verlo, los nervios de nuestra piel pueden sentirlos como calor. Cuanto más caliente esté el objeto, mayor cantidad de radiación infrarroja emitirá.

Al situar la cámara termográfica delante de un objeto cuya temperatura superficial se desea conocer, la cámara recibe energía infrarroja que es la suma de tres componentes:

- * La energía infrarroja, I , procedente de un objeto
- * La energía reflejada por dicho objeto, $(1-\epsilon) I_e$ del entorno
- * La energía emitida por el ambiente, $(1-t) I_{atm}$.

La energía total es recibida por la cámara termográfica a través de un conjunto de lentes sobre un detector de infrarrojos. El detector envía la información a la electrónica del sensor para procesar la imagen. La electrónica convierte los datos provenientes del detector en una imagen que puede ser vista en el visor integrado, en un monitor de vídeo estándar o en una pantalla LCD.



QUÉ ES TERMOGRAFÍA Y POR QUÉ USARLA

La termografía es una tecnología, que no necesita de contacto, que se basa en la medida de longitudes de onda infrarrojas para determinar temperaturas desde una distancia segura. Una cámara termográfica proporciona una imagen que utiliza distintos colores para representar las diferentes temperaturas. Esta imagen acelera la comprobación visual de las temperaturas de superficie e identifica los puntos calientes. Los puntos calientes o los aumentos de la temperatura normalmente indican un fallo inminente.

Las cámaras termográficas radiométricas captan y almacenan datos de la temperatura de los miles de puntos que componen la imagen térmica. Esto posibilita la realización de análisis detallados y el cambio en los parámetros clave como la emisividad o el rango de temperatura, ya sea en campo, en la misma cámara o en la oficina con el software para PC.

Hasta hace muy poco tiempo, la termografía era una técnica compleja y cara, sólo al alcance de determinados sectores. Afortunadamente, los recientes avances en tecnología no sólo han reducido el coste de las cámaras termográficas sino que también han simplificado su utilización.

La gran mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial - ya sea de tipo mecánico, eléctrico y de fabricación - están precedidos por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistema de Termovisión por Infrarrojos. La implementación de programas de inspecciones termográficas como mantenimiento predictivo en instalaciones, maquinaria, cuadros eléctricos, etc es posible minimizar el riesgo de un fallo de equipos y sus consecuencias, a la vez que también ofrece una herramienta para el control de calidad de las reparaciones efectuadas.

Con el uso de la termografía se consiguen las siguientes ventajas:

- * Método de análisis sin detención de procesos productivos, ahorra gastos.
- * Baja peligrosidad para el operario por evitar la necesidad de contacto con el equipo.
- * Determinación exacta de puntos deficientes en una línea de proceso.
- * Reduce el tiempo de reparación por la localización precisa del fallo.
- * Facilita informes muy precisos al personal de mantenimiento.
- * Ayuda al seguimiento de las reparaciones previas.
- * Protección contra los inconvenientes producidos por el fallo inesperado de algún elemento, al detectarlo antes de que se produzca.

APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA

1. Detección de conexiones eléctricas sueltas o con corrosión.

Cuando una conexión está suelta o tiene algún tipo de corrosión, su resistencia aumenta y dado que al aumentar la resistencia también aumenta la caída de tensión y se genera un aumento del calor, podemos detectar un fallo antes de que se produzca una avería utilizando una cámara termográfica.

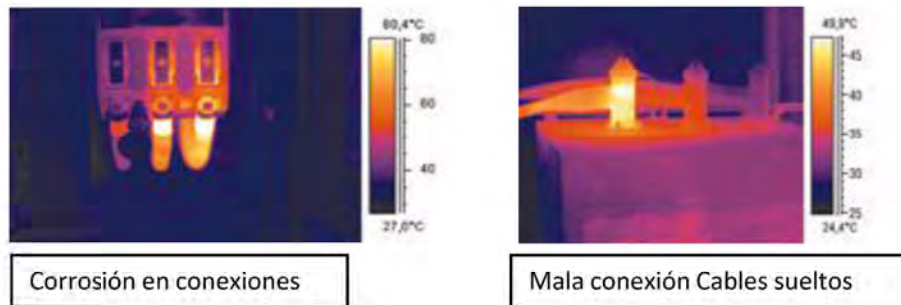
Con esta técnica, nos centraremos en el uso de la termografía para la detección y solución de deterioros en conexiones de sistemas eléctricos que se hayan aflojado, apretado en exceso o con corrosión mediante la comparación de temperaturas de las conexiones de cuadros eléctricos.

A la hora de buscar lo que habrá que buscar será básicamente temperaturas superiores a las demás, ya que las conexiones sobrecalentadas, por estar sueltas o por la corrosión puede resultar en un fallo en el sistema y debería por lo tanto corregirse.

De acuerdo con las especificaciones de la NETA (International Electrical Testing Association), si la diferencia de temperatura entre componentes similares bajo cargas similares supera los

15°C, deben llevarse a cabo reparaciones de forma inmediata. Asimismo, esta asociación recomienda que se lleva a cabo la misma medida cuando la diferencia de temperatura de un componente y del aire supere los 40°C.

Una vez detectada una conexión sobrecalentada, éstas deberían desmontarse, limpiarse, repararse y volverlas a ajustar.



2. Detección de desequilibrios y sobrecargas eléctricas.

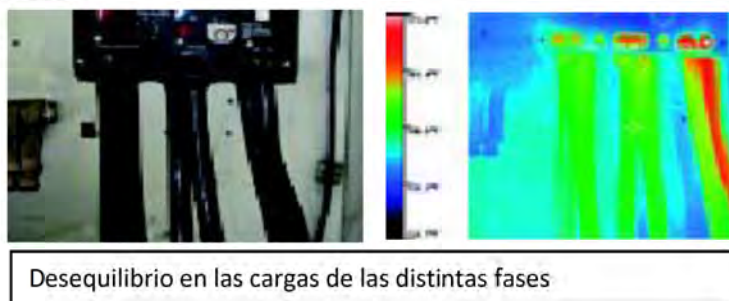
Un desequilibrio puede deberse a varias razones: un problema de alimentación, baja tensión en una fase o una ruptura de la resistencia del aislamiento de las bobinas del motor. Esto hace que los motores y otras cargas requieran más corriente, dispongan de un par más bajo (con el esfuerzo mecánico asociado) y se estropeen antes.

Para detectar éstas sobrecargas, en el caso de que se produzca un desequilibrio en la carga, las fases con la mayor carga tendrán mayores temperaturas debido al exceso de calor generado. En cualquier caso, habría que realizar la medida de la carga eléctrica para corroborar el diagnóstico del problema.

De acuerdo con las especificaciones de la NETA (International Electrical Testing Association), si la diferencia de temperatura entre componentes similares bajo cargas similares supera los 15°C, deben llevarse a cabo reparaciones de forma inmediata. Asimismo, esta asociación recomienda que se lleva a cabo la misma medida cuando la diferencia de temperatura de un componente y del aire supere los 40°C.

Cuando una imagen térmica muestra que un conductor tiene una temperatura mayor que los otros componentes de un circuito, puede ser un indicio de que el conductor está mal dimensionado (por defecto) o sobrecargado. Hay que tener en cuenta que ni el circuito de alimentación ni los subcircuitos deben cargarse hasta el límite máximo permitido.

La solución más habitual para eliminar la sobrecarga es la redistribución de cargas o distribuirlos sobre la marcha durante el proceso.



3. Inspección de motores eléctricos.

Las imágenes térmicas de los motores eléctricos muestran sus condiciones de funcionamiento a través de la temperatura de superficie.

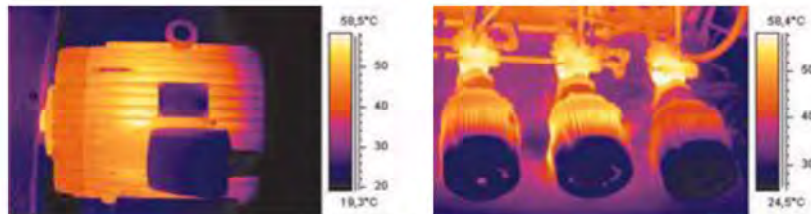
Lo ideal sería realizar comprobaciones de los motores cuando estuvieran trabajando bajo condiciones normales de funcionamiento.

A diferencia de los termómetros por infrarrojos que sólo pueden capturar temperaturas en un único punto, una cámara termográfica puede capturar al mismo tiempo temperaturas de miles de puntos de todos los componentes principales: el motor, el acoplamiento del eje, los rodamientos del motor y del eje y cuadro de control/conexiones.

La mayoría de los motores están diseñados para funcionar a una temperatura que no supere nunca los 40°C. En general, un aumento de 10°C sobre la temperatura indicada reduce a la mitad la vida útil del motor.

Mediante una primera imagen térmica, se puede comprobar esto último así como ésta puede indicar si un motor está trabajando a una temperatura superior a la de un motor similar que esté realizando la misma acción.

Un sobrecalentamiento en un motor puede deberse a: flujo de aire insuficiente, desequilibrio de tensión de sobrecarga, fallo inminente de un rodamiento, fallo del aislamiento, mala alineación del eje, ...



Desequilibrio en las cargas de las distintas fases

ALCANCE DEL ESTUDIO

Por lo general el análisis se realiza de las instalaciones eléctricas que el cliente nos solicite centrándose en :

- * Detección de fallos en las conexiones.
- * Detección de desequilibrios en las fases.
- * Detección de sobrecargas en líneas.
- * Detección de problemas en protecciones.
- * Sobre calentamiento en los sistemas

CONCLUSIONES

Recapitulando, se puede decir que el análisis termográfico es una herramienta fundamental en el mantenimiento predictivo de las instalaciones industriales ya que nos permite adelantarnos a los posibles fallos que puedan dar las instalaciones basándose en la medida de longitudes de onda infrarrojas que emiten los dispositivos en funcionamiento, siendo éstas capturadas mediante el uso de la cámara termográfica.

Con esta predicción de los posibles fallos el cliente puede ahorrarse los costes que éstos pueden suponer, tanto en reposición de materiales, en pérdida de beneficios por periodos de inactividad, en mano de obra de técnicos cualificados para realizar la reparación, etc...

Vista la conveniencia del uso de este tipo de análisis en todo tipo de instalaciones, en INGSERPRO SAS, nos presentamos como empresa cualificada para realizar este tipo de análisis, al disponer tanto de personal altamente cualificado para su realización, así como de todas las herramientas necesarias para su elaboración. Si esto se añade a la alta profesionalidad y buen hacer del conjunto de la empresa, de los importantes clientes que nos avalan, de nuestra gran seriedad y de

la enorme motivación que nos supone el trabajo bien hecho, esto hace que seamos la empresa ideal para llevar a cabo los Análisis Termográficos de sus instalaciones.

ANÁLISIS TERMOGRÁFICO.

OBJETIVO

El objetivo de este documento es el de plasmar los resultados del análisis termográfico realizado en la fecha 15 de julio de 2024 a las instalaciones de AERONAUTICA CIVIL. sitas en LA ESTACIÓN DE TUBARÁ, con el fin de determinar los puntos calientes que puedan existir en estas instalaciones de modo que se puedan predecir los posibles fallos futuros evitando los costes materiales y humanos que puedan conllevar. Este análisis se basa en la medida de longitudes de onda infrarrojas para determinar temperaturas desde una distancia segura mediante el uso de una cámara termográfica.

EQUIPO PARA EL ANÁLISIS

Para realizar los estudios se utilizará básicamente una cámara de infrarrojos Marca FLIR modelo E75-24, cuyas especificaciones son las siguientes:

Térmico

- * Rango de temperaturas: -20°C to 120°C (-4°F to 248°F) 0°C to 650°C (32°F to 1200°F) Optional 300°C to 1000°C (572°F to 1830°F)
- * Tipo de detector: matriz plana focal (FPA) del elemento térmico de 80x60.
- * Precisión: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ o 2% (lo que sea mayor)
- * Repetibilidad: $\pm 1\%$ o $\pm 1^{\circ}\text{C}$, lo que sea mayor
- * DTER (sensibilidad térmica): 200mK
- * Indicación de temperatura: $0,1^{\circ}\text{C}$

Óptica

- * Campo Visual (CV): rectangular. 20° horizontal x 15° vertical
- * Diámetro mínimo: 8,1 mm a 61 cm
- * Resolución Óptica (D:S): 75:1 o superior
- * Intervalo espectral: 7,5 a 14 micrones
- * Vista Objetivo: láser sencillo

Controles

- * Foco: 61 cm al infinito
- * Paletas: gris, arco iris, hierro, gris inverso
- * Modos de medición: automático o manual
- * Luz de fondo de la LCD: brillante/tenue seleccionables

Operativa

- * Emisividad Ajustable: 0,1 a 1,00 en incrementos de 0,01
- * Temperatura en segundo plano reflejada: -50°C a 905°C
- * Temperatura de funcionamiento ambiente: 0°C a 50°C
- * Humedad Relativa: 10 al 90% sin condensar

CRITERIOS SEGUIDOS

Para la determinación del posible malfuncionamiento siempre aplicaremos el criterio especificado por la NETA (International Electrical Testing Association), es decir, si la diferencia de temperatura entre componentes similares bajo cargas similares supera los 15°C , se detectará una posible futura avería.

Si la comparación no fuera posible, esta asociación recomienda que se determine lo mismo

cuando la diferencia de temperatura de un componente y del aire supere los 40°C. En función de estas diferencias de temperaturas se clasificará la posible futura avería y se determinará la actuación a realizar y su urgencia, realizando las oportunas recomendaciones.

Esta clasificación es:

Nivel	Diferencia Temperaturas Puntos Similares $DIF_{SIM} = T_{PC} - T_{REF}$	Diferencia Temperatura Ambiente $DIF_{AMB} = T_{PC} - T_{AMB}$	Clasificación	Acción
1	$1^{\circ}\text{C} \leq DIF_{SIM} < 4^{\circ}\text{C}$	$1^{\circ}\text{C} \leq DIF_{AMB} < 11^{\circ}\text{C}$	Posible Deficiencia	Se requiere más información.
2	$4^{\circ}\text{C} \leq DIF_{SIM} < 15^{\circ}\text{C}$	$11^{\circ}\text{C} \leq DIF_{AMB} < 21^{\circ}\text{C}$	Probable Deficiencia	Reparar en la próxima parada disponible.
3	$15^{\circ}\text{C} \leq DIF_{SIM}$	$21^{\circ}\text{C} \leq DIF_{AMB} < 40^{\circ}\text{C}$	Deficiencia	Reparar tan pronto como sea posible.
4	$15^{\circ}\text{C} \leq DIF_{SIM}$	$40^{\circ}\text{C} \leq DIF_{AMB}$	Deficiencia Mayor	REPARAR INMEDIATAMENTE

Donde:

TPC: temperatura punto caliente.

TAMB: temperatura ambiente.

TREF: temperatura punto de referencia de otro componente similar bajo cargas similares.

DIFSIM: diferencia temperatura punto caliente con temperatura con punto similar.

DIFAMB: diferencia temperatura punto caliente con temperatura ambiente.

ALCANCE

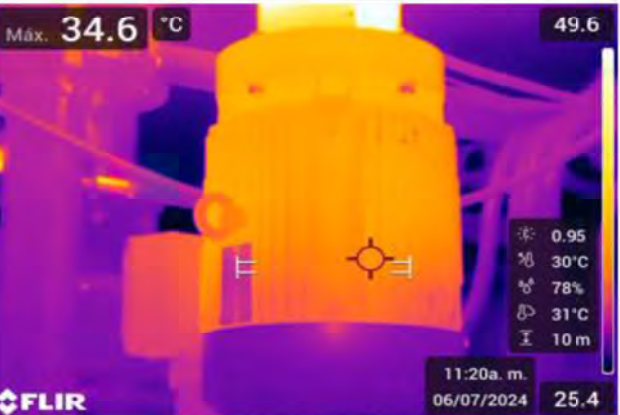
El alcance del análisis, siguiendo los criterios antes especificados, se centrará principalmente en:

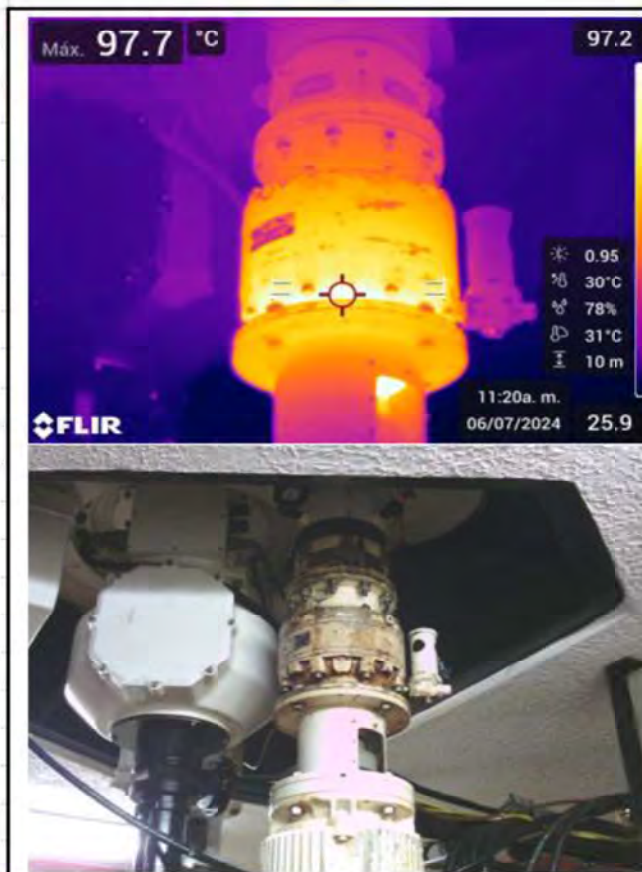
- * Detección de fallos en las conexiones.
- * Detección de desequilibrios en las fases.
- * Detección de sobrecargas en líneas.
- * Detección de problemas en protecciones.

Este análisis se realizará de las siguientes instalaciones:

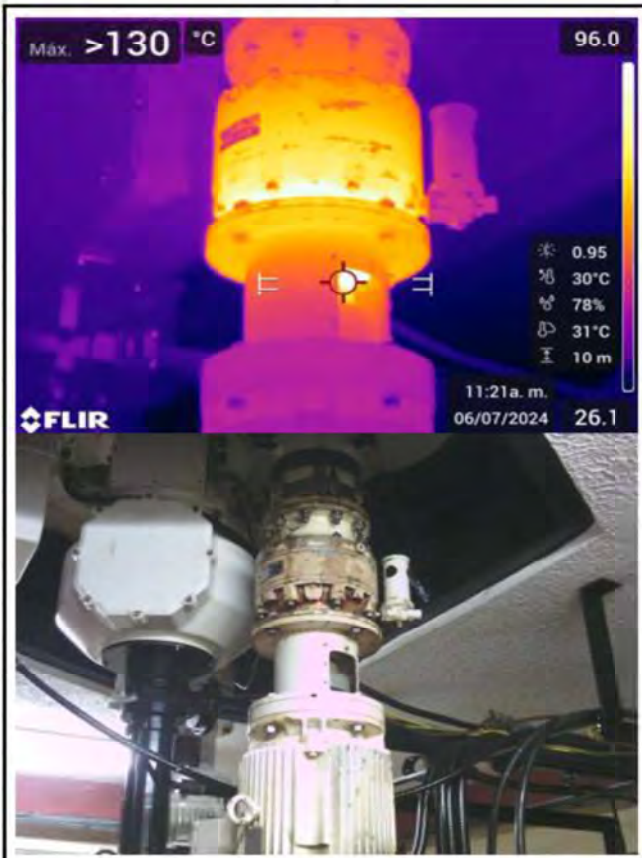
- * Motores que accionan el giro del radar de AERONAUTICA CIVIL ubicado en La sede de Tubará

MEDICIONES

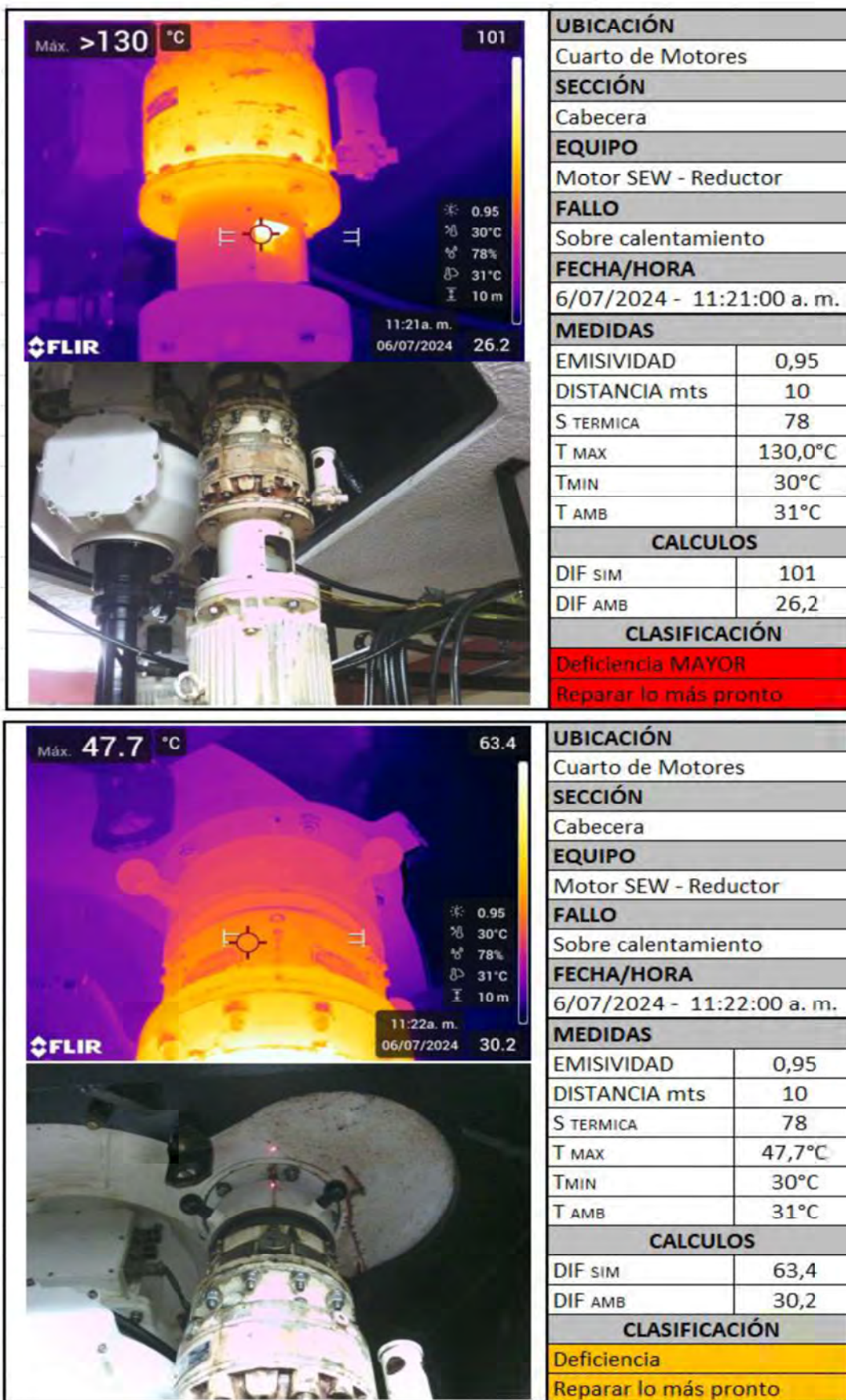
		UBICACIÓN Cuarto de Motores
		SECCIÓN Cabecera
		EQUIPO Motor SEW - Reductor
		FALLO Sobre calentamiento
		FECHA/HORA 6/07/2024 - 11:20:00 a. m.
		MEDIDAS
		EMISIVIDAD 0,95 DISTANCIA mts 10 S TERMICA 78 T MAX 85,3°C TMIN 30°C T AMB 31°C
		CALCULOS
		DIF SIM 104 DIF AMB 25,7
		CLASIFICACIÓN Deficiencia Reparar lo más pronto
		UBICACIÓN Cuarto de Motores
		SECCIÓN Cabecera
		EQUIPO Motor SEW - Reductor
		FALLO Sobre calentamiento
		FECHA/HORA 6/07/2024 - 11:20:00 a. m.
		MEDIDAS
		EMISIVIDAD 0,95 DISTANCIA mts 10 S TERMICA 78 T MAX 34,6°C TMIN 30°C T AMB 31°C
		CALCULOS
		DIF SIM 49,6 DIF AMB 25,4
		CLASIFICACIÓN Deficiencia Reparar lo más pronto

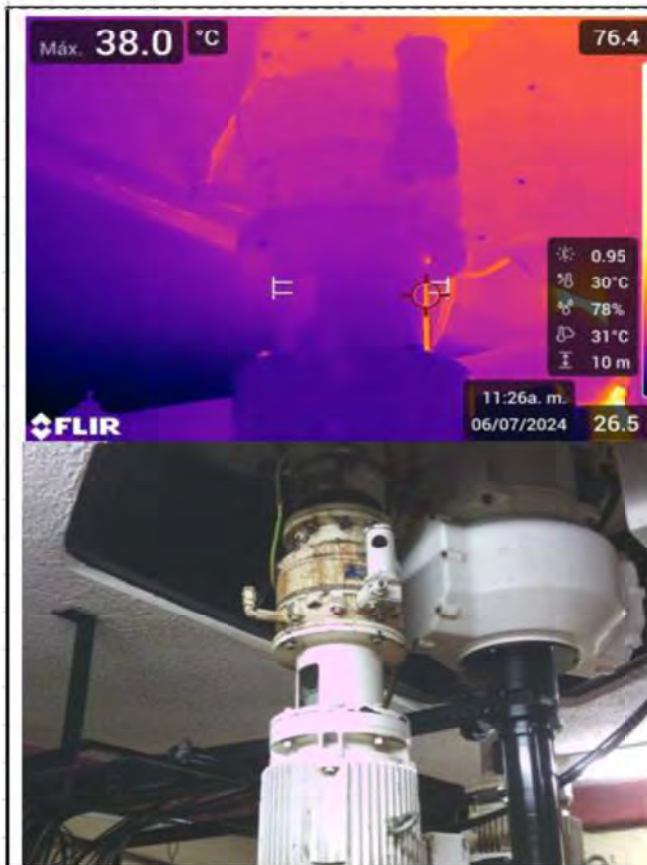


UBICACIÓN	
Cuarto de Motores	
SECCIÓN	
Cabecera	
EQUIPO	
Motor SEW - Reductor	
FALLO	
Sobre calentamiento	
FECHA/HORA	
6/07/2024 - 11:20:00 a. m.	
MEDIDAS	
EMISIVIDAD	0,95
DISTANCIA mts	10
S TERMICA	78
T MAX	97,7°C
T MIN	30°C
T AMB	31°C
CALCULOS	
DIF SIM	97,2
DIF AMB	25,9
CLASIFICACIÓN	
Deficiencia	
Reparar lo más pronto	

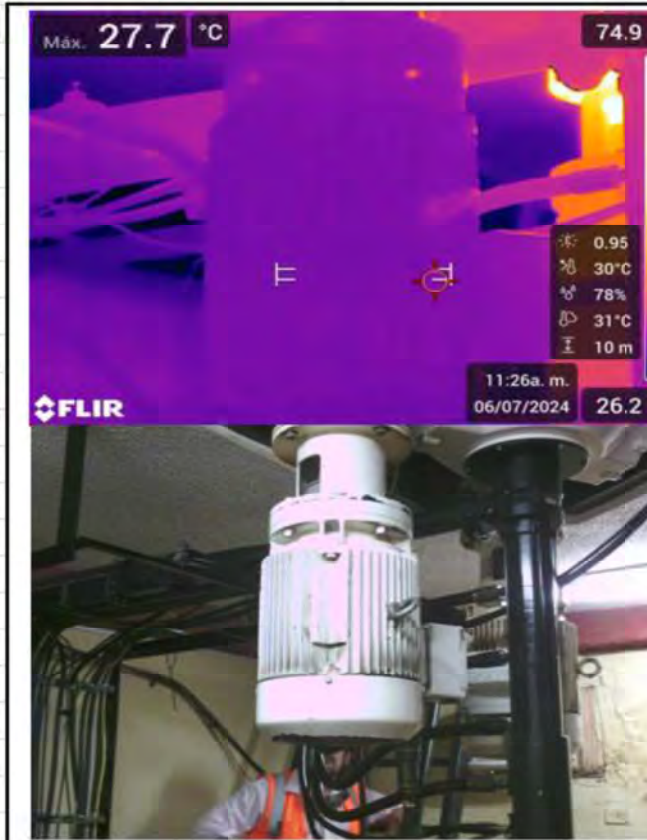


UBICACIÓN	
Cuarto de Motores	
SECCIÓN	
Cabecera	
EQUIPO	
Motor SEW - Reductor	
FALLO	
Sobre calentamiento	
FECHA/HORA	
6/07/2024 - 11:21:00 a. m.	
MEDIDAS	
EMISIVIDAD	0,95
DISTANCIA mts	10
S TERMICA	78
T MAX	130,0°C
T MIN	30°C
T AMB	31°C
CALCULOS	
DIF SIM	96
DIF AMB	26,1
CLASIFICACIÓN	
Deficiencia MAYOR	
Reparar lo más pronto	





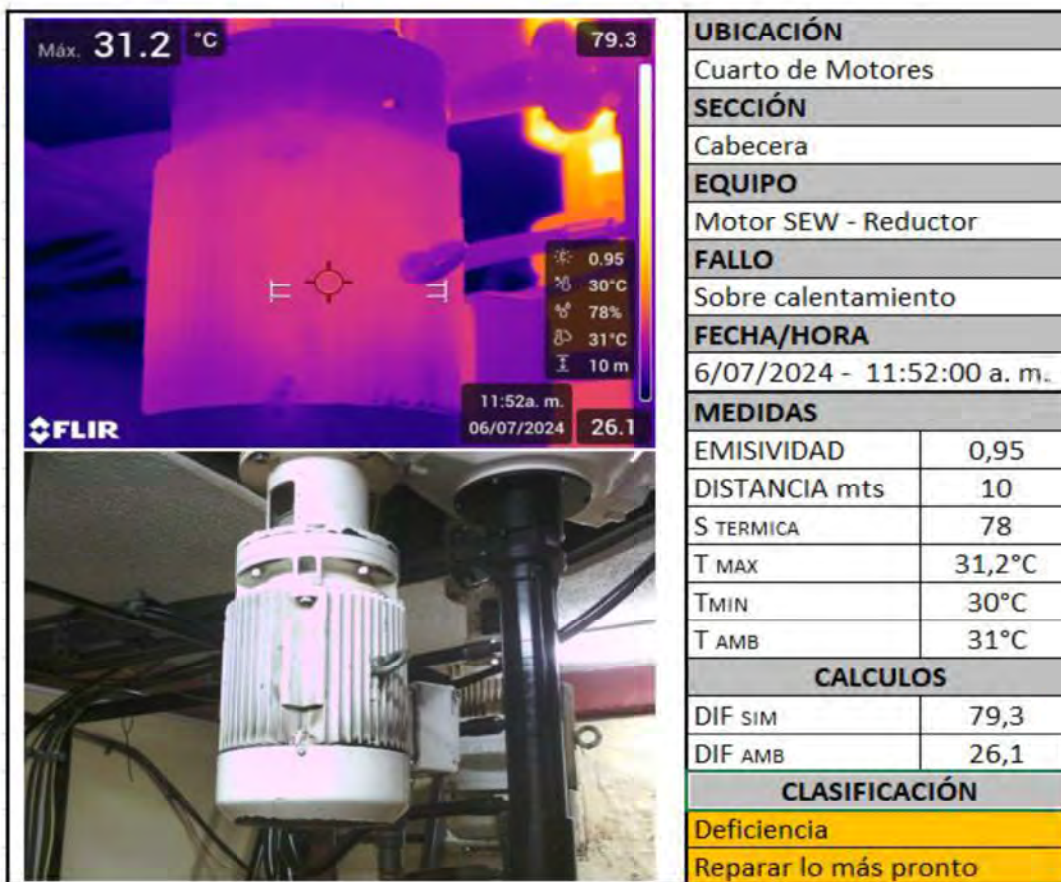
UBICACIÓN	
Cuarto de Motores	
SECCIÓN	
Cabecera	
EQUIPO	
Motor SEW - Reductor	
FALLO	
Sobre calentamiento	
FECHA/HORA	
6/07/2024 - 11:26:00 a. m.	
MEDIDAS	
EMISIVIDAD	0,95
DISTANCIA mts	10
S TERMICA	78
T MAX	38,0°C
T MIN	30°C
T AMB	31°C
CALCULOS	
DIF SIM	76,4
DIF AMB	26,5
5	
Deficiencia	
Reparar lo más pronto	



UBICACIÓN	
Cuarto de Motores	
SECCIÓN	
Cabecera	
EQUIPO	
Motor SEW - Reductor	
FALLO	
Sobre calentamiento	
FECHA/HORA	
6/07/2024 - 11:26:00 a. m.	
MEDIDAS	
EMISIVIDAD	0,95
DISTANCIA mts	10
S TERMICA	78
T MAX	27,7°C
T MIN	30°C
T AMB	31°C
CALCULOS	
DIF SIM	74,9
DIF AMB	26
2	
Deficiencia	
Reparar lo más pronto	

	UBICACIÓN												
	Cuarto de Motores												
	SECCIÓN												
	Cabecera												
	EQUIPO												
	Motor SEW - Reductor												
	FALLO												
	Sobre calentamiento												
	FECHA/HORA												
	6/07/2024 - 11:51:00 a. m.												
	MEDIDAS												
	<table border="1"> <tr><td>EMISIVIDAD</td><td>0,95</td></tr> <tr><td>DISTANCIA mts</td><td>10</td></tr> <tr><td>S TERMICA</td><td>78</td></tr> <tr><td>T MAX</td><td>35,8°C</td></tr> <tr><td>TMIN</td><td>30°C</td></tr> <tr><td>T AMB</td><td>31°C</td></tr> </table>	EMISIVIDAD	0,95	DISTANCIA mts	10	S TERMICA	78	T MAX	35,8°C	TMIN	30°C	T AMB	31°C
EMISIVIDAD	0,95												
DISTANCIA mts	10												
S TERMICA	78												
T MAX	35,8°C												
TMIN	30°C												
T AMB	31°C												
	CALCULOS												
	<table border="1"> <tr><td>DIF SIM</td><td>78,5</td></tr> <tr><td>DIF AMB</td><td>26,3</td></tr> </table>	DIF SIM	78,5	DIF AMB	26,3								
DIF SIM	78,5												
DIF AMB	26,3												
	CLASIFICACIÓN												
	Deficiencia												
	Reparar lo más pronto												

	UBICACIÓN												
	Cuarto de Motores												
	SECCIÓN												
	Cabecera												
	EQUIPO												
	Motor SEW - Reductor												
	FALLO												
	Sobre calentamiento												
	FECHA/HORA												
	6/07/2024 - 11:52:00 a. m.												
	MEDIDAS												
	<table border="1"> <tr><td>EMISIVIDAD</td><td>0,95</td></tr> <tr><td>DISTANCIA mts</td><td>10</td></tr> <tr><td>S TERMICA</td><td>78</td></tr> <tr><td>T MAX</td><td>53,7°C</td></tr> <tr><td>TMIN</td><td>30°C</td></tr> <tr><td>T AMB</td><td>31°C</td></tr> </table>	EMISIVIDAD	0,95	DISTANCIA mts	10	S TERMICA	78	T MAX	53,7°C	TMIN	30°C	T AMB	31°C
EMISIVIDAD	0,95												
DISTANCIA mts	10												
S TERMICA	78												
T MAX	53,7°C												
TMIN	30°C												
T AMB	31°C												
	CALCULOS												
	<table border="1"> <tr><td>DIF SIM</td><td>57,5</td></tr> <tr><td>DIF AMB</td><td>26,7</td></tr> </table>	DIF SIM	57,5	DIF AMB	26,7								
DIF SIM	57,5												
DIF AMB	26,7												
	CLASIFICACIÓN												
	Deficiencia												
	Reparar lo más pronto												



RECOMENDACIONES

SE DETECTAN TEMPERATURAS ELEVADAS EN LOS ACOPLES DE LOS MOTORES A LOS REDUCTORES

SE DETECTAN TEMPERATURAS ACEPTABLES EN LOS MOTORES EN SU FUNCIONAMIENTO.

REALIZAR DE **MANERA URGENTE LA REVISIÓN DE AMBAS REDUCCIONES** PARA HACER CAMBIO DE RODAMIENTOS, RETENEDORES Y BUJES; PARA EVITAR UNA FALLA INMINENTE

REALIZAR **MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN MOTORES**, RETORQUEO DE BORNAS, REVISIÓN DE RODAMIENTOS Y BUJES

ESTE INFORME ES VÁLIDO ÚNICAMENTE PARA EL MOMENTO Y LAS CONDICIONES PRESENTES EN LA INSPECCIÓN. PROPIEDAD DE INGSEPRO SAS. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACIÓN POR ESCRITO DEL PROPIETARIO INTELECTUAL.

UN POCO DE TEORÍA SOBRE LAS VIBRACIONES

El análisis de vibraciones en motores asíncronos trifásicos, es un método para diagnosticar las fallas en los componentes en máquinas, y que forma parte del mantenimiento predictivo.

Todas las máquinas eléctricas vibran debido al movimiento rotacional de su eje y a la tolerancia que existe entre sus componentes. Estas vibraciones deben de estar con una magnitud aceptable y constante, pero debido al deterioro de estos componentes la magnitud de la vibración aumenta con el tiempo y los componentes de la máquina deben de ser reemplazados antes de que ocurra la destrucción total del componente y con ello el paro total o parcial de una línea de producción.

Debido a que cada componente de la máquina produce vibraciones con una determinada frecuencia, se puede hacer un diagnóstico de las vibraciones en la máquina para determinar el componente defectuoso, analizando la magnitud de la vibración y predecir si un componente se encuentra a punto de sufrir una falla catastrófica.

Este informe presenta las frecuencias características de cada componente de la máquina asíncrona, las causas que originan las vibraciones, así también como los instrumentos que podemos utilizar para poder hacer las mediciones de las vibraciones y cómo implementar el análisis de vibraciones en el mantenimiento predictivo

VIBRACIONES EN MOTORES ASÍNCRONOS

Para el análisis de las vibraciones en los motores eléctricos trifásicos, se debe tomar en cuenta que debido a las tolerancias que existen en los componentes de la máquina, siempre existirán vibraciones. Las razones por las que las vibraciones aumenten de magnitud, se debe a componentes defectuosos que se describen a continuación.

1. Vibración producida por desbalances

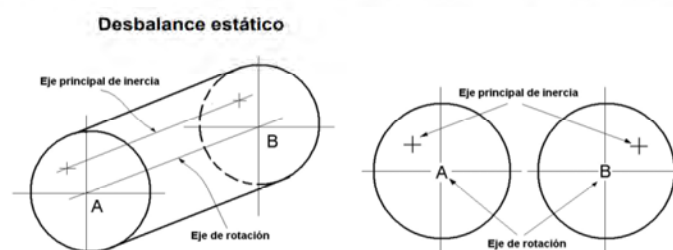
Los desbalances en el rotor de un motor eléctrico es una de las fuentes más comunes de vibraciones. El desbalance siempre se encuentra presente, y puede clasificarse de acuerdo a su origen como.

- Desbalance estático. / • Desbalance par. / • Desbalance dinámico.

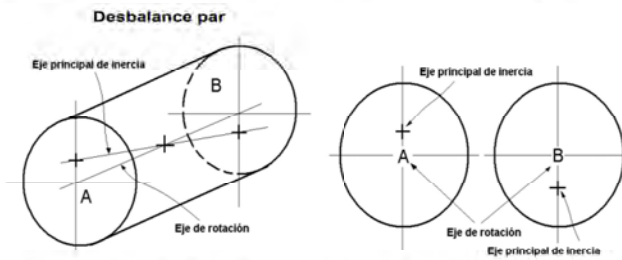
El desbalance en el rotor de un motor asíncrono trifásico, ocasiona que aparezcan fuerzas centrífugas sobre el rotor. Estas fuerzas producirán vibraciones que se transmitirán a los cojinetes y chumaceras

El desbalance estático se define como el eje longitudinal principal de inercia del rotor está desplazado paralelamente con respecto al eje de rotación.

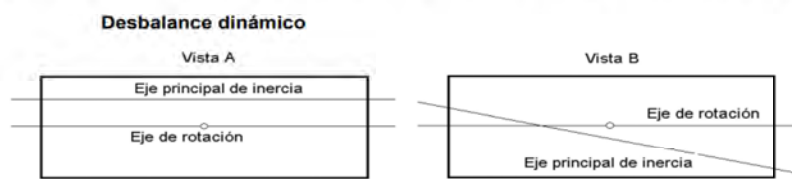
Cuando se colocan los extremos del rotor sobre dos piezas giratorias, ésta se desplazará hasta que la parte más pesada quede en la parte inferior. Este es el desbalance estático, ya que no es necesario hacer girar al rotor para que quede en equilibrio. El desbalance estático se muestra en la siguiente figura



El desbalance par se define como el eje longitudinal principal de inercia del rotor intercepta al eje de rotación en el centro de masa del propio rotor. El desbalance par se muestra en la siguiente figura



El desbalance dinámico se define como el eje longitudinal principal de inercia del rotor no intercepta al eje de rotación y tampoco es paralelo a éste. Este tipo de desbalance se muestra en la siguiente figura



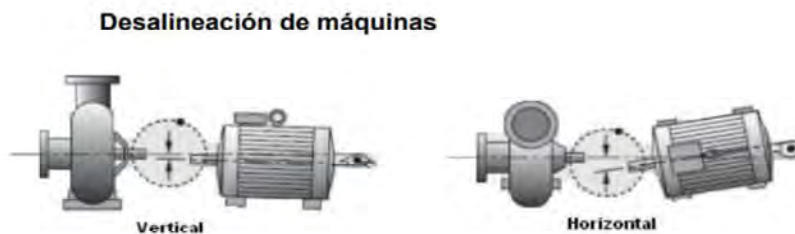
Las causas de desbalance son varias entre las que podemos mencionar:

- Desgaste y erosiones por rozamiento.
- Corrosión.
- Deformaciones en el rotor.

También debido a variaciones de temperatura en el rotor se producen fuerzas que tienden a curvar el rotor, y con ello la aparición de desbalance.

2. Vibración debida a la falta de alineamiento

Debido a que los motores eléctricos convierten la energía eléctrica en energía mecánica. Los motores eléctricos se suelen acoplar a otras máquinas que tienen un determinado funcionamiento, como una bomba de agua, una lavadora, etcétera. La principal fuente de vibración debida a la falta de alineamiento ocurre cuando el eje del motor eléctrico no está alineada con el eje de la máquina acoplada, aunque también suele suceder entre rodamientos o en un par de ruedas dentadas. Este acoplamiento se realiza a través de un elemento rígido o flexible. La falta de alineación puede ser vertical u horizontal. La siguiente figura muestra la falta de alineamiento de dos máquinas.



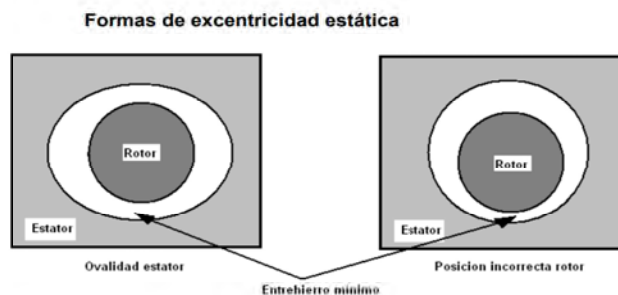
Algunas consecuencias a la falta de alineación son: Mayor consumo de energía, Fallos en rodamientos, Rotura de ejes, Problemas en acoplamientos, Incremento en la temperatura de carcasa, Fugas de aceite u otros fluidos, Daños o aflojamiento en tornillos de sujeción, Incremento en la vibración axial y radial en la máquina.

La correcta alineación ayudará a la disminución en costos de repuestos y pérdida de producción.

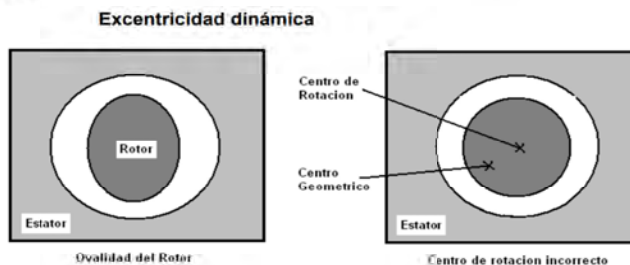
3. Vibración debida a falta de excentricidad

El espacio que existe entre el rotor y el estator (entrehierro) es muy reducido, algunos milímetros. Es por esto que el rotor debe de estar lo más alineado posible, así también la redondez del eje y la excentricidad de sus posiciones relativas durante el giro. Si lo anterior no se cumpliera, puede producir deformación en el entrehierro. Los problemas de excentricidad pueden dividirse en dos grupos que son excentricidad estática y dinámica.

La excentricidad estática consiste en una deformación del entrehierro el cual solo aparece en una posición fija en el espacio. Esta excentricidad puede ser causada por la ovalidad del alojamiento estatórico, un incorrecto posicionamiento del rotor, causado por un mal apoyo en los cojinetes, malformación de los alojamientos, excesiva tolerancia y otros. La siguiente figura se muestra las dos deformaciones posibles debido a la excentricidad estática.



En la excentricidad dinámica la deformación en el entrehierro mínimo no permanece en una posición fija en el espacio, sino gira junto con el rotor. Las razones de este tipo de excentricidad son similares al de la excentricidad estática; desgaste de los cojinetes, flexión del eje. En la siguiente figura, se muestra la excentricidad dinámica.



4. Vibración debida a rodantes defectuosos

En todas las máquinas rotativas se utilizan cojinetes para apoyar los extremos del eje, y debido a que todas las vibraciones se transmiten directamente a los cojinetes y que estas están en continua fricción, es de suma importancia determinar su estado con un análisis de vibraciones.

Los cojinetes se pueden clasificar en dos grupos: de elementos rodantes (rodamientos) y de camisa (casquillos). Los cojinetes de rodamientos utilizan elementos rodantes para eliminar la fricción y los cojinetes de casquillos o de fricción están basados en el deslizamiento entre piezas. Los rodamientos pueden ser de bolas o de rodillos, los cuales se utilizan para altas velocidades.

Las principales características de los cojinetes de rodamientos son:

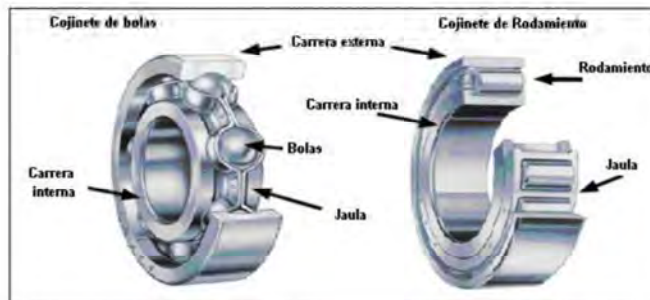
- Lubricación sencilla y sin mantenimiento
- Menor espacio axial
- Capacidad de absorber cargas axiales y radiales
- Pueden trabajar a temperaturas mayores a las de fricción

Las principales características de los cojines de casquillos son:

- Son mejores a altas velocidades
- Menor peso
- Instalación sencilla
- Menos ruidosos
- Mayor tolerancia a los choques

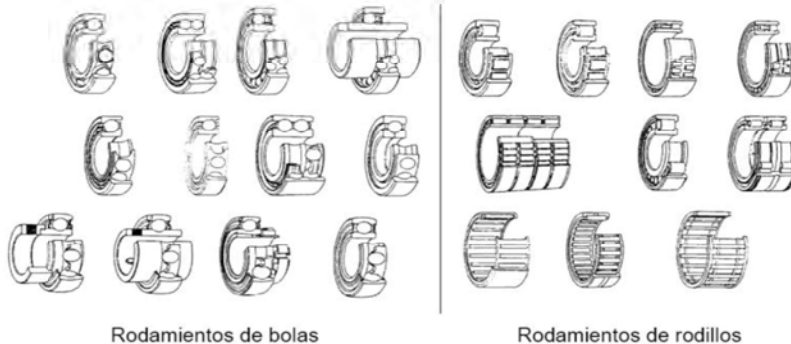
Las partes principales de un cojinete de rodillos son: Carrera externa, carrera interna, jaula y elementos de rodadura. La siguiente figura, muestra las partes de un cojinete.

Construcción del cojinete



El tipo de rodamientos que se utilice en el cojinete dependerá del tipo de esfuerzos a los que será aplicado y determinará el tipo de configuración de los elementos de rodadura. La siguiente figura, muestra las configuraciones posibles.

Configuraciones de cojinetes



Rodamientos de bolas

Rodamientos de rodillos

Los cojinetes de rodamientos se clasifican como cojinetes de bolas o de rodillos, los cojinetes de rodillos se clasifican en cojinetes radiales y de empuje. Los cojinetes de bolas se subdividen en radiales, de empuje y de contacto angular.

Los cojinetes de bolas se muestran en la figura anterior. Son usados en una gran variedad de aplicaciones. Son capaces de operar en altas e incluso muy altas velocidades y requieren poca atención o mantenimiento en servicio. Estas características, los hacen ser los más utilizados. En la misma figura, también se muestra el cojinete de rodillos cilíndricos, que son más rígidos que los de bolas y se utilizan para cargas pesadas y ejes de gran diámetro.

Los cojinetes de rodillos cónicos, la inclinación del eje de rodamiento permite que este tipo de cojinete tenga la capacidad de sostener cargas simultáneas axiales y radiales a velocidades moderadas.

Los cojinetes de rodillos cilíndricos de empuje, soportan pesadas cargas axiales, son insensibles a los choques y requieren poco espacio axial. Son rodamientos de una sola dirección y solamente

pueden aceptar cargas axiales en una dirección. Su uso principal es en aplicaciones donde la capacidad de carga de los rodamientos de bolas de empuje es inadecuada.

Los cojinetes de bolas radiales de contacto angular son diseñados específicamente para soportar cargas de empuje moderadas en una dirección, combinadas con cargas radiales moderadas.

Los cojinetes de bolas radiales de autoalinamiento, son para cargas radiales moderadas y altas velocidades, donde se espera un desalineamiento o una deflexión de la flecha.

Los cojinetes de bolas de empuje son diseñados sólo para empuje o para empuje y baja fuerza radial combinados.

Los cojinetes de aguja se caracterizan por rodillos cilíndricos largos, que tiene una relación longitud/diámetro del orden de 4 o mayor, y se diseñan para aplicaciones que requieren espacio libre radial pequeño.

La vida útil de los cojinetes depende del estado en que se utilice, así también a la fatiga que sufre el material del que está hecho. Las vibraciones siempre existirán debido a la pequeña tolerancia y la fricción de sus componentes. Pero si por ejemplo un rodamiento sufre una grieta en su superficie, producirá el aumento en la amplitud de la vibración y la frecuencia a que sucede la vibración dependerá de la geometría y velocidad de rotación del eje. La mayor parte de fallas en los cojinetes de rodillos debe a las siguientes

causas.

- Sobrecarga en el cojinete.
- Lubricación insuficiente o excesiva.
- Contaminación externa.
- Instalación incorrecta.
- Defectos de fábrica.
- Exposición a vibraciones cuando el cojinete está en reposo.
- Circulación de corriente eléctrica a través del cojinete.

Al inicio del fallo en el cojinete de rodillos, aparecen grietas en la superficie de los rodamientos y en las pistas, los cuales no son visibles al ojo humano. Estas grietas producirán vibraciones y calentamiento no percibibles. En este estado no es económico sustituir el cojinete que aún tiene una vida útil considerable.

Luego de haberse iniciado el agrietamiento en el cojinete, empiezan a aparecer grietas que son visibles al ojo humano, produciéndose vibraciones de mayor magnitud, caracterizado por un ruido audible y calentamiento. En este punto se debe de cambiar al cojinete para evitar un estado catastrófico del cojinete. Si esto sucediera el ruido aumentaría su intensidad, así también la temperatura, produciendo que las grietas aumenten hasta destruir el cojinete.

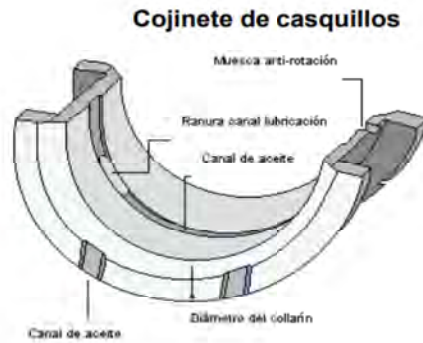
Se puede detectar el calentamiento de los cojinetes, tocando las partes de la carcasa del motor donde se localizan los cojinetes, pero si esto no fuera posible debido a la seguridad del personal de mantenimiento, sería necesario tomar fotografías con una cámara infrarroja para poder determinar la temperatura donde se encuentran localizados los cojinetes.

5. Vibración debida a casquillos defectuosos

Los cojinetes de casquillos, también llamados de fricción, el desgaste debido a la fricción de sus componentes se evita con una película uniforme de lubricante. En funcionamiento normal, el eje del motor esta centrado en esta película de lubricante. Debido a la película de lubricante, los fallos que producen vibraciones en este tipo de cojinete son muy distintos a los cojinetes de rodillos y puede identificarse con el comportamiento anormal del lubricante, con un análisis de

vibraciones. En la siguiente figura, tenemos la figura del cojinete de casquillos, en la que podemos observar que contiene canales exclusivos para la lubricación y una muesca que evitará

que gire con el rotor.



Las fuentes principales de vibraciones en este tipo de cojinete son debidas a: excentricidad de las partes rotativas, pandeo del eje, fallo en los ajustes, defectos en los cojinetes. Las vibraciones suelen ser producidas por oscilaciones autoexcitadas por la película de lubricante.

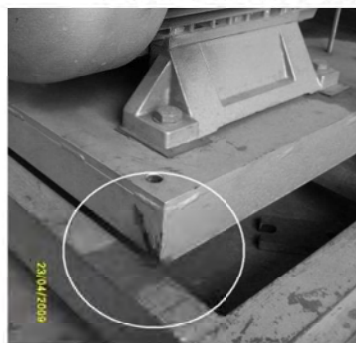
Es muy importante saber también que los cojinetes fallan debido a la presencia de partículas que provocan partes levantadas con el riesgo de interferir en el eje. Falta de lubricación debido a una fuga del lubricante produciendo la destrucción del cojinete. Errores de montaje como cojinetes invertidos tapando las entradas del lubricante. Errores en el mecanizado de los componentes. Sobrecarga que produce fatiga del material originando desprendimientos de trozos de material. Corrosión debió a aceite en mal estado dañando la superficie del cojinete. Y cavitación, cuando la presión del aceite disminuye localmente produciendo burbujas de vapor dañando la superficie del cojinete, esto se presenta en zonas donde el flujo de aceite es discontinua, como ranuras de taladro.

6. Vibración debida a partes flojas

La soltura mecánica es debido al deterioro de la condición de ensamblaje de los elementos mecánicos que se han excedido en las tolerancias permitidas o simplemente se han aflojado debido a movimiento del motor. Pueden aparecer holguras en la base de la máquina y en los cojinetes afectando el alineamiento del eje.

Las holguras pueden crear señales de vibración. La vibración que caracteriza a la soltura de partes la produce las fuerzas de excitación generadas por problemas como el desbalance o falta de alineamiento. En la figura 26 se muestran holguras en las bases de máquinas, así como algunas soluciones a estos problemas.

Holguras en la base de máquinas



7. Vibración debida a roturas de barras en el rotor

Como anteriormente se había visto, los motores asíncronos de rotor tipo jaula de ardilla, el rotor consiste en un conjunto de barras conductoras cortocircuitadas en sus extremos por anillos. El núcleo magnético del rotor está constituido por un conjunto de chapas magnéticas y aisladas

entre si, el cual ocupa el espacio entre las barras.

La rotura en las barras sucede principalmente en la soldadura entre la barra y los anillos de corto circuito debido a que es donde se concentran los esfuerzos mecánicos, aunque éstas estén diseñadas para soportar el arranque y paro del motor, la falla ocurre debido a la fatiga del material.

Además, debido a los regímenes transitorios térmicos, el motor de jaula puede sufrir de movimientos diferenciales dentro del paquete magnético rotórico, lo que conduce a torsiones y agrietamiento de los anillos.

Cuando empieza el agrietamiento de la barra o anillo, el proceso es degenerativo, la parte defectuosa se calienta hasta romperse. Esta rotura provoca la aparición de arcos eléctricos, haciendo que las barras adyacentes soporten más corriente y por tanto la temperatura y esfuerzos mecánicos aumentan, con ello la aparición de nuevas grietas. La siguiente figura muestra un rotor con las barras rotas.

Barras rotas en la proximidad del anillo

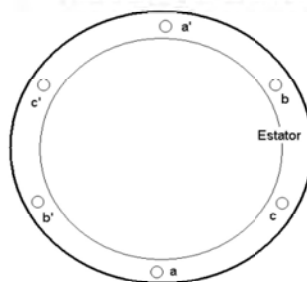


8. Vibración debida a fallas electromagnéticas

Este tipo de fallas ocurre solo cuando el campo magnético se ve alterado debido a un corto circuito entre una bobina y el núcleo, cuando una bobina o barra se rompe y también debido a una falla en la alimentación de corriente eléctrica del sistema, esto puede ocurrir cuando un conductor eléctrico se rompe o cuando una de las protecciones del motor se abre, como sucede con un fusible.

Para entender lo que sucede en el campo magnético en el estator, se aplicará una corriente triásica al estator de la siguiente figura.

Posición de los devanados en el estator



ANÁLISIS DE VIBRACIONES

OBJETIVO

Debido a que las vibraciones son producidas por distintos componentes del motor eléctrico y cada una de éstas vibra a frecuencias características, las frecuencias características de cada componente se pueden utilizar para determinar el fallo en el motor con la ayuda del espectro de frecuencias de las vibraciones. Cada una de estas frecuencias generadas son iguales al número de veces del evento que está teniendo lugar, multiplicada por la velocidad de rotación del rotor.

Para dar un buen diagnóstico en el análisis de vibraciones, es muy importante tener un espectro de vibraciones, tomados cuando el motor se encuentre en condiciones normales de funcionamiento, para tenerlo como referencia y compararlos con los análisis futuros, determinando el progreso de las vibraciones.

CRITERIOS SEGUIDOS

El análisis de vibraciones nos dará la frecuencia y magnitud de las vibraciones, pero para poder determinar la severidad de las vibraciones se utilizan distintos tipos de normas.

ISO 2372 "Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 10 y 200 revoluciones por segundo", el cual especifica si la magnitud de la vibración se encuentra en un estado aceptable de acuerdo a la potencia de la máquina. Esta norma es aplicable a máquinas rotativas con rotores rígidos y a máquinas rotativas con rotores flexibles y los datos para su aplicación son el nivel global de vibraciones en velocidad-valor eficaz RMS, en un rango de frecuencias entre 10 y 1,000 Hz.

La norma ISO 2372 clasifica a las máquinas como se indica en la tabla IV.

Clasificación de máquinas según, ISO 2372

CLASE I	Componentes individuales de motores y máquinas, íntegramente conectados con la máquina completa en sus condiciones normales de funcionamiento (motores eléctricos de hasta 15 Kw)
CLASE II	Máquinas de tamaño medio, (típicamente motores eléctricos con una potencia de salida de 15 a 75 Kw) sin cimentaciones especiales, motores montados rígidamente, o máquinas (hasta 300 Kw) sobre cimentaciones especiales.
CLASE III	Motores con grandes fuerzas motrices y máquinas con grandes masas giratorias, sobre cimentaciones firmes y pesadas que son relativamente rígidas en la dirección de la medición.
CLASE IV	Motores con grandes fuerzas motrices y máquinas sin grandes masas giratorias sobre cimentaciones que son relativamente amortiguadores en la dirección de la medición de la vibración (turbogeneradores).
CLASE V	Máquinas y sistemas de transmisión mecánica con efectos de inercia no equilibrados (debido a movimientos alternativos), montados sobre cimentaciones que son relativamente rígidas en la dirección de la medición de la vibración.

Como se observa en la tabla V, la severidad de las vibraciones se clasifican en Normal, Admisible, Límite y No permisible de acuerdo a la clasificación de la máquina que se basa en el tipo y tamaño de la máquina, el tipo de servicio, el sistema de soporte de la máquina y el efecto de la vibración en la máquina sobre el entorno de la misma

Tabla V. Severidad de vibraciones, según ISO 2372

45.00	No Permisible	No Permisible	No Permisible	No Permisible
28.00				
18.00				
11.20				
7.10	Limite	Limite	Limite	Limite
4.50				
2.80				
1.80				
1.12	Admisible	Admisible	Admisible	Admisible
0.71				
0.45				
0.28				
0.18	Normal	Normal	Normal	Normal
Vel. [mm/s]	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV

ISO 3945 "Medida y evaluación de la severidad de vibración en grandes máquinas rotativas; velocidades de operación entre 10 y 200 revoluciones por segundo". Esta norma permite la severidad de las vibraciones en máquinas grandes para velocidades de operación entre 600 y 1200 RPM. Se aplica a la CLASE III Y IV definidas anteriormente. La tabla VI muestra la severidad de las vibraciones según la norma ISO 3945.

Tabla VI. Tabla ISO 3945

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 Satisfactoria	No Satisfactoria
11.2		
18.0	Inaceptable	Inaceptable
28.0		
71.0		

ISO 10816 "Evaluación de la vibración en una máquina mediante medidas en partes no rotativas". Estas normas son mas recientes que las anteriores. El valor eficaz de la velocidad de vibración se usa para evaluar la condición de la máquina.

ISO 7919 Describe los requisitos generales para la medida y evaluación de la vibración de varios tipos de la máquina cuando las medidas de vibración son hecho al girar los árboles

ISO 2373 "Vibración mecánica en cierta maquinaria eléctrica rotativa con alturas de eje entre 80 y 400mm- Medida y evaluación de la severidad de la vibración". Esta norma es una adaptación de las normas ISO 2372 para motores eléctricos, y se aplica a motores eléctricos 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 el eje) entre 80 y 400 mm.

Las medidas se realizan con la máquina suspendida libre. El motor opera a la frecuencia nominal y a su velocidad nominal. 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 período suficiente de operación en situación de no carga. La tabla VII establece los límites de severidad de las vibraciones.

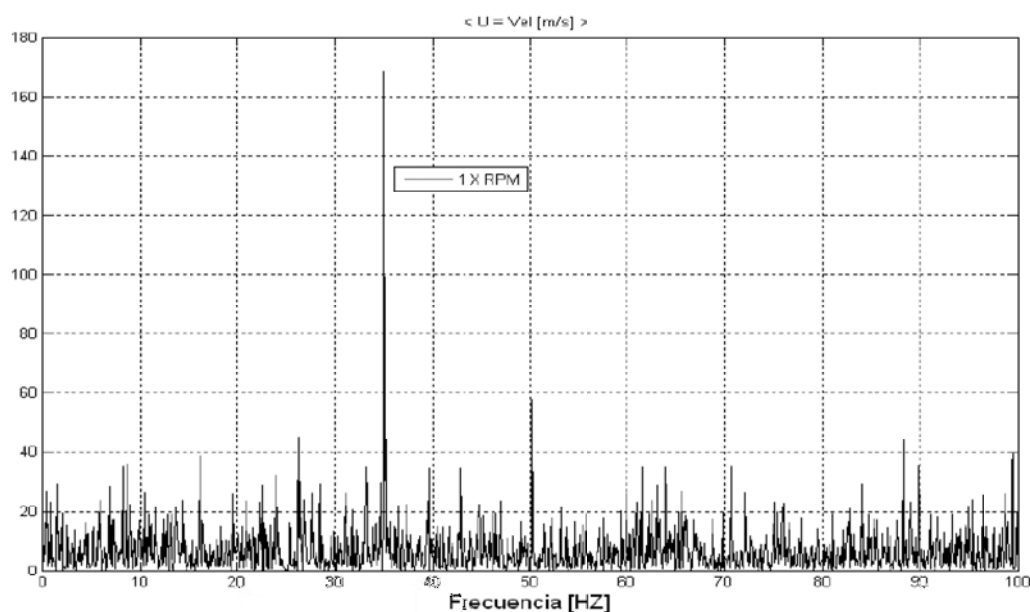
Tabla VII. Severidad de vibraciones según ISO 2373

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

1. Desvalances

La presencia de desbalance como único problema en el motor se identifica con el aumento de la amplitud de los armónicos con frecuencia igual a la del giro del rotor 1xRPM y se detecta en la dirección radial debido a que el desequilibrio es producido por una fuerza en la dirección radial (la medición se realiza en el cojinete de apoyo del motor). en la siguiente figura se muestra el espectro de frecuencias cuándo ocurre ese desbalance.

Espectro de frecuencias del desbalance



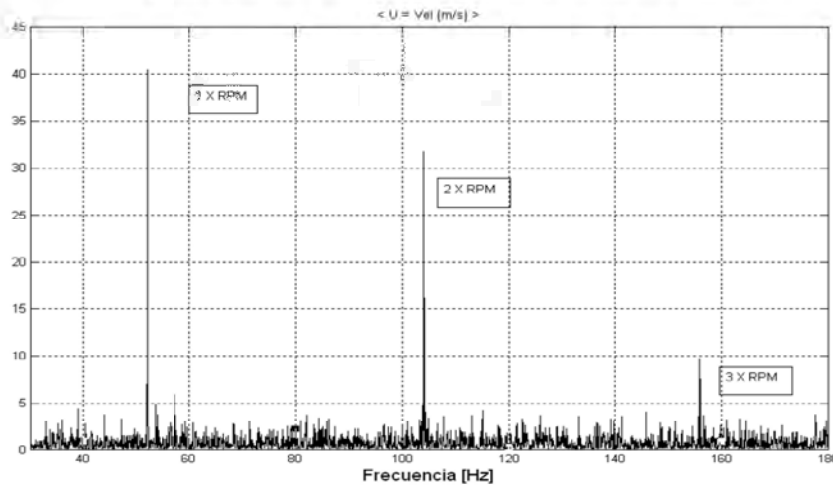
2. Falta de alineamiento

La falta de alineamiento se identifica dependiendo del tipo de desalineamiento.

Si la falta de alineamiento es vertical, se presentan vibraciones radiales a frecuencias armónicas que son dos veces la velocidad de giro del rotor 2xRPM.

Si la falta de alineamiento es angular, producirá vibraciones axiales de frecuencias armónicas que duplica a la velocidad de giro del rotor 2xRPM o tres veces la velocidad de giro del rotor 3xRPM. La figura 32 muestra el espectro de frecuencias cuando ocurre la falta de alineamiento.

Espectro de frecuencias en la falta de alineamiento



Si las tres armónicas presentes son significativas, medidos en dirección horizontal, entonces es muy probable que la falta de alineamiento sea vertical.

Si las tres armónicas presentes son significativas, medidos en dirección vertical, entonces es muy probable que la falta de alineamiento sea horizontal.

Si las tres armónicas presentes son significativas, medidos en dirección axial, entonces es muy probable que la falta de alineamiento sea angular.

Si las tres armónicas son significativas en las tres direcciones de medición, indica que la máquina se encuentra en un estado catastrófico.

3. Excentricidad

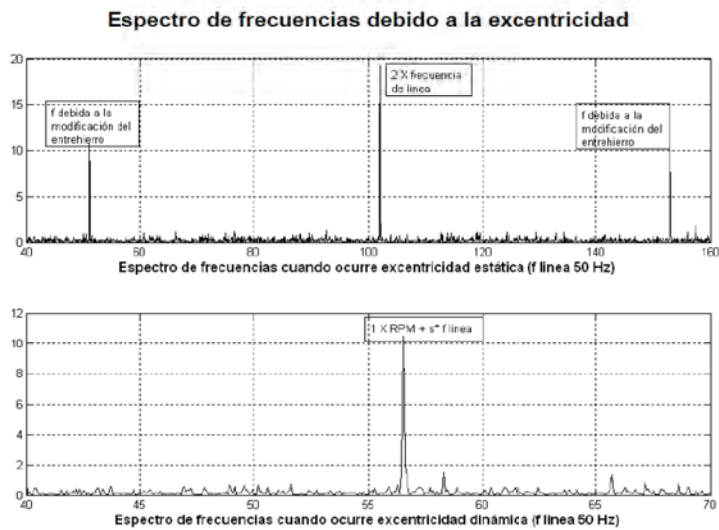
La presencia de excentricidad en los motores eléctricos asíncronos trifásicos, en cualquiera de los dos tipos posibles, los efectos producidos son los mismos; aparición de armónicos de alta y baja frecuencia en el espectro de las corrientes del estator, aparición de fuerzas pulsatorias de origen eléctrico que producirán vibraciones características y el incremento de las vibraciones.

Debido al efecto que tiene la excentricidad en los motores eléctricos, el análisis se puede realizar con el espectro de las corrientes de alimentación y también con el análisis de vibraciones.

Como la modificación del entrehierro en un motor asíncrono produce cambios en la fuerza magneto motriz, se originaran fuerzas que pulsaran a frecuencias relacionadas con la velocidad de giro del rotor.

La frecuencia de la vibración cuando ocurre excentricidad estática es dos veces la frecuencia de la corriente de alimentación del rotor $2 \times f_{línea}$, también es frecuente la aparición de frecuencias de 50 y 200 Hz, causado por la modificación del entrehierro debida a desgaste de los cojinetes.

La frecuencia de vibración cuando ocurre excentricidad dinámica suele suceder en bandas laterales alrededor de la frecuencia de giro, de anchura $s \times f_{línea}$, donde s es el deslizamiento. Entonces la frecuencia de vibración queda $f_{RPM} \pm v = 1 \pm$ donde $línea \ d = s \times f$. La siguiente figura nos muestra el espectro de frecuencias cuando ocurre excentricidad en el motor eléctrico.



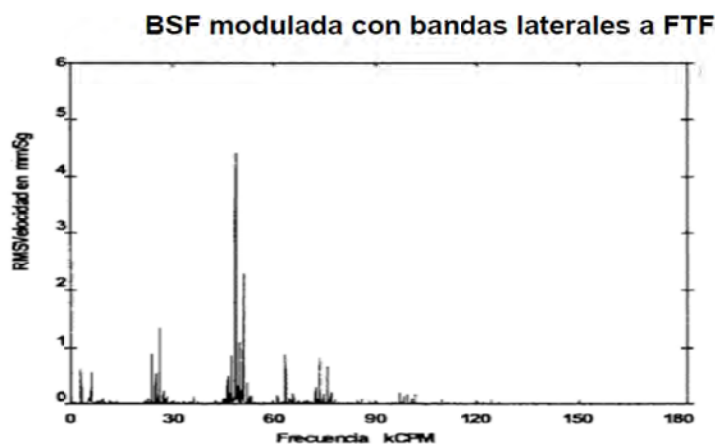
4. Rodantes defectuosos

Para poder dar un diagnóstico de falla en rodantes defectuosos en cojinetes, se debe de tomar en cuenta los componentes de esta, como lo son los rodantes, carrera externa e interna y la jaula. Cada uno de estos componentes genera una vibración de frecuencia característica.

Las frecuencias de rotación y defecto, también pueden ser originadas por desequilibrio, desalineación y cargas anormales amplificando las frecuencias específicas del rodamiento, quien absorbe la carga. Una carga lateral excesiva en el eje, amplificara la BSF. La desalineación amplificara la FTF.

La frecuencia fundamental, ocurrirá aproximadamente al 40% de la velocidad de funcionamiento. Por tanto una banda estrecha entre el 30 y 40% de la velocidad de funcionamiento detectara cualquier cambio anormal en las condiciones de la caja.

La frecuencia de rotación de la bola (BSF) es siempre la más baja frecuencia y la frecuencia de paso de las bolas en la pista interior (BPFI) es siempre la frecuencia más alta. Una banda estrecha con límite inferior cerca del 10% por debajo de BSF y limite superior con 10% mas alto que FPFI, mostrara estas frecuencias de defecto. En las figuras 34 se muestra el espectros de vibraciones cuando ocurren fallos en rodamientos. Con la técnica de registro de banda estrecha, se puede detectar cualquier condición anormal en rodamientos.



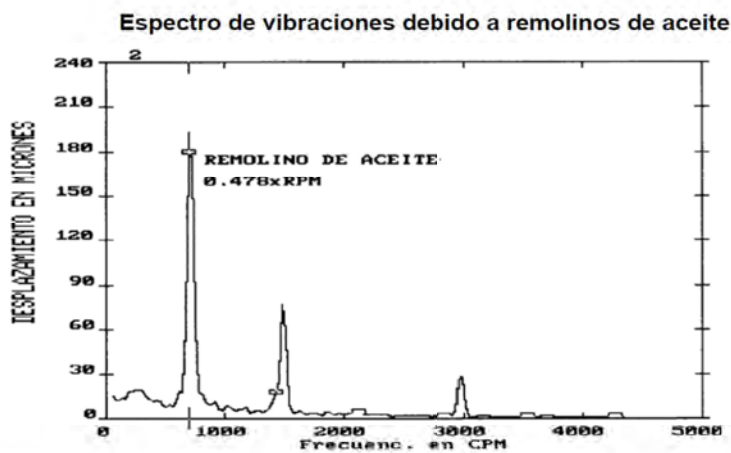
5. Casquillos defectuosos

Las vibraciones se presentan cuando ocurren anomalías en el aceite. Las ondas de choque producidos por los cojinetes de casquillos, son absorbidas en gran parte por el aceite, especialmente los de alta frecuencia.

Las frecuencias características cuando hay casquillos defectuosos pueden ser las siguientes:

f_0 , frecuencia fundamental de la vibración, igual a la velocidad de giro del rotor, ocasionado por falta de excentricidad o incorrecto ajuste del cojinete.

La frecuencia puede ser 0.4 a 0.6 veces la frecuencia fundamental, ocasionado cuando el eje no se desliza uniformemente sobre la película de aceite. También pueden ser por variaciones en la viscosidad y la temperatura. La siguiente figura se da un ejemplo de este caso.



$f=2f_0$, este armónico aparece cuando el cojinete se encuentra incorrectamente ajustados. El aflojamiento de partes puede ser también una de las causas.

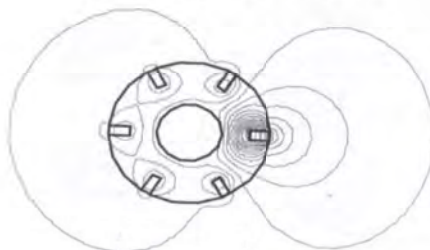
6. Partes flojas

Una falla debida a partes flojas en el motor, produce armónicas de frecuencia igual al 50% de la velocidad de rotación, y múltiplos de la frecuencia anterior como 50, 100, 150 por ciento.

7. Roturas de barras en el rotor

El análisis que se realiza para determinar si existen barras rotas en el rotor del motor eléctrico, no es a través de la medición de las vibraciones, sino con el análisis de la corriente de alimentación del motor eléctrico debido a los efectos en el campo magnético en la corriente de alimentación cuando existe una barra rota. La figura 36 muestra el comportamiento del campo magnético alrededor de una barra rota.

Líneas de flujo en una barra rota



El campo causado por la rotura de la barra presenta, un campo alternativo de eje fijo, y un par de polos localizados a ambos lados de la avería.

Debido a que los devanados de un motor no son ideales siempre existirán armónicos en la corriente de línea. Los armónicos producidos por la rotura de una barra, aparecerán superpuestas a los armónicos ya existentes en el motor.

Debido a que los devanados de un motor no son ideales siempre existirán armónicos en la corriente de línea. Los armónicos producidos por la rotura de una barra, aparecerán superpuestas a los armónicos ya existentes en el motor.

Para determinar el efecto que tienen los armónicos, producidos por una barra rota, en el estator, y si se tiene en cuenta que analizamos un motor de dos polos, de eje fijo y de pulsación a la frecuencia de deslizamiento, obtenemos dos series de armónicos en sentidos inversos que giran respecto al rotor con velocidad eléctrica igual a la frecuencia de pulsación del campo.

La velocidad de giro del armónico fundamental respecto al rotor sería $NS-N$ donde $NS = f/P$ es la velocidad de sincronismo en revoluciones por segundo y N es la velocidad de giro del rotor. Entonces la velocidad del armónico fundamental sería $P*(NS-N)$, siendo P el número de pares de polos de la máquina.

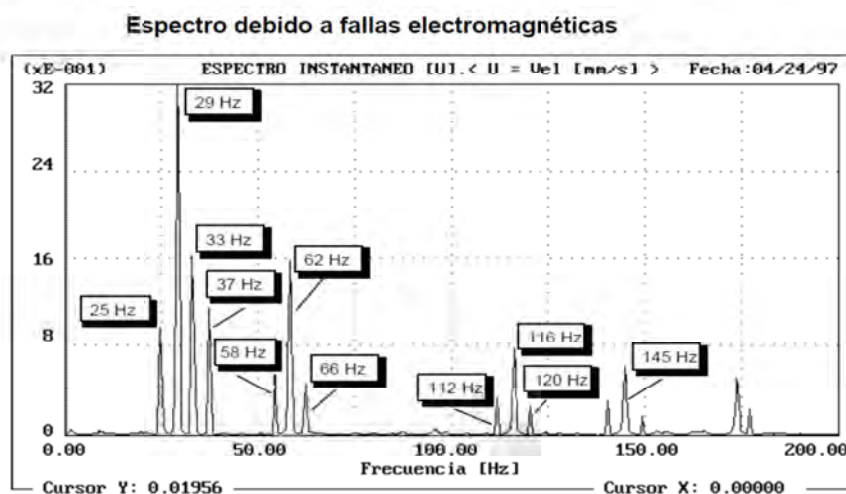
La velocidad de giro de cualquier armónico de orden i sería la misma que el de la fundamental. Por tanto para calcular la velocidad geométrica de cualquier armónico respecto al rotor, sería dividir la velocidad eléctrica del armónico entre el número de pares de polos del armónico de orden i . Debido a que la rotura de una barra en el rotor de dos polos crea un campo de dos polos, en número de polos del armónico coincidirá con su orden.

La velocidad geométrica con respecto al rotor del armónico de orden i causado por la avería sería $P*(NS-N)/i$.

Ahora la velocidad de giro de cualquier armónico con respecto al estator sería la velocidad definida en la ecuación anterior más la velocidad de giro del rotor:

8. Fallas electromagnéticas

Cuando existe corto circuito en el devanado del estator, hace que disminuya la velocidad de rotación y se incremente la frecuencia de deslizamiento. La figura 38 muestra el espectro de vibraciones de un motor operando a 1740 RPM.



9. Evaluación de campo

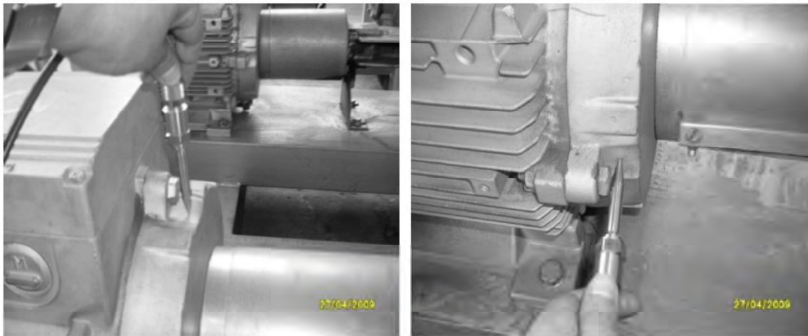
Para la evaluación de campo se utilizó un analizador de vibraciones portátil marca Sendig 911, que utiliza un acelerómetro piezoeléctrico para medir las vibraciones. Este analizador portátil determina la aceleración, velocidad y desplazamiento de las vibraciones y da un diagnóstico del estado de la máquina basándose en las normas ISO 2372. La siguiente figura, muestra este instrumento.

EQUIPO PARA EL ANÁLISIS

El análisis de vibraciones se realizó en motores eléctricos asíncronos trifásicos acoplados a reductores con bombas de aceite, utilizados en una red comercial con respaldo de generadora de energía eléctrica.

Las mediciones se realizaron en tres motores asíncronos trifásicos, conectados a bombas de aceite. En la siguiente figura apreciamos las mediciones realizadas en uno de los motores eléctricos, donde se realiza la medición vertical y horizontal de las vibraciones en un punto cercano a los cojinetes.

Medición vertical y horizontal de las vibraciones



Los datos obtenidos en las mediciones y las conclusiones a que se llegaron con la ayuda de las normas ISO 2372 son las siguientes:

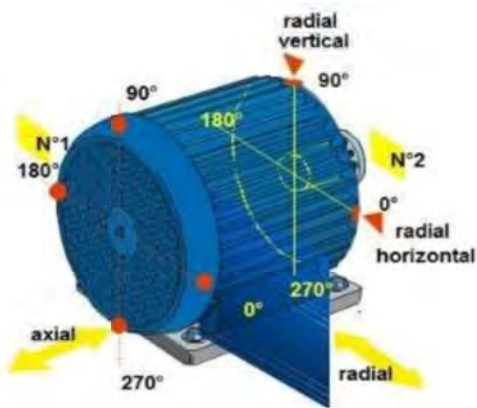
Gráfica de Severidad ISO 10816

SEVERIDAD DE LA VIBRACION ISO 10816						
Velocidad de Vibración Vrms	MÁQUINA		CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV
	in/s	mm/s	Pequeñas < 3.7kW-5HP	Medianas < 373kW-500HP	Grandes con cimentación rígida	Grandes con cimentación suave
	0.01	0.28			Excelente	
	0.02	0.45				
	0.03	0.71				
	0.04	1.12			Bien	
	0.07	1.80				
	0.11	2.80			Satisfactorio	
	0.18	4.50				
	0.28	7.10			Mal	
	0.44	11.2				
	0.71	18.0				
	1.10	28.0			Inaceptable	
	1.77	45.0				

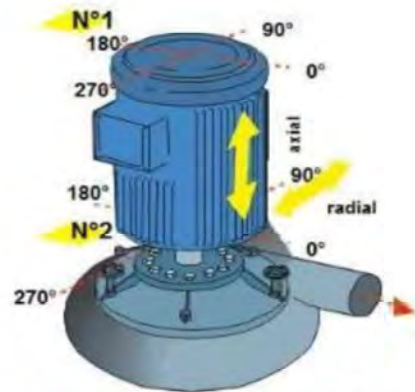
Vibration Evaluation Standard - Reciprocating machine

Vibration Severity Grade	Overall Vibration measurement measured on the machine Structure			Machine Class*						
	Displacement in μm - micro (rms)	Velocity in mm/sec (rms)	Acceleration meter/sec (rms)	1	2	3	4	5	6	7
1.1	≤ 17.8	≤ 1.12	≤ 1.76	A	A	A	A	A	A	A
1.8	≤ 28.3	≤ 1.78	≤ 2.79	A	A	A	A	A	A	A
2.8	≤ 44.8	≤ 2.82	≤ 4.42	B	B	B	A	A	A	A
4.5	≤ 71.0	≤ 4.46	≤ 7.01	C	B	B	B	A	A	A
7.1	≤ 113	≤ 7.07	≤ 11.1	C	C	B	B	B	B	B
11	≤ 178	≤ 11.2	≤ 17.6	D	D	C	C	B	B	B
18	≤ 283	≤ 17.8	≤ 27.9	D	D	C	C	C	C	C
28	≤ 448	≤ 28.2	≤ 44.2	D	D	D	C	C	C	C
45	≤ 710	≤ 44.6	≤ 70.1	D	D	D	D	C	C	C
71	≤ 1125	≤ 70.7	≤ 111	D	D	D	D	D	C	C
112	≤ 1784	≤ 112	≤ 176	D	D	D	D	D	D	C
180	≤ 1784	> 112	> 176	D	D	D	D	D	D	D

Zone A: Vibration of newly Commissioned Machines.
 Zone B: Machines considered acceptable for unrestricted long-term operation
 Zone C: Machines considered unsatisfactory for long-term continuous operation
 Zone D: Vibration values normally considered to be sufficient severity to cause damage to the machine



Máquinas de eje horizontal



Máquinas de eje vertical

ALCANCE

El alcance comprende en realizar un informe del análisis de vibraciones a dos (2) motorreductores que son utilizados para mantener el movimiento del radar de la aeronáutica civil.

Este análisis se realizará de las siguientes instalaciones:

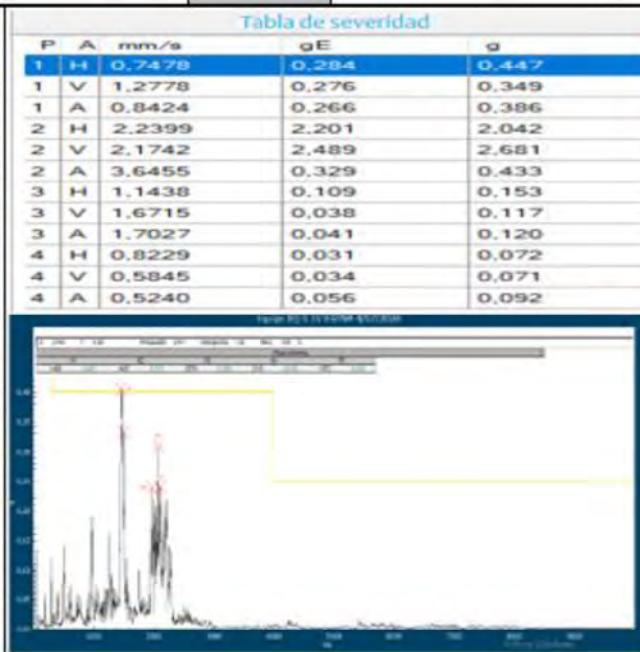
*Motores que accionan el giro del radar de AERONAUTICA CIVIL ubicado en La sede de Tubará

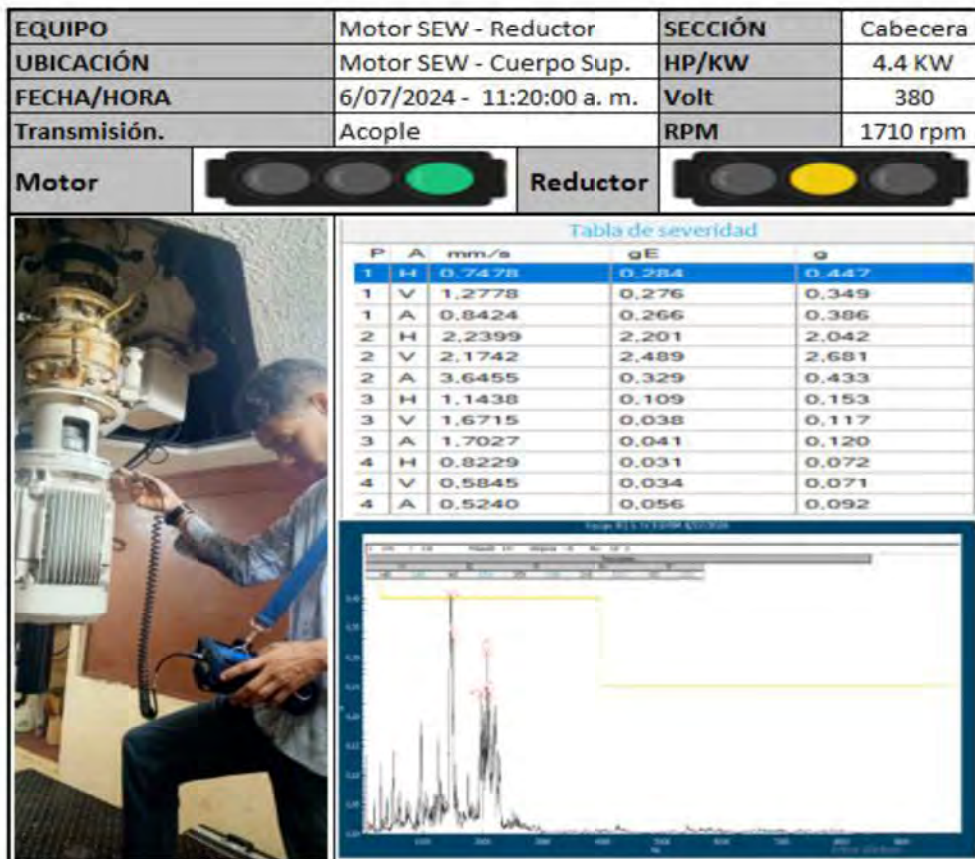
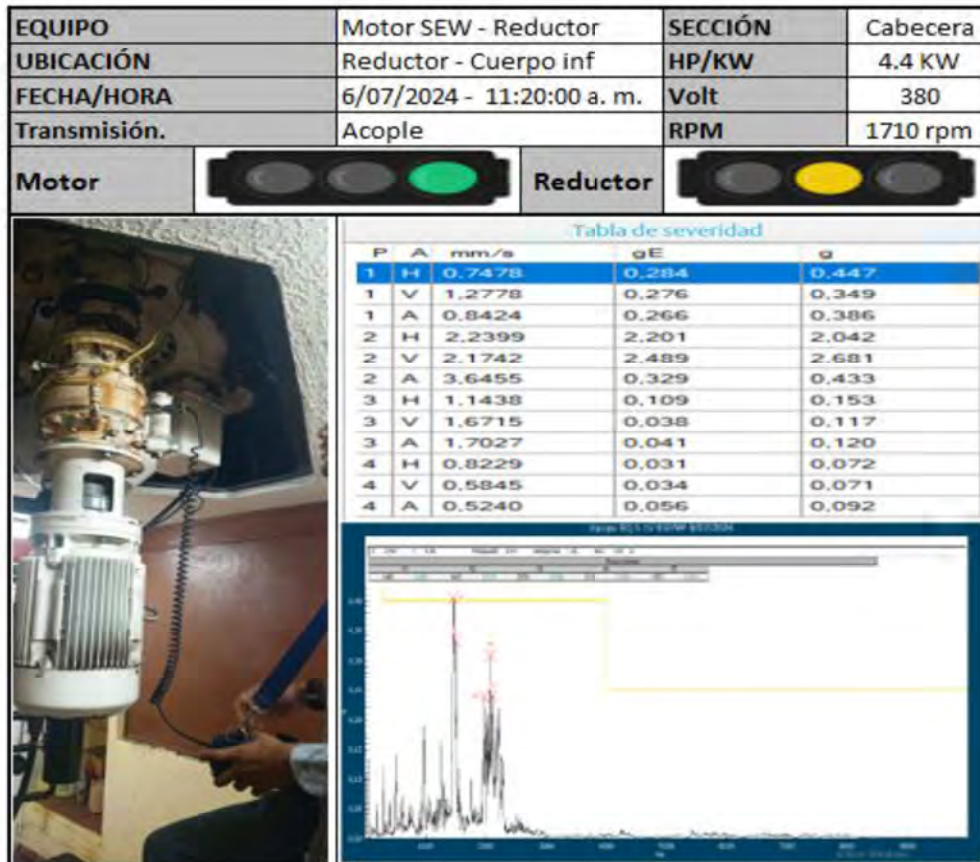
MEDICIONES

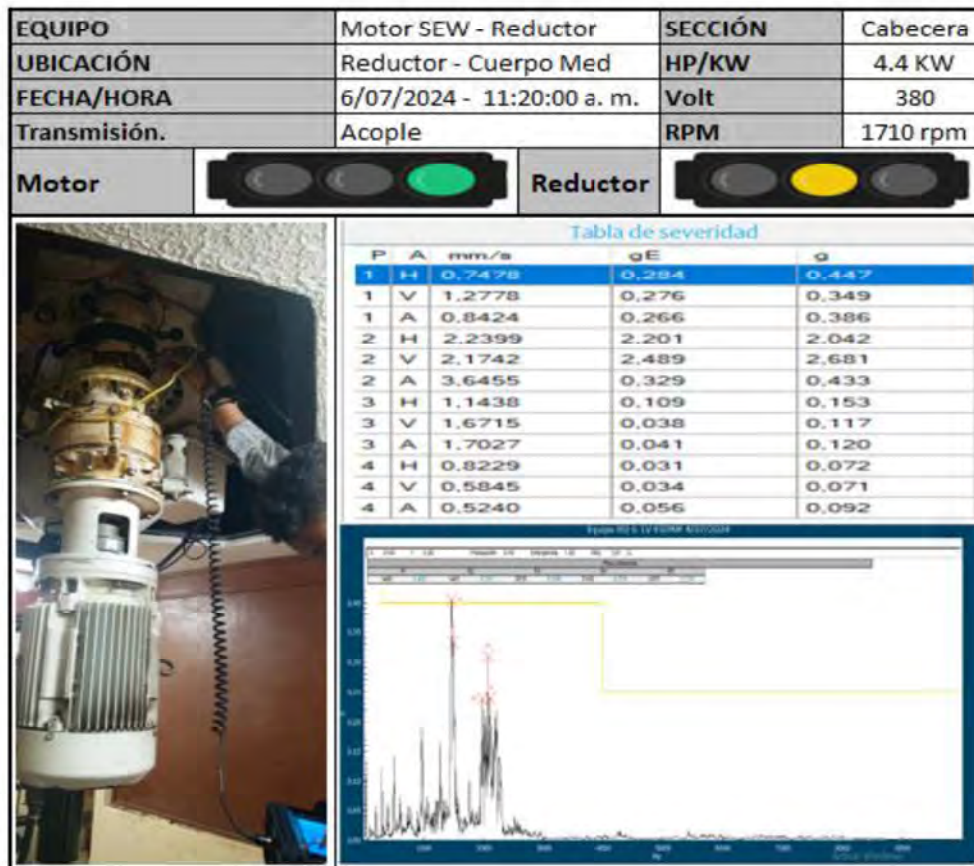
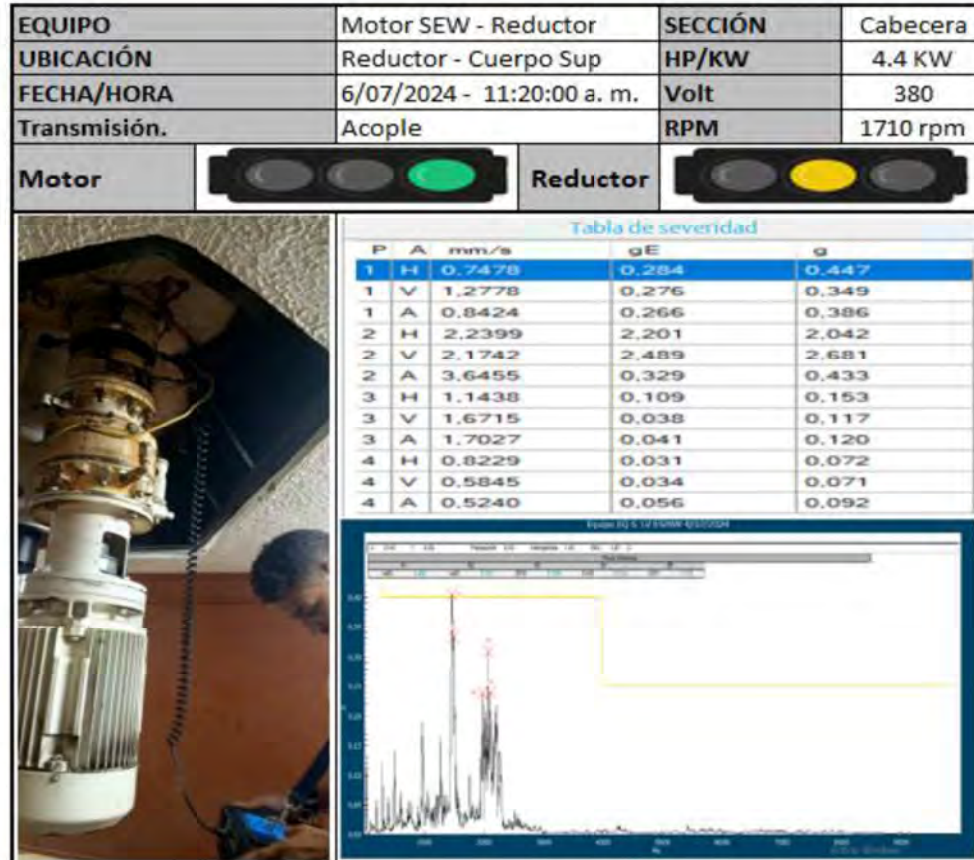
Se realizan mediciones bajas, medias y altas con la punta magnética del analizador a los 2 motores asincrónicos con las referencias de la placa de la siguiente imagen, los cuales trabajan en alternancia de un mes para preservar la vida útil de ambos motores

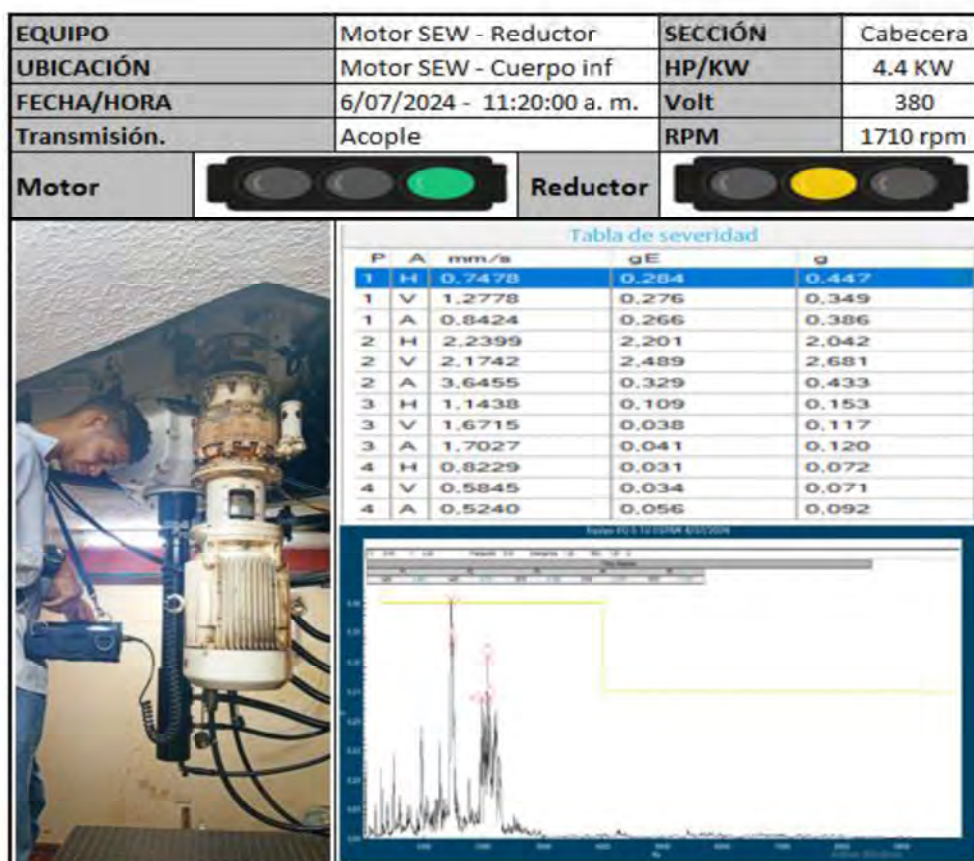
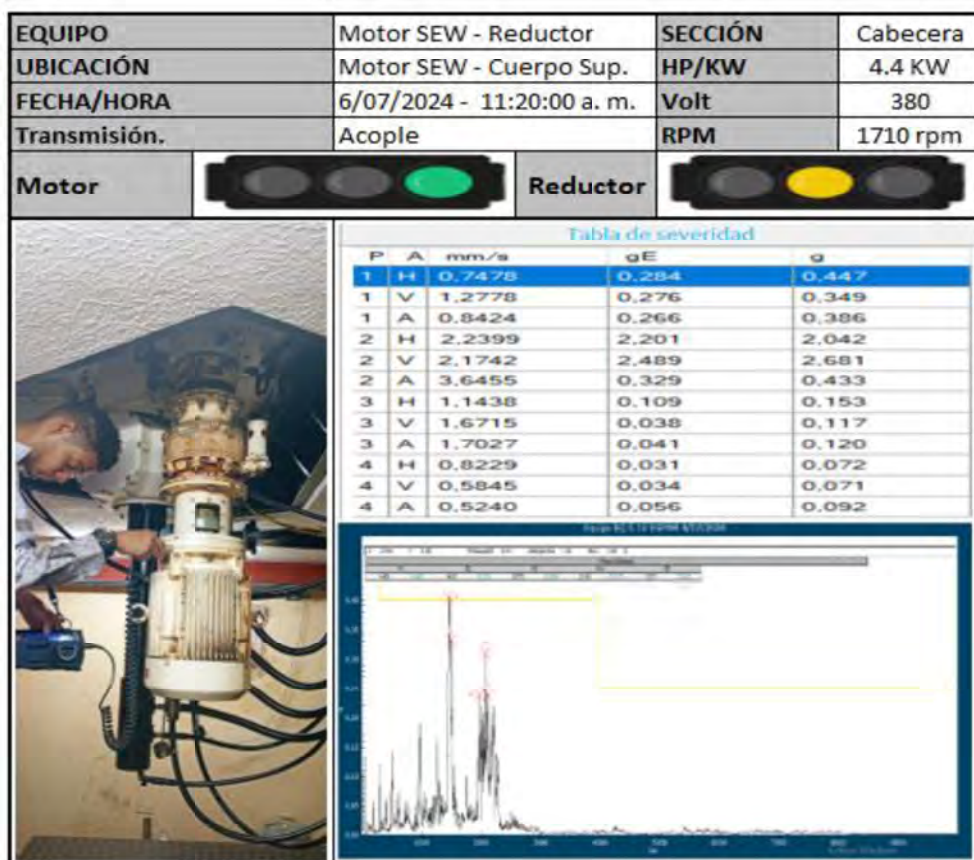


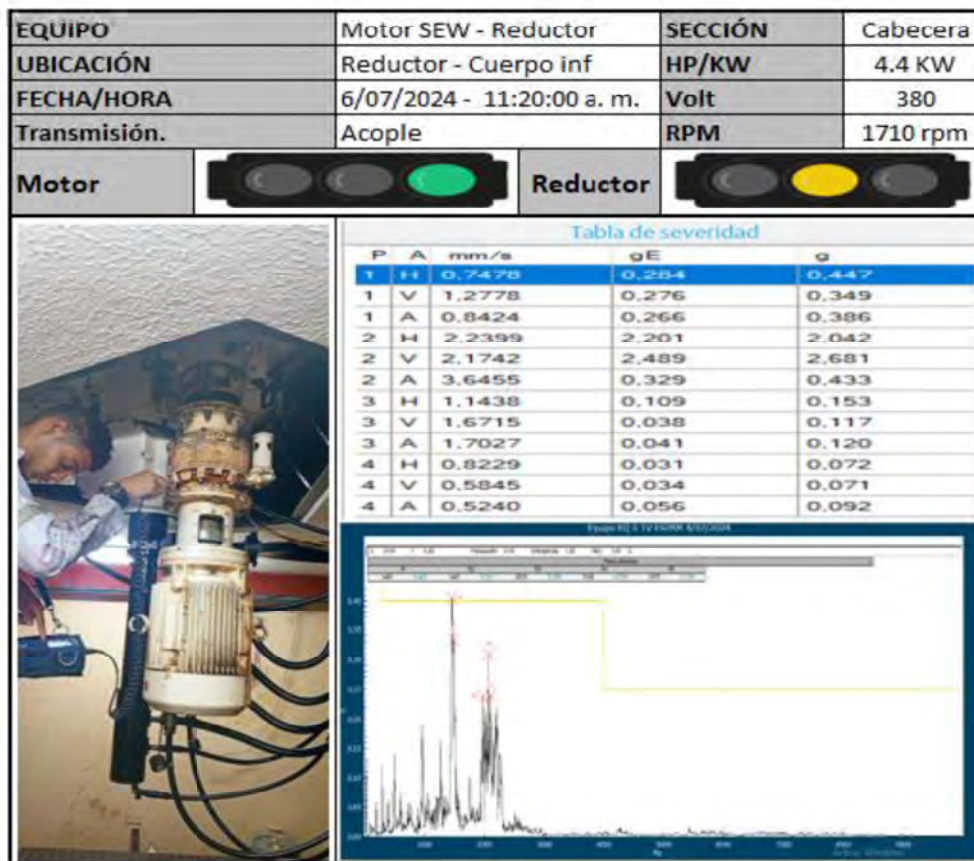
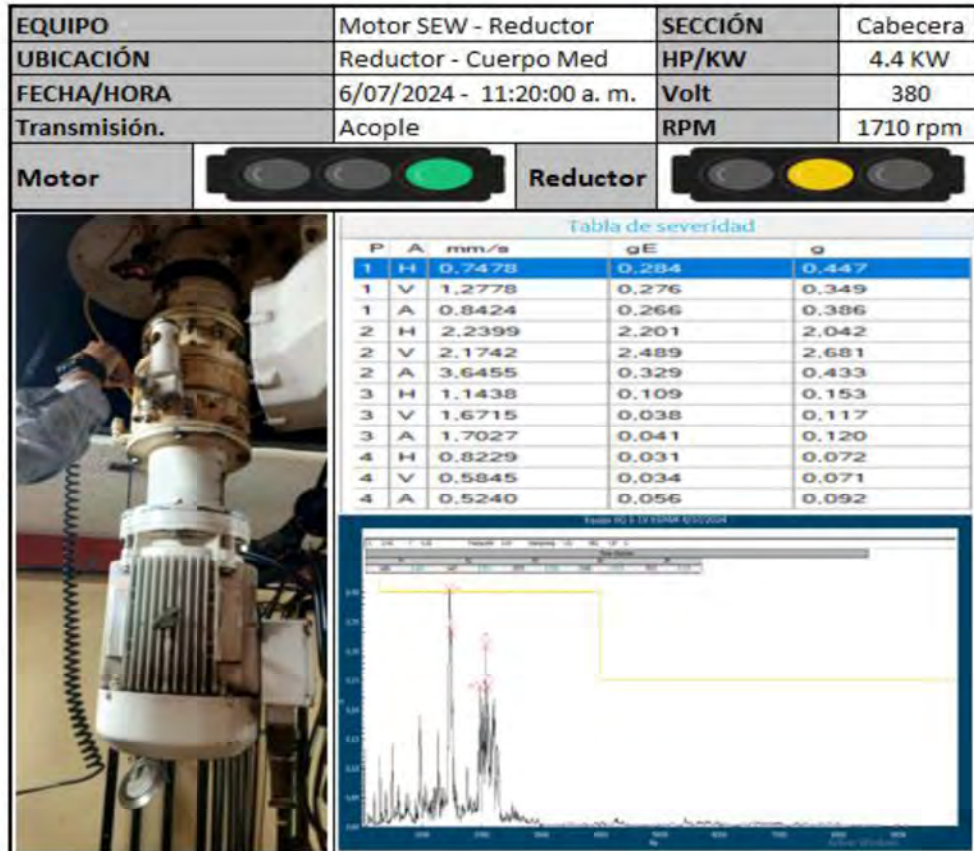
EQUIPO	Motor SEW - Reductor	SECCIÓN	Cabecera
UBICACIÓN	Motor SEW - Cuerpo inf	HP/KW	4.4 KW
FECHA/HORA	6/07/2024 - 11:20:00 a. m.	Volt	380
Transmisión.	Acople	RPM	1710 rpm
Motor		Reductor	

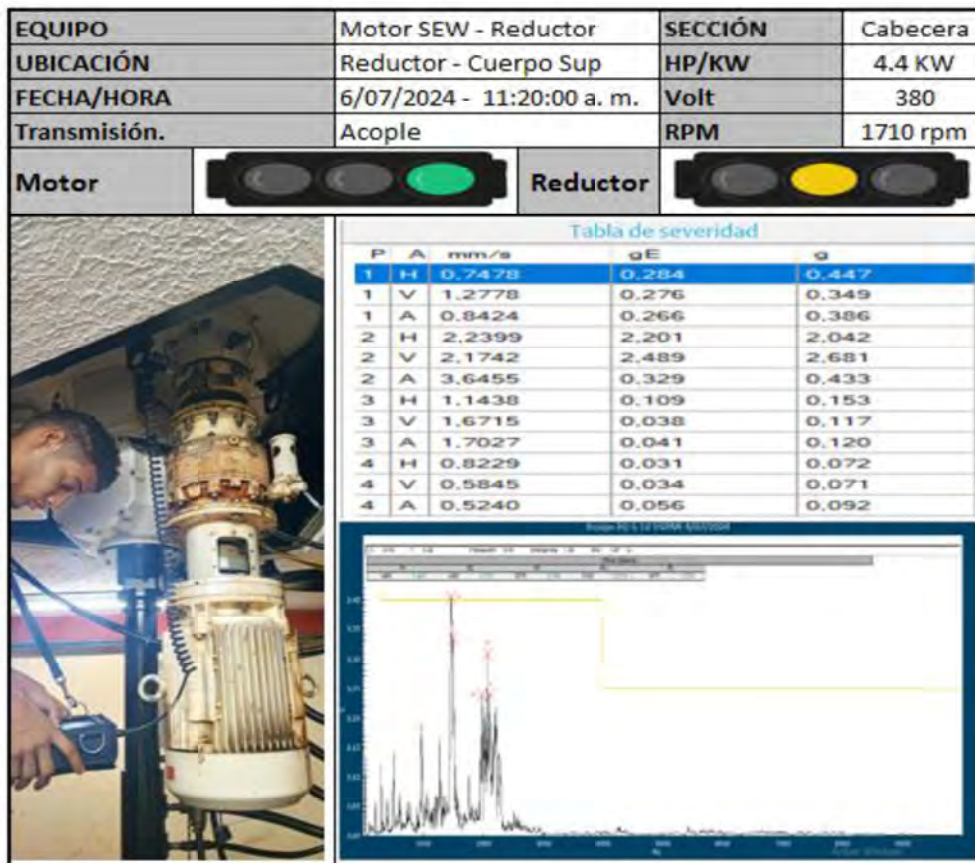












RECOMENDACIONES

- SE **DETECTA VIBRACIONES ALTAS EN AMBOS MOTORES** DEBIDO A LA ROTACIÓN DE EXCENTRICIDAD Y ROTANTES DEFECTUOSOS Y DESGASTADOS POR EL USO E CONDICIONES NO ADECUADAS.
- REALIZAR MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LOS REDUCTORES **DE MANERA INMEDIATA** Y SEGUIDAMENTE UN PRÓXIMO MANTENIMIENTO EN UN TIEMPO NO SUPERIOR A 3 MESES. REVISAR DE MANERA URGENTE LOS NIVELES DE ACEITE.
- REALIZAR MANTENIMIENTO PREDICTIVO A LOS MOTORES CON LA FINALIDAD DE EVITAR FALSOS CONTACTOS Y RECALENTAMIENTOS EN LAS ACOMETIDAS QUE GENEREN FALLAS FUTURAS.
- REALIZAR SEGUIMIENTO Estricto de ANÁLISIS DE VIBRACIONES POR LO MENOS UNA VEZ POR MES PARA CONOCER SU TENDENCIA EN EL TIEMPO Y LA EVOLUCIÓN DE LA FALLA EVIDENCIADA.
- REALIZAR MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y EMBALAJE DE LOS MOTORES DE RESPALDO CON LA FINALIDAD DE TENER UN BACK UP DE EQUIPOS PARA PROTECCIÓN DE UNA FALLA IMPREVISTA.

ESTE INFORME ES VÁLIDO ÚNICAMENTE PARA EL MOMENTO Y LAS CONDICIONES PRESENTES EN LA INSPECCIÓN. PROPIEDAD DE INGSEPRO SAS. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACIÓN POR ESCRITO DEL PROPIETARIO INTELECTUAL.

Atentamente,

ING. JESIDT PIZARRO VALENCIA.
Desarrollador de Negocios.

