

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

TEMA:

**Metodología para el análisis de fallas en los motores
eléctricos por medio del estudio termográfico**

AUTOR:

Morales Montero, Juan Francisco

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de
Ingeniero en Eléctrico-Mecánica**

TUTOR:

MSc. Echeverría Parra, Ricardo Xavier

2018

Guayaquil - Ecuador



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Morales Montero, Juan Francisco** como requerimiento para la obtención del título de ingeniero Eléctrico-Mecánico

TUTOR

MSc. Echeverría Parra, Ricardo Xavier

DIRECTOR DE LA CARRERA

MSc. Heras Sánchez, Miguel Armando



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Morales Montero, Juan Francisco**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Metodología para el análisis de fallas en los motores eléctricos por medio del estudio termográfico**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánica ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

EL AUTOR

Morales Montero, Juan Francisco



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Morales Montero, Juan Francisco**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Metodología para el análisis de fallas en los motores eléctricos por medio del estudio termográfico** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

EL AUTOR

Morales Montero, Juan Francisco

Reporte Urkund

URKUND

Documento	Tesis Final Morales Francisco 25-Agosto.pdf (D40983862)
Presentado	2018-08-26 21:04 (-03:00)
Presentado por	francomor93@hotmail.com
Recibido	ricardo.echeverria.ucsg@analysis.urkund.com
Mensaje	Tesis completa Mostrar el mensaje completo 2% de estas 31 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICO-MECANICO

TEMA: "Metodología para el análisis de fallas en los motores eléctricos por medio del estudio termográfico"

AUTOR: Juan Francisco Morales Montero

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO ELECTRICO-MECANICO

TUTOR: Echeverria Parra, Ricardo Xavier

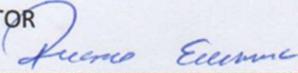
Guayaquil, Ecuador 31 de agosto del 2018

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CXARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICO-MECANICO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por Morales Montero, Juan Francisco, como requerimiento para la obtención del Título de INGENIERO EN ELECTRICO-MECANICO

TUTOR



----- Echeverria Parra, Ricardo Xavier

Atentamente



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

MSC. MANUEL DE JESÚS, ROMERO PAZ
DECANO DE LA FETD

ING. RAÚL MONTENEGRO TEJADA
COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA

ING. RAÚL MONTENEGRO TEJADA
OPONENTE

Dedicatoria

El presente de trabajo de titulación dedico a mis queridos padres, Dr. Levi Morales y Dra. Miriam Montero', por estar siempre presentes, demostrándome el apoyo incondicional y la comprensión para concretar con éxito mi tan anhelada meta.

A mis hermanos Sebastián Morales y Andrea Morales, por el apoyo y aliento de siempre. Como así también, a mis tías Fabiola Montero y Patricia Montero.

A mis queridos abuelos, el Sr. Francisco Montero y la Sra. Laura Armijos, por los consejos e impulsos para no rendirme en mi vida estudiantil universitaria.

El Autor

Morales Montero, Juan Francisco

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por darme las fuerzas necesarias, la salud y la sabiduría para culminar con satisfacción la carrera y así convertirme en un profesional.

Y a todas las personas que me han apoyado en todo momento y que han hecho que este trabajo se concrete con éxito, en especial a aquellos que me abrieron las puertas e impartieron sus saberes.

El Autor

Morales Montero, Juan Francisco

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	VII
Agradecimientos	VIII
Índice de Figuras.....	XIII
Índice de Tablas.....	XVI
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
Capítulo 1	2
Introducción	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del Problema	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Metodología de investigación.....	4
Capítulo 2	5
Marco Teórico.....	5
2.1 Causas de fallas del Motor Eléctrico.....	6
2.1.1. Sobrecorriente	6
2.1.1.1 Armónicos	9
2.1.2 Baja resistencia de aislamiento	10
2.1.3. Sobrecalentamiento.....	13

2.1.4. Suciedad:.....	14
2.1.5. Humedad:	15
2.1.6. Vibración:.....	16
2.1.6.1 Vibración debido a excentricidad.....	16
2.1.6.2 Vibración debida a falla de rodamientos	17
2.2 Pruebas y monitoreo	19
2.3 La Termografía.....	21
2.3.1 Radiaciones infrarrojas	21
2.3.2 Tipos de termografía.....	23
2.3.2.1 Termografía comparativa cuantitativa.	23
2.3.2.2 Termografía comparativa cualitativa.	24
2.3.2.3 Consideraciones para las técnicas cualitativa y cuantitativa.	24
2.3.2.4 Consideraciones para las técnicas pasiva y activa.	25
2.4 Registros directos e indirectos	25
2.5 Monitoreo de estado con termografía.....	25
2.5.1 Criterios de diferencia de temperatura.....	27
2.5.2 Criterios de temperatura máxima permitida.	27
2.5.3 Criterios de aceptación eléctricos.	28
2.5.4 Aspectos por adquisición de registro termográfico	28
2.5.4.1 Resolución térmica.....	28
2.5.4.2 Elección de la paleta de color.	29
2.5.4.3 Enfoque.....	30
2.5.4.4 Nivel e intervalo.....	30

2.5.4.5 Temperatura de medición.	31
2.5.5 Termografía en problemas mecánicos y eléctricos.....	33
2.5.6 Termografía en sistemas electromecánicos	34
2.5.7 Detección de sobrecalentamiento en motores eléctricos.....	35
2.5.8 Detección fallo de rodamientos.....	35
2.5.9 Detección de barras rotas.....	36
2.5.10 Detección de desequilibrio de fases	37
2.5.11 Detección de cojinetes calientes.....	38
2.6 Procedimiento de uso de cámara de temperatura.....	40
Capítulo 3	43
Metodología para diagnóstico termográfico en los motores eléctricos.....	43
3.1 Metodología para diagnóstico por termografía	43
3.1.1 Metodología para análisis termográfico	46
3.2. Interpretación de imágenes e indicaciones	50
3.3 Levantamiento termográfico en motores eléctrico de planta de concentrados de banano.....	51
3.3.1 Banda transportadora #1 con un motor 25 HP	52
3.3.2 Banda transportadora #2 con un motor 25 HP	53
3.3.3 Motor con banda transportadora en chumacera	54
3.3.4 Motor del molino seco.....	55
3.3.5 Motor de molino húmedo	56
Capítulo 4.....	57
4.1 Conclusiones.....	57

4.2 Recomendaciones.....	59
Referencias	61

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1 Motor eléctrico	5
Figura 2. 2 Ejemplo de Sobrecorriente en un motor eléctrico	7
Figura 2. 3 Relé de sobrecarga.....	8
Figura 2. 4 Armónicos.....	9
Figura 2. 5 Ejemplo de bobinado quemado	11
Figura 2. 6 Prueba de resistencia/aislamiento en motor eléctrico.....	12
Figura 2. 7 Bobinado totalmente quemado por calentamiento excesivo.....	13
Figura 2. 8 Motor eléctrico funcionando en ambiente contaminado por polvo/suciedad.....	15
Figura 2. 9 Caso de motor por humedad	15
Figura 2. 10 Monitoreo de Excentricidad en motor eléctrico	17
Figura 2. 11 Monitoreo de vibraciones por rodamientos	18
Figura 2. 13. Espectro electromagnético	22
Figura 2. 14 Principio de operación de cámara termográfica.....	22
Figura 2. 15 Monitoreo de sistemas eléctricos.....	26
Figura 2. 16 Cámara termográfica portátil	27
Figura 2. 17 Resolución térmica	29
Figura 2. 18 Paleta de colores para termografía.....	29
Figura 2. 19 Ejemplo de enfoque en la medición de la temperatura.....	30
Figura 2. 20 Sintonización	31
Figura 2. 21 Radiación termográfica.....	31

Figura 2. 22 Emisividad de un objeto material	32
Figura 2. 23 Termografía aplicada a motor eléctrico.....	34
Figura 2. 24 Sobrecalentamientos de motores	35
Figura 2. 25 a) Termograma del motor sano en régimen permanente; b) Termograma del motor con fallo de rodamientos en régimen permanente..	36
Figura 2. 26 Termograma del motor sano en régimen permanente; b) Termograma del motor con barras rotas en régimen permanente.....	36
Figura 2. 27 a) Termograma del motor sano en régimen permanente; b) Termograma del motor con desequilibrio de fases al 50% Fuente: (Picazo, 2016, pág. 142).....	38
Figura 2. 28 Cojinetes calientes detectados por termografía.....	38
Figura 2. 29 Cámara de temperatura.....	40
Figura 2. 30 Uso de la cámara de temperatura	42
Figura 2. 31 Monitoreo térmico en instalaciones eléctricas	42
Capítulo 3	
Figura 3. 1 Diagrama de flujo para diagnóstico termográfico.....	44
Figura 3. 2 Metodología para termografía.....	46
Figura 3. 3 Metodología para la inspección termográfica de motores eléctricos	49
Figura 3. 4 Bandas transportadoras.....	52
Figura 3. 5 Termograma	52
Figura 3. 6 Banda transportadora	53
Figura 3. 7 Termograma	53
Figura 3. 8 Motor y banda transportadora.....	54

Figura 3. 9 Termograma	54
Figura 3. 10 Motor de molino seco.....	55
Figura 3. 11 Termograma	55
Figura 3. 12 Motor húmedo.....	56
Figura 3. 13 Termograma	56

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2. 1 Criterios de aceptación eléctricos	28
Tabla 2. 2 Típicos problemas en máquinas eléctricas	34
Tabla 2. 3 Detección de problemas según área	41

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal, determinar la metodología para el análisis y diagnóstico de fallas en motores eléctricos a través del uso de la termografía infrarroja. Este puede medir la temperatura de una superficie de forma remota.

Igualmente, para dicho trabajo se ha escogido como metodología de investigación el método descriptivo, este se basa en detallar las características de fallas en motores eléctricos para posteriormente someterlo a un análisis. Es decir, especificar la falla existente en motores, sea por vibraciones, calentamiento, etc. A su vez, este método pretende estudiar la termografía infrarroja en el desempeño de máquinas eléctricas rotatorias. Además, se plantea una metodología para hallar fallas en motores eléctricos por el reconocimiento de patrones utilizando imágenes térmicas monocromáticas del rotor y otros aspectos inherentes en la operación y alimentación eléctrica del mismo. El diagnóstico de fallas en máquinas rotativas como los motores eléctricos, se lleva a cabo principalmente a través de análisis de vibración, eléctricos, acústicos y térmicos. El resultado de este trabajo de titulación pretende determinar que el reconocimiento de imágenes térmicas puede ser provechoso para detectar fallas en motores de grandes capacidades que se pueden encontrar en industrias, fábricas, generadoras etc.

PALABRAS CLAVES: MOTOR ELÉCTRICO, DIAGNÓSTICO, RADIACIÓN, INFRARROJO, TERMOGRAFÍA.

ABSTRACT

The main objective of this titration work is to determine the methodology for the analysis and diagnosis of faults in electric motors through the use of infrared thermography. It can measure the temperature of a surface remotely.

Likewise, for this work, the descriptive method has been chosen as a research methodology, this is based on detailing the characteristics of faults in electric motors for subsequent analysis. That is to say, to specify the existing failure in motors, be it by vibrations, heating, etc. In turn, this method aims to study infrared thermography in the performance of rotating electrical machines. In addition, a methodology to find faults in electric motors is proposed by the recognition of patterns using monochromatic thermal images of the rotor and other aspects inherent in the operation and electrical power of the same. The diagnosis of faults in rotating machines such as electric motors, is carried out mainly through vibration analysis, electrical, acoustic and thermal. The result of this titration work aims to determine that the recognition of thermal images can be useful to detect faults in large capacity engines that can be found in industries, factories, generators, etc.

KEY WORDS: ELECTRIC MOTOR, DIAGNOSIS, RADIATION, INFRARED, THERMOGRAPHY.

Capítulo 1

Introducción

1.1 Antecedentes

El diagnóstico del estado y la detección de fallas en el motor eléctrico de corriente alterna, se convierten en un área de investigación importante debido a su uso extendido en diferentes aplicaciones industriales, por ejemplo, las fallas del motor de inducción están asociadas principalmente con defectos del rodamiento, fallas del rotor, rotor roto, desequilibrio mecánico, desalineación.

Son varios los aspectos que describen estas averías, tales como las desalineaciones, que son condiciones de fallas mecánicas comunes en las aplicaciones de máquinas de inducción. Particularmente, los motores eléctricos de procesos industriales presentan una amplia gama de problemas mecánicos. La desalineación causa una disminución en la eficiencia del motor, y la maquinaria desalineada es más propensa a fallar debido al aumento de cargas en los cojinetes y acoplamientos.

Sin embargo, muchas de las técnicas actuales de diagnóstico de fallas de los motores de inducción industrial, se basan en el análisis de cantidades tales como, las vibraciones. El monitoreo de condición basado en la vibración también se usa en la industria, debido a su capacidad de diagnosticar muchas fallas de origen mecánico.

Por lo tanto, a menudo se requiere instalar sensores y transductores, un hecho que no siempre es posible sin perturbar el funcionamiento de la máquina. En todos los casos, ni las técnicas actuales ni el análisis de vibraciones permiten el diagnóstico de todas las fallas posibles que ocurren en los motores de inducción. Hay algunas fallas (cortocircuitos del estator) que son difíciles de diagnosticar con cualquiera de las cantidades anteriores, mientras que otras (fallas en los cojinetes, muy comunes en los motores de inducción) podrían detectarse al monitorear la vibración.

En este contexto, la termografía infrarroja puede jugar un papel importante. Esta técnica, ampliamente utilizada en el mantenimiento de maquinaria eléctrica estática, ha sido poco utilizada en el mantenimiento de máquinas

eléctricas rotativas a pesar de sus enormes posibilidades. De hecho, dado que la mayoría de las fallas provocan puntos calientes o incrementos de temperatura en partes o áreas específicas de la máquina, la termografía infrarroja puede ser una herramienta útil para detectar su presencia.

1.2 Planteamiento del Problema

Escaso conocimiento del análisis de la radiación térmica en partes y materiales de un motor eléctrico en funcionamiento, para detectar problemas o fallos, los cuales provocarían un mal funcionamiento del mismo y por lo tanto, una paralización que afectaría al sistema de producción de una industria.

1.3 Justificación

Los diagnósticos para supervisar la condición de correcta operación de máquinas eléctricas de rotación en la industria son muy importantes para garantizar la eficiencia y la seguridad de la producción. En este dominio, la termografía infrarroja es una técnica que se ha utilizado con frecuencia como una herramienta predictiva para el mantenimiento de las instalaciones eléctricas. De hecho, las fallas de instalación más importantes conducen a un aumento de la temperatura en áreas específicas.

El diagnóstico por termografía para el funcionamiento de un motor eléctrico requiere la participación de una cámara infrarroja, colocada externamente y no conectada ni a la máquina ni al proceso en el que opera este aspecto es favorable para no parar la operación del motor en caso de algún tipo de mantenimiento.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Determinar una metodología para el análisis o diagnóstico de fallas en los motores eléctricos por medio del estudio termográfico

1.4.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar las diversas fallas en motores eléctricos.

2. Estudiar la termografía infrarroja para el diagnóstico de motores eléctricos.

3. Identificar los diferentes tipos de fallas en los motores eléctricos por medio de una metodología de análisis termográfico.

1.5 Metodología de investigación

El tipo de investigación escogida para el presente trabajo de titulación corresponden al:

- **Método descriptivo;** consiste en describir fenómenos, situaciones o contextos, es decir, detallar cómo son y se manifiestan las variables a estudiar, según afirman (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010, pág. 80) Y en particular, este trabajo de investigación busca detallar las características de fallas en motores eléctricos para posteriormente someterlo a un análisis, es decir, se pretende en este estudio especificar la falla existente en motores, sea por vibraciones, calentamiento, etc. A su vez, este método pretende estudiar la termografía infrarroja en el desempeño de máquinas eléctricas rotatorias, luego a haber de detallado las características mencionadas, tal como especifica en el objetivo del trabajo de investigación.

- **Método explicativo;** está enfocado en explicar por qué sucede un fenómeno determinado y en qué condiciones se manifiestan. Por tanto, implica estudiar las causas del mismo, es decir, determinar el análisis o diagnóstico de fallas en motores eléctricos de inducción, a través del uso de cámaras termográficas para recolectar información de radiación térmica, tal como se plantea en los objetivos específicos. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010, págs. 83-84)

- **Método Analítico:** Este método de investigación se enfoca a determinar de manera razonada las causas y efectos de fallas en motores eléctricos de inducción, mediante el uso de la termografía infrarroja. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010, págs. 85).

Capítulo 2

Marco Teórico

Los motores eléctricos son una parte esencial de nuestra vida diaria, ya que muchos sistemas, aplicaciones y servicios dependen de ellos. Actualmente, los motores tienen una larga vida útil y requieren de mantenimiento para garantizar que funcionen de manera eficiente. En procesos de la industria, los motores deben mantenerse regularmente en buen estado porque necesitan estar en operación todo el tiempo; un pequeño problema podría causar una gran pérdida para la organización.

En plantas donde existen cientos de motores eléctricos de baja tensión, el monitoreo de condición involucra una cantidad considerable de horas/hombre para tomar mediciones y generar los reportes, para luego decidir a qué equipos realizar mantenimiento y cuándo. Entonces, cuando los recursos son limitados y el tiempo es escaso, no son monitoreados todos los motores, sino que se revisan los más críticos y los demás quedan desatendidos. Como el modelo de monitoreo de condición tradicional resulta demasiado costoso de implementar en todos los motores de baja tensión, la gran mayoría de los motores se utiliza hasta que presente alguna falla (Farías, 2018, pág. 1) . En la siguiente imagen muestra un motor eléctrico.



Figura 2. 1 Motor eléctrico

Fuente: (Dinámica de Maquinaria, 2015, p.8)

Por lo general, en las grandes organizaciones se lleva a cabo un programa de mantenimiento en el motor, en el que se identifican las causas de las fallas dentro del motor y se toman medidas necesarias para evitarlas o reducir su

impacto. Los motores deben inspeccionarse periódicamente y deben realizarse otras actividades de mantenimiento para garantizar un funcionamiento eficiente. Cada vez que ocurre un problema, debe corregirse inmediatamente para evitar pérdidas adicionales. Las fallas del motor vienen en tres tipos básicos: eléctrico, mecánico y mecánico que progresa a eléctrico (Baker, 2009, pág. 2)

2.1 Causas de fallas del Motor Eléctrico

Existen diferentes enfoques para analizar y evaluar el impacto de las fallas del motor eléctrico, en general basadas en la evaluación de la potencia o energía perdida con ocasión de cada falla. En este sentido, las fallas en un motor eléctrico pueden ser originadas por:

- Fallas en los Sistemas de Protección y Control.
- Fallas originadas en la operación
- Fallas debidas a la no Calidad de la Potencia (Suramericana de Seguros, 2002, p.12).

A continuación, se indica con más detalles las causas principales de fallas en motores eléctricos:

- Sobrecorriente
- Baja resistencia
- Sobrecalentamiento
- Suciedad
- Humedad
- Vibración

2.1.1. Sobrecorriente

En diferentes condiciones de operación, los dispositivos eléctricos a veces comenzarán a consumir más corriente que su capacidad total. Este evento impredecible ocurrirá muy repentinamente y tendrá un gran impacto en el motor. Por lo tanto, un aspecto vital es la calidad de energía que es entregada al circuito del motor, en donde se analizan variaciones de larga duración que

incluyen desbalances de voltaje entre fases, sobretensiones y bajos voltajes; y distorsión de forma de onda a causa de presencia de armónicos en la red. (Transequipo S.A, 2015, p.2).

La operación de un motor eléctrico es muy susceptible de las características de la onda de energía que le es suministrada para su funcionamiento, por ejemplo, en el caso de un desbalance de voltaje, corrientes de secuencia negativa son generadas en los devanados del motor, creando a su vez un campo magnético opuesto a la rotación del motor que se traduce en calentamiento del equipo y pérdida de torque.

Cualquier corriente superior a la corriente habitual, se considera una sobrecorriente y si ésta no es controlada, puede dañar el equipo e instalaciones eléctricas. El sobre trabajo en un motor, por fallas mecánicas, falta de mantenimiento o por demandar energía extra, generan sobre corrientes, estas como son producto de un esfuerzo mecánico extra del motor técnicamente se les llama sobrecarga.

Para evitar una sobrecorriente (sobrecarga eléctrica), existen algunos dispositivos que deben instalarse para evitar que suceda. Estos dispositivos generalmente están cableados en los circuitos y cerrarán automáticamente la cantidad extra de corriente que fluye en el circuito.

Y la misma se ve reflejada como incremento de corriente. Véase la figura 2.2.



Figura 2. 2 Ejemplo de Sobrecorriente en un motor eléctrico

Fuente: (Coparoman, 2015, p.11)

Los relés de sobrecarga permiten controlar sobre corrientes, que generan calor perjudicial para sus componentes. El relé de sobrecarga va colocado bajo el contactor, un contacto normalmente cerrado del relé de sobrecarga conectado en serie con la bobina del contactor permite desconectar la alimentación al motor cuando existe un incremento de corriente. (Coparoman, 2015, p.2).

Un relé de sobrecarga abre el circuito de control, impidiendo que el motor funcione en condiciones anormales. En la figura 2.3 muestra un relé de sobrecarga.

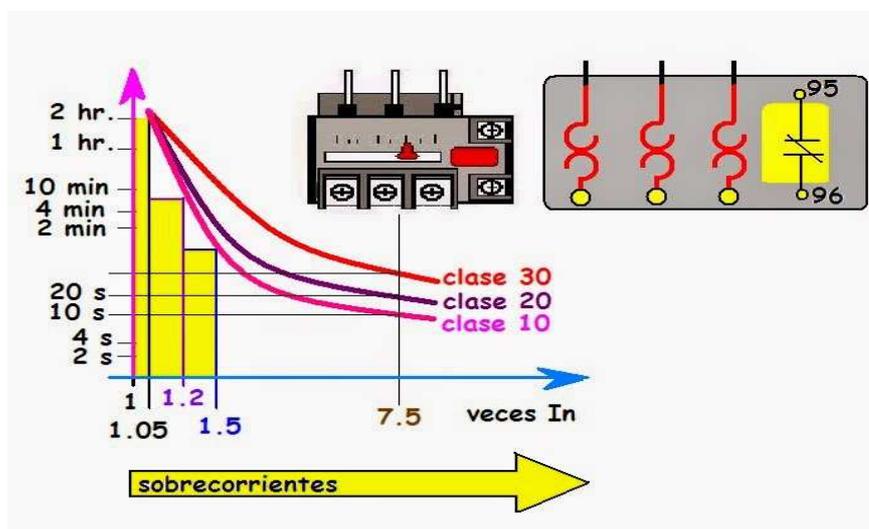


Figura 2. 3 Relé de sobrecarga

Fuente: (Coparoman, 2015, p.10)

El relevador de sobrecarga no debe interrumpir un arranque de motor. En el arranque un motor consume de 4 a 8 veces la corriente nominal.

Algunos motores requieren de arranque lento para evitar que el relevador de sobrecarga actúe en el arranque del motor, hay tres clases de disparo.

- La clase 10 admite una duración de arranque inferior a 10 segundos
- La clase 20 admite una duración de arranque inferior a 20 segundos
- La clase 30 admite una duración de arranque inferior a 30 segundos

Con una corriente de arranque alrededor de 6 veces la corriente nominal de placa (Coparoman, 2015, p.3).

2.1.1.1 Armónicos

Cabe resaltar que las variaciones en el nivel de tensión en la alimentación de un motor tienen efectos, no solo en sus componentes físicos y estructurales, sino que también afecta su desempeño y operación, por cuanto se ve afectado el par o torque que entrega, el factor de potencia, su eficiencia y las características de su arranque. Esto depende también en gran medida del diseño de su carcasa.

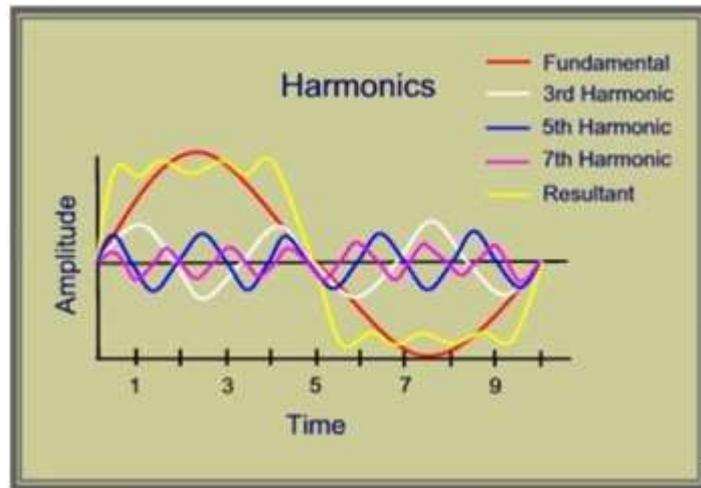


Figura 2. 4 Armónicos

Fuente: (Transequipo S.A, 2015, p.12)

Los comúnmente denominados armónicos son distorsiones de las ondas sinusoidales de corriente y tensión, cuya frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental (50 o 60Hz), provocados por el uso de cargas no lineales o equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal (Variadores de Frecuencia) principalmente. Los armónicos y los esfuerzos para limitarlos han sido motivo de estudio durante hace ya varios años, ya que generan aumento de la corriente I_{rms} y a su vez el aumento de pérdidas de potencia activa, aparición de efecto pelicular o "skin" que reduce la sección efectiva de los conductores a medida que aumenta la frecuencia sobrecalentándolos, sumado al calentamiento por efecto Joule debido a las corrientes de Foucault, daño en los aislamientos, disminución de la vida útil de los equipos, entre otras. (Transequipo S.A, 2015, p.3).

La distorsión armónica Total (THD, en inglés) en términos simples es el valor RMS de la señal con la frecuencia fundamental removida. Es decir, una onda

sinusoidal perfecta de 60Hz tendría un THD de 0%. Cualquier otra onda presente junto con la fundamental se le considera distorsión armónica. Entonces, los armónicos son señales que distorsionan a la onda fundamental, tienen una forma sinusoidal y están presentes en múltiplos de la fundamental. Las armónicas existen en todos los sistemas trifásicos y son generadas por cargas no-lineales como:

- Convertidores de potencia electrónicos: rectificadores y vaciadores de frecuencia (VFD)
- Fluorescentes
- Hornos de arco o UPS

Asimismo, existen tres tipos de armónicas:

- Secuencia positiva: Crea un campo magnético en la dirección de rotación, por lo tanto, ayuda al torque del motor.
- Secuencia negativa: Se opone a la rotación del motor e incrementa la demanda de corriente a una carga determinada.
- Secuencia cero: No produce ningún trabajo, pero causa calentamiento y retorna al transformador de alimentación y sobre carga al nuestro. Produce por lo tanto calentamiento en el transformador también. (Hidalgo, 2018, p.5).

2.1.2 Baja resistencia de aislamiento

La mayoría de las fallas del motor ocurren debido a la baja resistencia de aislamiento. Este problema se considera el más difícil de abordar. En las etapas iniciales de la instalación del motor, se observa que la resistencia de aislamiento es de más de mil mega ohmios. Después de un tiempo, el rendimiento del aislamiento comienza a degradarse a un nivel alarmante porque la resistencia comienza a decaer gradualmente. Después de una gran cantidad de investigaciones, se ha encontrado una solución que puede evitar fallas de baja resistencia. Hay dispositivos automáticos que prueban la resistencia de aislamiento de vez en cuando y se instalan equipos de seguridad que evitan tales fallas. Es importante que el rendimiento del aislamiento se controle a intervalos regulares.

Alrededor del 80% de las fallas de los motores eléctricos son el resultado de daños en el estator del motor y fallas en los cojinetes.

En general, el aislamiento en un motor comienza a desgastarse a medida que las vueltas se frotan debido al movimiento generado durante el arranque del motor. El aislamiento puede degradarse aún más debido a la introducción de depósitos químicos que generalmente se encuentran cuando un motor está excesivamente engrasado. Al final, un sistema de aislamiento comprometido en un motor eléctrico aumentará las posibilidades de falla desde una perspectiva eléctrica.

Si bien la resistencia dieléctrica de un nuevo motor es alta, se puede esperar un envejecimiento normal por causas térmicas, químicas y/o mecánicas. La rigidez dieléctrica disminuirá hasta que el voltaje en la carrera provoque un arco eléctrico, y cada vez que el motor arranque y se detenga, se volverá más severo hasta que falle. En resumen, el deterioro del aislamiento empeora, la resistencia dieléctrica cae por debajo del voltaje operativo, la acción del arco provoca altos niveles de corriente inducida y alto calor, y el resultado seguro es una falla rápida, a veces en cuestión de minutos. (Peralta, 2009, p. 23)

La avería del aislamiento, que conduce a bobinados quemados, implica cortocircuito dentro del motor o dentro del circuito de suministro de energía para el motor, y puede ser causado por sobrecalentamiento, sobrecargas y sobretensiones.



Figura 2. 5 Ejemplo de bobinado quemado

Fuente: (Transequipo S.A, 2015, p.13)

La baja resistencia de aislamiento es una de las causas más comunes de fallas en el motor y también una de las más difíciles de manejar. Una baja resistencia de aislamiento conduce a fugas o cortocircuitos en las bobinas y, finalmente, el mal funcionamiento del motor y la falla.

La principal función del aislamiento eléctrico hacer tender a cero (0) las corrientes de fuga, las corrientes capacitivas, corriente de conducción y la corriente de absorción. El aislamiento eléctrico garantiza que la corriente circule por los caminos definidos para ella y no tome rutas alternas generando riesgos al personal expuesto y daños al equipo o a sistemas adyacentes. El aislamiento de los motores es la parte más susceptible a daños por concepto de sobre temperatura, humedad, contaminación, transientes de voltaje, variaciones de corta duración (sags, swell, interrupciones) etc. (Transequipo S.A, 2015, p.3). En este concepto, la norma IEEE STD 43-2000, indica los valores mínimos de resistencias recomendados que se deben tener para un equipo seguro y confiable.



Figura 2. 6 Prueba de resistencia/aislamiento en motor eléctrico

Fuente: (Transequipo S.A, 2015, p.18)

Cuando el aislamiento se debilita, eventualmente se descompone y no proporciona el aislamiento requerido entre los conductores o los devanados del motor. La resistencia inicial del aislamiento de los devanados suele ser muy alta, en el orden de más de mil megaohmios ($> 1 \text{ M}\Omega$). Sin embargo, después de un tiempo, el aislamiento comienza a degradarse debido al sobrecalentamiento u otras condiciones indeseables, como la corrosión, el daño físico y otras condiciones. (Peralta, 2009, p. 50)

Para evitar tales problemas, las personas de mantenimiento deben realizar inspecciones regulares del aislamiento.

2.1.3. Sobrecalentamiento

El sobrecalentamiento puede ocurrir por la reducción de tamaño del motor, enfriamiento insuficiente a baja velocidad cuando se usan variadores de velocidad, cambios en la carga del motor, como equipos atascados y condiciones ambientales a altas temperatura.

El sobrecalentamiento hace que el aislamiento del bobinado del motor se deteriore rápidamente. Por cada aumento de temperatura de diez grados centígrados, la vida del aislamiento se reduce a la mitad. Al menos el 55% de las fallas de aislamiento son causadas por sobrecalentamiento.

El sobrecalentamiento ocurre debido a una serie de factores. Cada motor eléctrico tiene una temperatura de diseño. Si un motor arranca con un valor de corriente malo, comienza a funcionar en una condición mucho más cálida que la temperatura de diseño. Es muy importante que los motores se correspondan con sus valores de corriente ideales.



Figura 2. 7 Bobinado totalmente quemado por calentamiento excesivo

Fuente: (Wegnet, 2012, p.20)

El sobrecalentamiento puede producirse por:

- Cables de alimentación muy largos y/o muy finos.
- Conexión incorrecta de los cables de conexión del motor.
- Excesivo número de partidas en tiempo corto.

- Exceso de carga en la punta de eje (permanente o eventual/periódico).
- Sobretensión o subtensión en la red de alimentación (permanente o eventual/periódica).
- Ventilación deficiente (tapa defletores dañada u obstruida, suciedad sobre la carcasa, temperatura ambiente elevada, etc.) (Peralta, 2009, p. 25).

Para solucionar solo este último aspecto se deberá operar en un ambiente de alta temperatura. Esto hace que la velocidad a la que se puede conducir el calor se reduzca a un ritmo alarmante. El área donde operan los motores eléctricos debe tener un sistema de enfriamiento adecuado y un sistema de ventilación debe estar allí en caso de que el sistema de enfriamiento deje de funcionar.

2.1.4. Suciedad:

La suciedad es una de las fuentes principales que causa daños a los motores eléctricos. Puede dañar el motor al bloquear el ventilador de enfriamiento que hace que suba la temperatura. También puede afectar el valor aislante del aislamiento del devanado si se asienta en los devanados del motor.

La suciedad como el polvo y otros desechos pueden bloquear el flujo de aire en los ventiladores de enfriamiento del motor y provocar un sobrecalentamiento.

Además, las partículas de polvo y otros objetos pequeños dentro del motor pueden presentar cierta resistencia que ralentizará el motor, lo que significa que tendrá que trabajar más para superar esta resistencia. Las partículas de suciedad también pueden ser abrasivas de manera que dañan el aislamiento (Comunidad de ingeniería eléctrica, 2016, p.1)



Figura 2. 8 Motor eléctrico funcionando en ambiente contaminado por polvo/suciedad

Fuente: (Wegnet, 2012, p.21)

2.1.5. Humedad:

La humedad puede causar muchos problemas al motor al causar corrosión en varias partes del motor. En particular, la humedad corroerá el aislamiento y provocará un cortocircuito entre los devanados, corroerá los cojinetes, el eje del motor y los rotores.

Esto evitará la rotación suave, disminuirá la eficiencia y conducirá a una falla completa del motor (Comunidad de ingeniería eléctrica, 2016, p.1).



Figura 2. 9 Caso de motor por humedad

Fuente: (Murillo, 2016, p.22)

La humedad también afecta el rendimiento de los motores eléctricos. Contribuye en gran medida en la corrosión de los ejes del motor, cojinetes y rotores. Esto puede conducir a una falla de aislamiento también. El motor debe mantenerse seco todo el tiempo.

2.1.6. Vibración:

Hay varias causas posibles de vibración, como la desalineación del motor. La corrosión de las piezas también puede hacer que el motor vibre. La alineación del motor debe verificarse para eliminar este problema.

La vibración puede causar daños de varias maneras. Tiende a sacudir los devanados sueltos y daña mecánicamente el aislamiento al agrietarse, descascarillarse o rasparse el material. La fragilidad de los cables conductores por el movimiento excesivo y las chispas de los cepillos en los conmutadores o los anillos colectores de corriente también resulta de la vibración. La vibración puede acelerar la falla de los cojinetes al hacer que las bolas se "lleven", los cojinetes de manga se desalinean o las carcasas se aflojen en las carcasas.

Siempre que se encuentren ruidos o vibraciones en un motor en funcionamiento, la fuente debe aislarse y corregirse rápidamente. Lo que parece ser una fuente obvia de ruido o vibración puede ser un síntoma de un problema oculto. Por lo tanto, a menudo se requiere una investigación exhaustiva.

El ruido y las vibraciones pueden ser causados por un eje del motor desalineado o pueden transmitirse al motor desde la máquina accionada o desde el sistema de transmisión de potencia. También pueden ser el resultado de un desequilibrio eléctrico o mecánico en el motor.

2.1.6.1 Vibración debido a excentricidad

La excentricidad es otra de las causas comunes de vibración en la maquinaria rotativa, esto se presenta en la línea central del eje, y no es la misma que la línea central del rotor, el centro de rotación verdadero difiere de la línea central geométrica.

La excentricidad es en realidad una fuente común de desbalances, y se debe a un mayor peso de un lado del centro de rotación que del otro. Una manera de diferenciar entre desbalance y excentricidad en este tipo de motor es medir la vibración con filtro afuera mientras el motor está funcionando bajo corriente.

Luego, se desconecta el motor, observando el cambio de la amplitud de vibración. (Dinámica de Maquinaria, 2015, p.1)

Si la amplitud se reduce gradualmente mientras el motor sigue girando por inercia, es muy probable que el problema sea debido a desbalance; Si, en cambio, la amplitud de vibración desaparece en el momento mismo en que el motor es desconectado, el problema es seguramente de naturaleza eléctrica, y es muy posible que se deba a excentricidad del inducido.



Figura 2. 10 Monitoreo de Excentricidad en motor eléctrico

Fuente: (Dinámica de Maquinaria, 2015)

2.1.6.2 Vibración debida a falla de rodamientos

La vibración generada por el rodamiento normalmente no es transmitida a otros puntos de la máquina. Por lo tanto, el rodamiento defectuoso es generalmente el que se encuentra más cerca del punto donde ocurre el mayor nivel de vibración de este tipo.

Los rodamientos componentes clave de los motores eléctricos admiten y transfieren cargas del eje del motor al bastidor del motor. Los motores eléctricos típicamente incorporan una disposición de cojinetes de localización y no de localización para soportar el rotor radialmente y ubicar el rotor axialmente con relación al estator. Los cojinetes de posicionamiento posicionan el eje y soportan las cargas axiales, mientras que los cojinetes no ubicados permiten el movimiento del eje en la dirección axial y compensan las condiciones de sobrecarga cuando ocurre la expansión térmica del eje. (Dinámica de Maquinaria, 2015, p.2).

La selección, instalación y mantenimiento adecuados de los rodamientos pueden ayudar a prolongar la vida útil de los motores eléctricos. Sin embargo, los rodamientos pueden fallar prematuramente por razones que incluyen erosión eléctrica, lubricación inadecuada y/o cargas que son muy pesadas de lo esperado o que sea demasiado ligeras.



Figura 2. 11 Monitoreo de vibraciones por rodamientos

Fuente: (Dinámica de Maquinaria, 2015)

Los rodamientos no fallan prematuramente a menos que alguna otra fuerza actúe sobre ellos; y tales fuerzas son generalmente las mismas que ocasionan vibración.

Las causas más frecuentes de fallas en los rodamientos de elementos rodantes son:

- Carga excesiva
- Falta de alineamiento
- Defectos de asientos del eje y/o las perforaciones en el alojamiento
- Montaje defectuoso
- Ajuste incorrecto
- Lubricación inadecuada o incorrecta

- Sellado deficiente

2.2 Pruebas y monitoreo

Mediante pruebas dinámicas y estáticas se pueden diagnosticar e identificar problemas potenciales en esta zona de falla del motor, en donde la ubicación de los elementos de medición, pinzas y caimanos de las sondas, juegan un papel determinante en la localización de problema, porque un desbalance de tensión, por ejemplo, puede no ser detectado si el punto de alta resistencia se encuentra aguas abajo del punto de medida. (Transequipo S.A, 2015, p.3).

La prueba estática, que se realiza cuando un motor está fuera de línea, puede determinar la condición del aislamiento y circuito de un motor; mientras que el análisis dinámico del motor, que se realiza mientras el motor está funcionando, puede identificar problemas relacionados con la calidad de la energía y el rendimiento del motor. En conjunto, estas pruebas mostrarán una imagen de la salud del motor y proporcionarán información para diagnosticar con precisión y predecir fallas inminentes. (Hidalgo, 2018, p.2).

Las pruebas estáticas respaldadas por las tecnologías pueden ayudar a determinar si un motor está funcionando hacia una falla eléctrica. El equipo de prueba puede enfocarse en dominios de prueba fuera de línea que incluyen:

- La prueba de resistencia del devanado confirma que los devanados están equilibrados sin problemas de conexión.
- La prueba Meg-ohm verifica la integridad de la pared de tierra y la presencia de humedad y/o contaminación.
- La prueba de polarización determina la limpieza del devanado, la posible degradación térmica y los problemas de contaminación que indican la fragilización y el deterioro del aislamiento.
- Las pruebas de tensión de rampa/paso de voltaje resaltan la integridad de la pared de tierra y los problemas de contaminación y son útiles para determinar la gravedad de la falla del aislamiento.

- La prueba de sobrevoltaje identifica la integridad del aislamiento de giro a giro, cortocircuitos de la bobina e inductancia.

Los valores resultantes de la prueba pueden ser modificados en el tiempo con la aplicación de comprobadores completamente automáticos basados en rutas que pueden rastrear los diversos dominios a lo largo de la vida útil de un motor.

En cuanto al análisis dinámico de motores, una caja de herramientas de tecnologías para pruebas en línea incluye analizadores portátiles y sistemas de monitores conectados a la red. Han sido diseñados para medir lo siguiente: calidad de energía (incluyendo niveles de voltaje, desequilibrio de tensión y cualquier distorsión de la potencia entrante), rendimiento del motor (qué tan duro puede funcionar un motor a través del par de velocidad y temperatura de funcionamiento), sobrecorriente o desequilibrios de corriente, características de par (si un motor está sobre o sin trabajo y niveles relacionados de consumo de energía), conexiones (verificando que todas las fases funcionan simétricamente sin desequilibrio) y variadores de frecuencia (generalmente instalados para mejorar el consumo y la eficiencia general de la planta, pero susceptibles de generar alimentación deficiente) llevando a desgaste prematuro y posible falla) (Hidalgo, 2018, p.3).

Con las nuevas tecnologías, un sistema de análisis de procesadores eléctricos conectado en red y permanentemente instalado puede monitorear automáticamente los motores desde cualquier parte del mundo y recopilar continuamente datos sobre su salud y rendimiento. Tal sistema puede monitorear hasta 30 motores por unidad, medir más de 40 parámetros eléctricos, comparar resultados con límites estándar y mostrar alertas si se han excedido los límites.

Desde una perspectiva general, un programa de mantenimiento de motor eléctrico incluye todos estos protocolos de prueba que puede ayudar a reducir el tiempo de inactividad no programada del motor, detectar causas de raíz de falla del motor, minimizar el tiempo de solución de problemas, ayudar en objetivos de mantenimiento y control de calidad y costos relacionados.

2.3 La Termografía

Es la tecnología que no requiere contacto y se fundamenta en la medición de longitudes de onda infrarrojas para comprobar temperaturas desde una distancia segura. La termografía de infrarrojos produce una imagen radiométrica que permite 'leer' los valores de temperatura. Por lo tanto, cada píxel de la imagen radiométrica es, de hecho, una medición de temperatura. Esto hace de la cámara termográfica una herramienta perfecta para aplicaciones eléctricas y mecánicas (FLIR, 2010, p.7).

Gracias a la termografía, las mediciones pueden ser:

- Sin contacto, mide objetos en movimiento, eléctricamente energizados o que sean peligrosos al contacto.
- Obtenidas sin parar la producción.
- Se pueden efectuar aun en lugares de difícil acceso.
- Se realizan donde el contacto con la superficie dañaría, contaminaría o modificaría la temperatura.
- Capaces de detectar un problema antes de que se produzca el desperfecto.
- Capaces de identificar rápidamente una ubicación específica. (Quintana, 2016, p.1).

2.3.1 Radiaciones infrarrojas

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 muy fríos como el hielo emiten radiación. 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. (Palacios, 2015, p.3)



Figura 2. 12. Espectro electromagnético

Fuente: (Palacios, 2015, p.3)

La figura 2.13 muestra el espectro electromagnético y señala longitudes de onda extremas, como luz ultravioleta (izquierda) y luz infrarroja (derecha), que no son posibles de ser observadas por la visión humana.

No obstante, al situar la cámara termográfica delante de un objeto, ésta recibe energía infrarroja (Véase la figura 2.14) que irradia un objeto (A). De esta manera se enfoca con el sistema óptico (B) sobre un detector de infrarrojos (C).

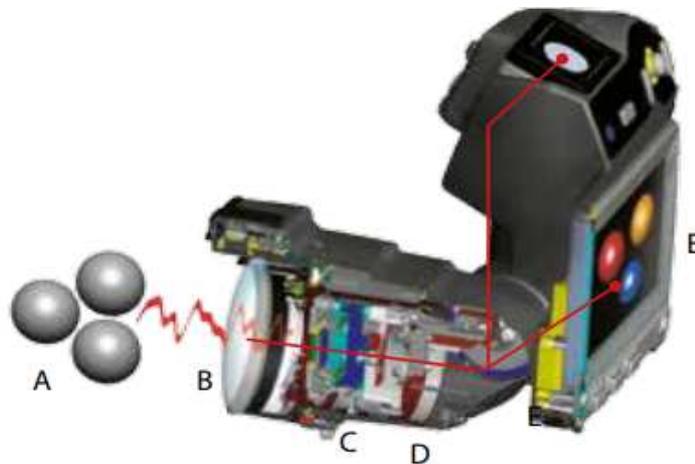


Figura 2. 13 Principio de operación de cámara termográfica

Fuente: (FLIR, 2010, p.7)

El detector envía los datos al sensor electrónico (D) para procesar la imagen, finalmente, el sensor traduce los datos en una imagen (E), compatible con el visor y visualizable en un monitor de vídeo estándar o una pantalla LCD.

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 computador. (Palacios, 2015, p.4).

2.3.2 Tipos de termografía

Existen varios métodos de aplicación de la termografía infrarroja y depende de las necesidades y el alcance de la aplicación. Puede ser cuantitativa o cualitativa y activa o pasiva.

2.3.2.1 Termografía comparativa cuantitativa.

Esta técnica requiere la determinación de un valor de temperatura para valorar la gravedad de la condición de un componente. Este valor se establece mediante la comparación de la temperatura del objetivo con la de los equipos de servicio similar o datos de referencia. Para superficies de alta emisividad, tanto la temperatura T y la diferencia de temperatura ΔT , los valores son generalmente fiables. Los valores de T y ΔT de superficies de baja emisividad son a menudo poco fiables.

El método de termografía comparativa cuantitativa es un método eficaz para evaluar la condición de una máquina o componente mediante la determinación de temperaturas aproximadas. Es muy difícil determinar con precisión las temperaturas reales de un componente utilizando Termografía Infrarroja TIR en el campo. Esto se debe a la física de TIR que debe tener en cuenta los múltiples parámetros que permiten una verdadera medición de la temperatura absoluta. Estas consideraciones son: emisividad, reflectividad y transmisividad (Aldana, 2007, p.34).

Por ende, las estimaciones de estas consideraciones se pueden realizar fácilmente para obtener temperatura aproximada de un componente, la cual en la mayoría de los casos, es más que suficiente para determinar la gravedad de una condición adversa.

La técnica de medición comparativa cuantitativa utiliza estimaciones rápidas de emisividad, mediciones de temperatura aparente reflejada y distancia. Los factores de emisividad de los materiales se obtienen a través de la experiencia

y/o de la literatura. Los valores de emisividad, las distancias y temperaturas aparentes reflejadas se calculan, estos valores se introducen en la cámara de TIR para hallar un valor de temperatura para cada componente. Es un método que proporciona información útil para determinar la severidad de la condición de un componente (Aldana, 2007, p.35)

2.3.2.2 Termografía comparativa cualitativa.

La medición comparativa cualitativa compara el patrón térmico o el perfil de un componente, con la de un componente idéntico o similar en las mismas condiciones de funcionamiento sin la asignación de valores de temperatura a los patrones. Esta técnica es rápida y fácil de aplicar, y no requiere ningún ajuste de la cámara termográfica para compensar las condiciones atmosféricas, ambientales o emisividad de la superficie. Aunque el resultado de este tipo de medición puede identificar una deficiencia, no proporciona un nivel de gravedad (Aldana, 2007, p.35)

2.3.2.3 Consideraciones para las técnicas cualitativa y cuantitativa.

En la termografía cuantitativa la determinación de la temperatura de un objetivo utilizando TIR, puede ser difícil debido a los múltiples factores técnicos y ambientales involucrados. Como resultado de ello, las mediciones absolutas TIR se realizan solamente si los valores de temperaturas muy precisas o pequeñas diferencias de temperatura, son críticos para un proceso y/o investigación. Estas determinaciones son realizadas únicamente en condiciones muy controladas.

La termografía cuantitativa no se utiliza normalmente para la monitorización de estado. Por otro lado, la termografía cualitativa es la técnica más utilizada por la mayoría de las industrias; es muy eficaz en la identificación de los aspectos (hallazgos o anomalías) o puntos calientes en los aparatos eléctricos, las conexiones eléctricas calientes indeseables, fugas o equipos de intercambio de calor de fluido bloqueado y componentes (tubos), las fugas de líquido de recipientes a presión, tuberías y válvulas (Aldana, 2007, p.36).

2.3.2.4 Consideraciones para las técnicas pasiva y activa.

La elección de la técnica depende de la aplicación, del alcance de la inspección y de los resultados que se quieren obtener, así como la precisión requerida. La termografía pasiva tiene aplicación mayormente para el monitoreo de condición de procesos mecánicos, metalúrgicos, eléctricos, construcciones civiles y para diagnóstico médico.

Por otro lado la termografía activa tiene mayor aplicación en la caracterización y determinación de espesores de materiales. También se usa para el análisis de defectos superficiales y subsuperficiales como delaminación, grietas y poros, así como la cuantización precisa de datos.

Termografía Activa. Es aquella donde se estimula la superficie del material con alguna fuente de calor, como lámparas halógenas, resistencias calefactoras, rayos UV, Corriente eléctrica o cualquier otro estímulo externo que eleve la temperatura del material u objeto bajo análisis. Se usa cuando el elemento no produce calor por sí mismo, está en reposo o hace parte de un mecanismo sin transferencia de calor asociado.

Termografía Pasiva. En este caso la radiación censada por la cámara es producida o emitida por el objeto bajo inspección sin necesidad de un estímulo externo. Esta radiación generalmente es producto de un proceso de transferencia de calor (Conducción, convección o radiación), producido por rozamiento mecánico, movimiento mecánico continuo, fluidos en movimiento, corriente eléctrica, o cualquier proceso mecánico o eléctrico presente en componente analizado (Aldana, 2007, p.37).

2.4 Registros directos e indirectos

El registro directo se realiza cuando no hay aislamiento térmico entre el punto caliente y la TIR o este es muy pequeño. La medida Indirecta se presenta cuando hay significativo aislamiento térmico entre la TIR y el punto caliente.

2.5 Monitoreo de estado con termografía

El monitoreo continuo o a intervalos periódicos de la condición y/o estado de una maquinaria, es el objetivo central del mantenimiento preventivo y

predictivo, el cual facilita la temprana detección de costosas fallas y permite identificar prioridades de mantenimiento (Aldana, 2007, p.37).

Las imágenes térmicas muestran sus condiciones de funcionamiento a través de la temperatura de superficie. Aldana (2007) señala al respecto que, la transferencia de calor por conducción que se produce por la corriente fluyendo a través de alambres y componentes eléctricos, generan patrones de radiación característicos que hacen de estos materiales excelentes candidatos para inspección con termografía infrarroja.

Por ejemplo, si una de las cargas de un sistema presenta una carga mayor que las otras, esta presentará una temperatura más alta, con un característico patrón de radiación. El calor adicional se genera en el punto donde hay mayor resistencia y fluye por conducción al punto más frío del cable generando un gradiente de temperatura. (Aldana, 2007, p.38). Los incrementos de temperatura en sistemas aislados son indicadores de problemas graves en algunos casos.



Figura 2. 14 Monitoreo de sistemas eléctricos

Fuente: (Aldana, 2007, p.38)

Por consiguiente, al emplear TIR para el monitoreo de estado y diagnóstico de máquinas y sus componentes relacionados, se recomienda que se establezcan criterios de evaluación de la gravedad de anomalías en la temperatura.

También es vital seleccionar el instrumento de diagnóstico; por ejemplo, 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 (Palacios, 2015, p.7).



Figura 2. 15 Cámara termográfica portátil

Fuente: (Quintana, 2016, p.1)

2.5.1 Criterios de diferencia de temperatura.

Las temperaturas de referencia y los criterios de evaluación deben basarse en las temperaturas históricas o estadísticamente derivadas de máquinas o grupos de máquinas, cuando están en la condición "ideal" de funcionamiento. Los criterios de evaluación deben basarse en las temperaturas establecidas por los fabricantes, de elementos o grupos de equipos o de componentes similares. Se debe entender que estos criterios no deben aplicarse universalmente a tipos de máquinas similares debido a las variaciones locales en la aplicación, proceso, el medio ambiente, ciclo de trabajo, entre otros.

2.5.2 Criterios de temperatura máxima permitida.

Se pueden utilizar criterios de temperatura máxima absoluta admisible, con base en los datos publicados para identificar anomalías del sistema mecánico. Hay dos categorías de criterios, los de material y los de diseño. Los criterios materiales se utilizan cuando la integridad del propio material es de especial preocupación y es el foco de la supervisión. Los criterios de diseño se utilizan cuando la integridad del diseño es la principal preocupación y es el foco de la supervisión. Deben ser utilizados porque normalmente incorporan el

rendimiento, funcionamiento, fiabilidad, capacidad y la firmeza del material. (Aldana, 2007, p.42)

2.5.3 Criterios de aceptación eléctricos.

La norma ISO 18434-1 establece criterios de aceptación y rechazo en sistemas eléctricos. La tabla 2.1 es usada para establecer la escala de prioridad de la situación de riesgo basada en el delta o variación de temperatura (ΔT) encontrado en un sistema. (Aldana, 2007, p.42). Véase en la tabla 2.1 aquellos rangos de temperatura (diferencial) y su clasificación/condición.

Tabla 2. 1 Criterios de aceptación eléctricos

Para efectos de clasificación de fallas se manejan los siguientes criterios, teniendo en cuenta los criterios de la NETA, * O/S: Temperatura Over Similar – O/A: Temperatura Over/Ambient		
DIFERENCIAL DE TEMPERATURA	CLASIFICACIÓN	CONDICIÓN
1°C – 10°C O/A ó < 3°C O/S	En buen estado	BUENO
11°C–20°C O/A y 3°C a 15°C O/S	Probable deficiencia	ACEPTABLE
21°C–40°C O/A y >15°C O/S	Deficiencia	INSATISFACTORIA
>40°C O/A y >15°C O/S	Deficiencia mayor	PELIGROSA

Nota: (Aldana, 2007, p.42)

2.5.4 Aspectos por adquisición de registro termográfico

Hay ciertos aspectos básicos que se deben entender y manejar para la toma adecuada, precisa y eficaz de registro termográfico o termogramas para su posterior análisis.

2.5.4.1 Resolución térmica.

Un mayor número de pixeles permitirá distinguir detalles más pequeños. A una resolución más alta, mayor capacidad para ver objetivos a distancias más largas, una mejor precisión de medición de objetivos pequeños y por lo tanto se podrá encontrar más problemas, mejorar el diagnóstico con un mejor detalle de la imagen y detectar problemas que podrían ser desapercibidos (Infrared Training Center, 2016, p.30). Véase la figura 2.17 resolución desde 160 x 120 hasta 640 x 480 esta última resolución térmica son cámaras termográficas de alta sensibilidad térmica, puntero láser diseñada especialmente para la medición de altas temperaturas.

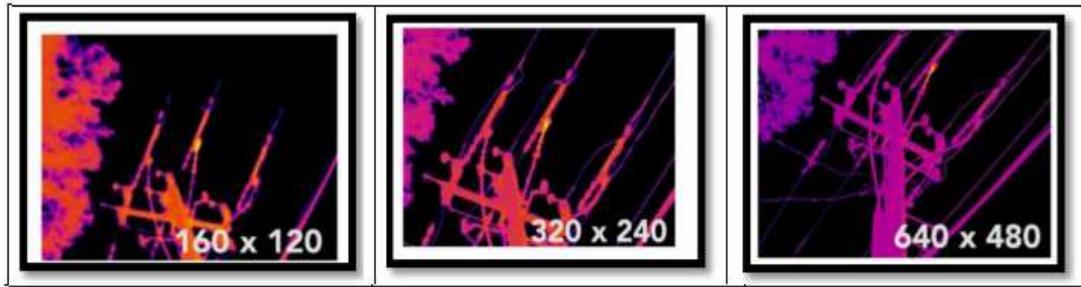


Figura 2. 16 Resolución térmica

Fuente: (Infrared Training Center, 2016, p.30)

2.5.4.2 Elección de la paleta de color.

Las paletas de colores proveen un color superpuesto sobre la imagen real correspondiente a isotermas y gradientes de temperatura, que ayuda a discernir los niveles de variación de esta (Infrared Training Center, 2016, p.30). Las paletas disponibles más comunes en termografía infrarroja son: Hierro (iron), arcoíris (rainbow) y escala de grises (gray). Ver figura 2.18

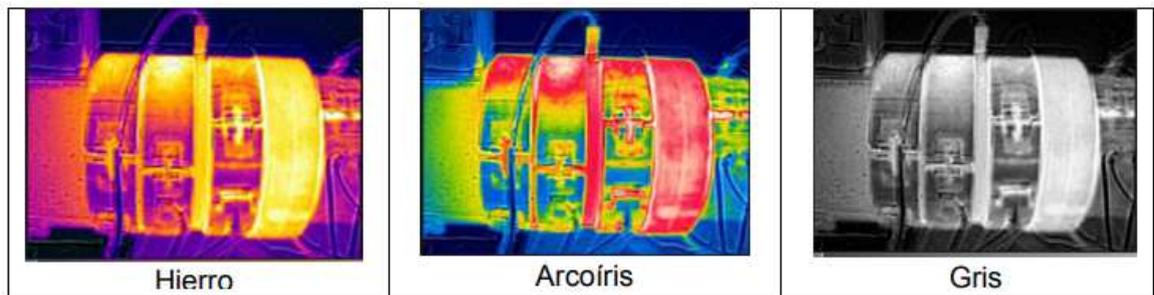


Figura 2. 17 Paleta de colores para termografía

Fuente: (Infrared Training Center, 2016, p.30)

Las mediciones de temperatura son las mismas independientemente de la paleta que se escoja.

- Paleta Hierro. Es la más popular por la buena relación entre la definición espacial (capacidad para reconocer los objetos en la escena) y la sensibilidad termal (capacidad para discriminar entre temperaturas) (Aldana, 2007, p.44).
- Paleta Arcoíris. Proporciona mejor definición y sensibilidad termal que otras paletas a expensas de los detalles y definición espacial de los elementos, por lo tanto, no es fácil examinar lo que se está viendo o

localizar pequeños detalles. Así mismo es más difícil enfocar correctamente por las mismas razones.

- Paleta Escalas de grises. Gris es una gran paleta para estar a la mira de identificaciones espaciales en la imagen y se hace mucho más fácil reconocer objetos (Aldana, 2007, p.44).

2.5.4.3 Enfoque.

Como cualquier cámara una infrarroja debe ser enfocada para obtener buenos resultados ya que imágenes fuera de foco proveen medidas incorrectas. Véase la figura 2.19

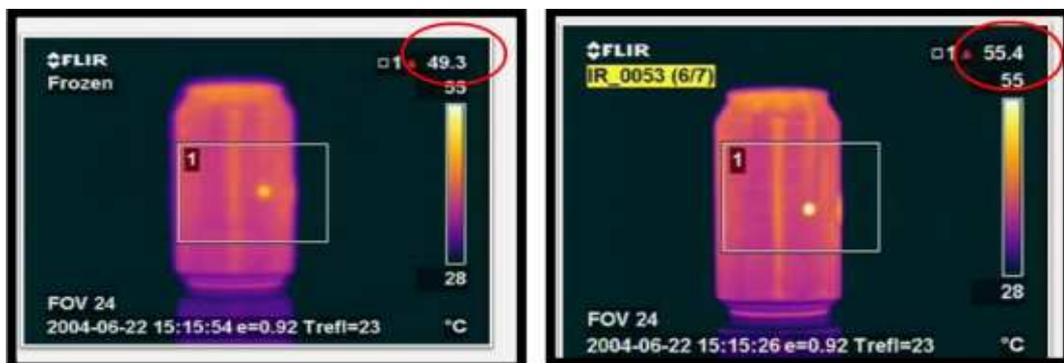


Figura 2. 18 Ejemplo de enfoque en la medición de la temperatura

Fuente: (Infrared Training Center, 2016, p. 31)

En la figura 2.19, afecta la temperatura un enfoque incorrecto (diferencia de 5 °C), esto debe hacerse al momento de la medición ya que una vez tomado el termograma no es posible cambiar el enfoque (Infrared Training Center, 2016, p. 31)

2.5.4.4 Nivel e intervalo.

El rango de temperatura delimita las medidas mínimas y máximas que se consiguen tomar con la cámara IR, el objeto a medir debe estar dentro del rango de temperatura de la cámara. El intervalo es una parte o franja dentro del rango de temperatura, que puede ser ajustado con la cámara o con el software y precisa el contraste térmico de la imagen (figura 2.20). El nivel es el punto medio del intervalo y define el brillo de la imagen.

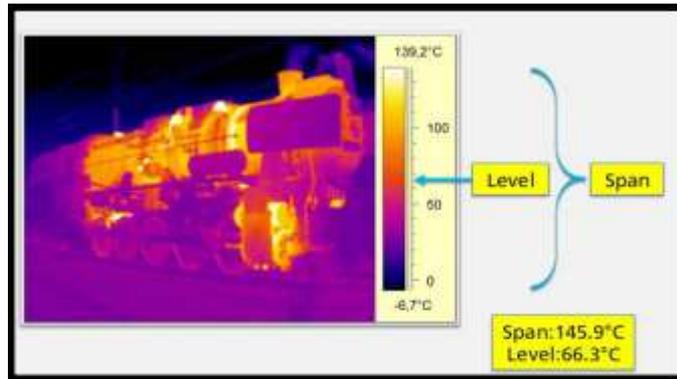


Figura 2. 19 Sintonización

Fuente: (Infrared Training Center, 2016, p. 31)

A este proceso de modificar el intervalo y el nivel se le llama sintonización, sin la apropiada sintonización térmica, algunas anomalías o discontinuidades pueden ser no observables en el termograma.

2.5.4.5 Temperatura de medición.

La cámara recibe radiación que se produce directamente desde el objeto inspeccionado e indirectamente por reflejos desde las fuentes circundantes a él. Sólo la radiación emitida por el propio objeto (W_{ϵ}) está relacionada con la temperatura de la superficie del cuerpo (ver figura 2.21) y la radiación reflejada se denomina temperatura aparente reflejada (T_{Refl} o W_p) (Aldana, 2007, p.44).

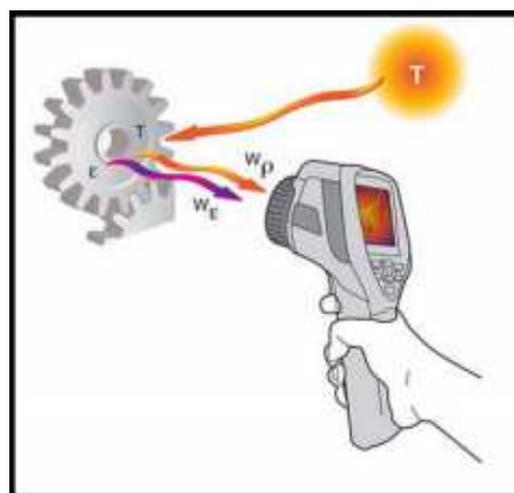


Figura 2. 20 Radiación termográfica

Fuente: (Infrared Training Center, 2016, p. 32)

Temperatura Aparente Reflejada (RAT).

Una temperatura aparente es la temperatura no compensada leída por una cámara de los objetos alrededor que reflejan sobre el punto a evaluar. La temperatura no compensada comprende las emisiones desde el objeto más la temperatura reflejada del alrededor y es importante tenerla en cuenta al momento de tomar termogramas, puesto que pueden dar medidas incorrectas generalmente mayores a las reales (Infrared Training Center, 2016, p.32). Como la cámara ve la energía que es reflejada por objetos circundantes como la emitida por el objeto bajo inspección, se debe diferenciar cual es cual y compensar apropiadamente. La RAT reflejada es un parámetro importante para usar en conjunto con la emisividad, son parámetros necesarios para realizar mediciones correctas.

Emisividad en la medición de temperatura.

Materiales con altos valores de emisividad son fáciles de interpretar y medir es decir se puede confiar en lo que se ve, por otro lado, materiales con bajos valores de emisividad reflejan bastante de la radiación de los alrededores y generalmente no permiten diagnósticos realistas, es decir no se puede confiar en el termograma obtenido. En la figura 2.22 hay tres diferentes superficies: el acero, la cinta plástica negra y el papel con el código de barras, son tres materiales distintos a la misma temperatura.



Figura 2. 21 Emisividad de un objeto material

Fuente: (Infrared Training Center, 2016, p. 33)

Al examinar con la cámara termográfica existe una gran diferencia entre la temperatura de la cinta y la etiqueta de papel respecto a la del acero, esto se debe a la baja emisividad del acero pulido comparada con la alta emisividad de la cinta aislante y la etiqueta de papel. Esto puede causar problemas de interpretación y de medición si no se está familiarizado con la emisividad de los diferentes materiales (Infrared Training Center, 2016, p.33). Los valores de emisividad según el material se clasifican de la siguiente manera:

- Baja: Metales no recubiertos ni pulidos con emisividad debajo de 0.5.
- Media: Metales oxidados y corroídos con emisividad de 0.5 a 0.85.
- Alta: Materiales no metálicos con emisividad de 0,85, materiales cerámicos y cintas aislantes y cintas eléctricas a 0.95.
- Si la emisividad es baja < 0.5 . No se debe intentar la medida a menos que encuentre un alto punto de emisividad como una cavidad.
- Si la emisividad es media (0.5 a 0.85), se debe tratar de aplicar revestimientos como pinturas o cintas en la medida de lo posible.
- Si la emisividad es alta > 0.85 , Se puede confiar en lo que se observa.

2.5.5 Termografía en problemas mecánicos y eléctricos

Muchos problemas mecánicos en máquinas se traducen en mayores esfuerzos y fricción en las partes en movimiento. Mayor fricción supone un calentamiento mayor de las piezas y los rodamientos se deterioran con el incremento de la temperatura. El sistema no es eficiente, pues consume más energía, y representa un riesgo de accidente. Aunque se debe tener en cuenta que las imágenes térmicas muestran las condiciones de funcionamiento a través de la temperatura superficial, que dará una estimación aproximada de la temperatura interna del motor.

Con la cámara termográfica, se logra identificar problemas en una etapa temprana, de forma que se logra documentar y corregir antes de que se empeoren y resulten más costosos de reparar (Quintana, 2016, p.2).

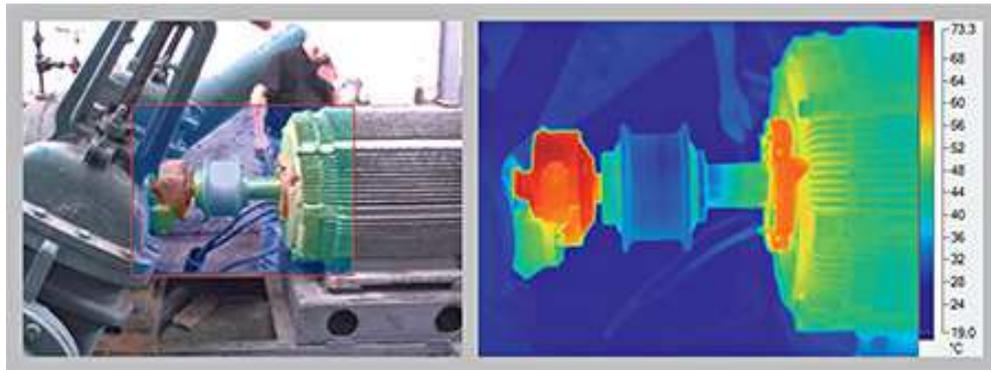


Figura 2. 22 Termografía aplicada a motor eléctrico

Fuente: (Quintana, 2016, p.2)

Una termografía con datos de temperatura precisos proporciona al responsable de mantenimiento información importante acerca del estado del equipamiento inspeccionado. Estas inspecciones se pueden realizar mientras el proceso de producción se encuentra en pleno funcionamiento y, en muchos casos, el uso de una cámara termográfica puede incluso ayudar a optimizar el propio proceso de producción (FLIR, 2010, p.10).

2.5.6 Termografía en sistemas electromecánicos

Algunos problemas eléctricos y mecánicos son fáciles de detectar con la termografía y pueden ser resueltos y evitados adecuadamente con un buen plan de mantenimiento que tenga en cuenta necesidades de lubricación, alineamiento de ejes, vibraciones, etc.

Tabla 2. 2 Típicos problemas en máquinas eléctricas

ELECTROMECAÁNICO	
Componentes generalmente inspeccionados	Razones típicas para la existencia de puntos calientes o desviaciones de temperatura.
• Motores	• Enfriamiento deficiente debido a un menor flujo de aire.
• Bombas	• Los problemas de calidad de energía tales como desequilibrio, sobrecarga o 5ª armónica (voltaje), ocasionarán disipación de calor.
• Intercambiadores de calor	Ocasionarán disipación de calor. • Alineación deficiente. • Problemas de aislamiento con los bobinados de un motor. • Problemas de cojinetes: lubricación, desgaste, etc.

Fuente: (Quintana, 2016, p.2)

Aparte se puede detectar sobrecalentamiento en tableros eléctricos, pues puede ocurrir, por ejemplo, que, debido a un cálculo inapropiado, un disyuntor térmico (ej. 20A y 220V) quede expuesta a intensidades mucho mayores. En ese caso la cámara de temperatura o cámara termográfica permitirá descubrir

fácilmente el problema, al mostrar el disyuntor térmico sobrecalentado en forma inmediata al operario.

2.5.7 Detección de sobrecalentamiento en motores eléctricos

La detección de zonas calientes en los motores eléctricos generalmente en los ejes, los rotores o los estatores. Un motor eléctrico puede sobrecalentarse si se producen fricciones entre las partes móviles y las fijas, debido, por ejemplo, a cojinetes defectuosos o a algún daño en el bobinado que genere un desbalanceo o trepidación.

En este caso es importante detectar a tiempo estas anomalías, para evitar daños permanentes en el bobinado o en las piezas mecánicas (provocaría un incendio si no se realiza el mantenimiento adecuado).

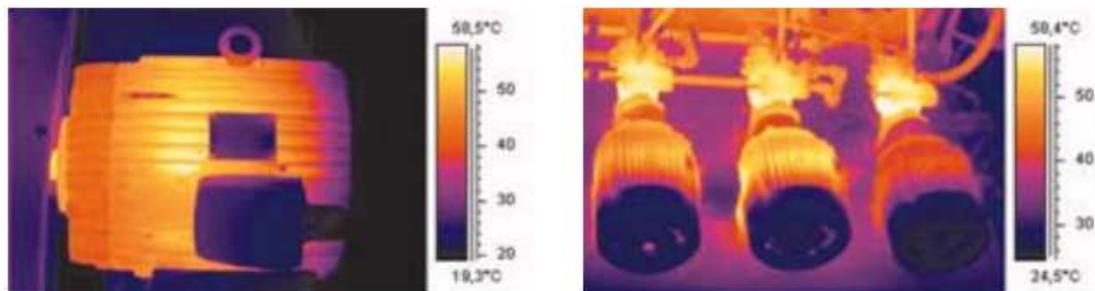


Figura 2. 23 Sobrecalentamientos de motores

Fuente: (Palacios, 2015, p.8)

En cuanto a problemas de aspecto mecánico, se destaca los siguientes aspectos:

2.5.8 Detección fallo de rodamientos

En caso de un motor con fallo en los rodamientos, se consiguen los perfiles térmicos y las imágenes termográficas. En la figura 2.25 muestra **a)** la termografía de un motor sano y **b)** el motor con fallo de rodamientos en un instante del régimen permanente, y donde se aprecia la distribución de temperaturas, de acuerdo a la escala térmica de la imagen fijada con un mínimo de 21° C y un máximo de 90° C. (Picazo, 2016, pág. 137)

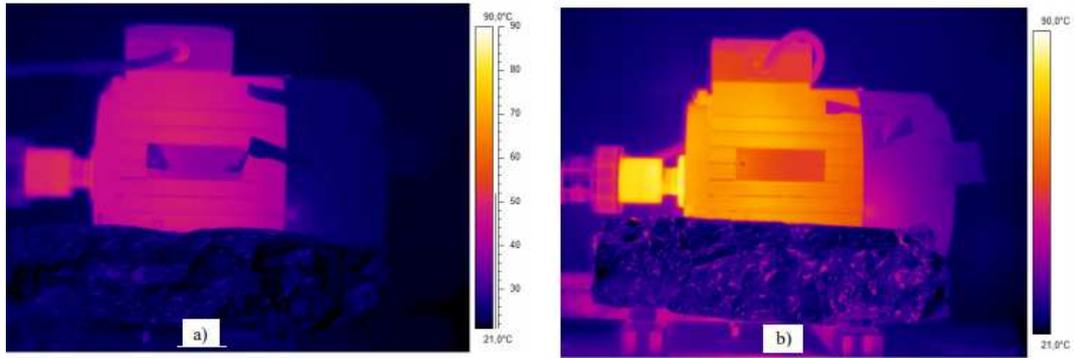


Figura 2. 24 a) Termograma del motor sano en régimen permanente; b) Termograma del motor con fallo de rodamientos en régimen permanente.

Fuente: (Picazo, 2016, pág. 137)

Se aprecia una diferencia en el comportamiento térmico entre el motor sano y el dañado, mostrando mayores diferencias en el área cercana al rodamiento.

2.5.9 Detección de barras rotas

Para el motor con barras rotas, los perfiles térmicos de las áreas seleccionadas de la región cercana al rodamiento y de la superficie del motor, se muestra las imágenes termográficas (figura 2.26). Tras visualizar las imágenes termográficas y los perfiles térmicos, se aprecia un incremento de temperatura de este fallo en comparación con el motor sano, tanto en la región cercana al rodamiento como en la superficie del motor, en régimen transitorio y permanente.

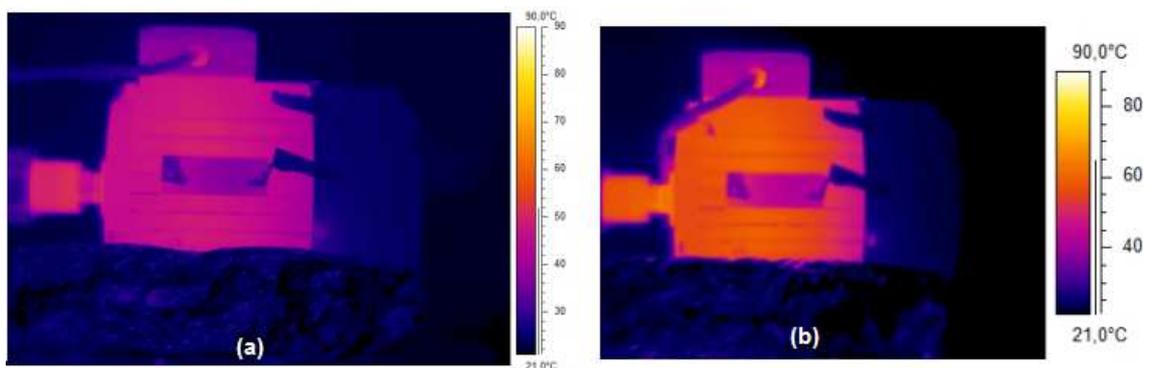


Figura 2. 25 Termograma del motor sano en régimen permanente; b) Termograma del motor con barras rotas en régimen permanente

Fuente: (Picazo, 2016, pág. 140)

En cuanto a la comparación de temperaturas seleccionadas entre sí, se observa que la temperatura en ambas regiones evoluciona con una pendiente similar, aumentando con el mismo ratio, al igual que en el caso del motor sano y del fallo del sistema de ventilación. Es decir, la temperatura se distribuye homogéneamente por toda la superficie del motor con este tipo de fallo. (Picazo, 2016, pág. 140) Este tipo de fallo resulta complicado de detectar mediante termografía.

Aún en el caso descrito que resulta bastante crítico (9 barras rotas sobre un total de 28), no se aprecia más que un incremento de temperatura generalizado cuyo origen resulta complicado de discriminar. Comprobaciones efectuadas para el caso de menor severidad del fallo (1 barra rota) muestran que este fallo resulta complicado de detectar con la técnica de termografía. Esto es, en cierto modo, lógico por cuanto es un fallo de naturaleza interna al motor y el esperable incremento térmico en las barras adyacentes a la que se rompe motor, se disipa rápidamente dada la elevada conductividad térmica de la jaula.

2.5.10 Detección de desequilibrio de fases

En la figura 2.27 se muestra las imágenes termográficas de desequilibrio de fases de alimentación eléctrica para un motor. Se aprecia un aumento generalizado de la temperatura en comparación con el motor sano, principalmente en la en la zona central superior del motor. (Picazo, 2016, pág. 143).

La herramienta isoterma permite destacar las áreas que se encuentran a la mayor temperatura en un momento determinado, por lo que hace posible la visualización de dicha concentración de temperaturas en un área determinada. Una explicación a este hecho se debe al sobrecalentamiento de las fases operativas, que constituyen el devanado estático y el calor generado se transmite por conducción a través del paquete magnético.

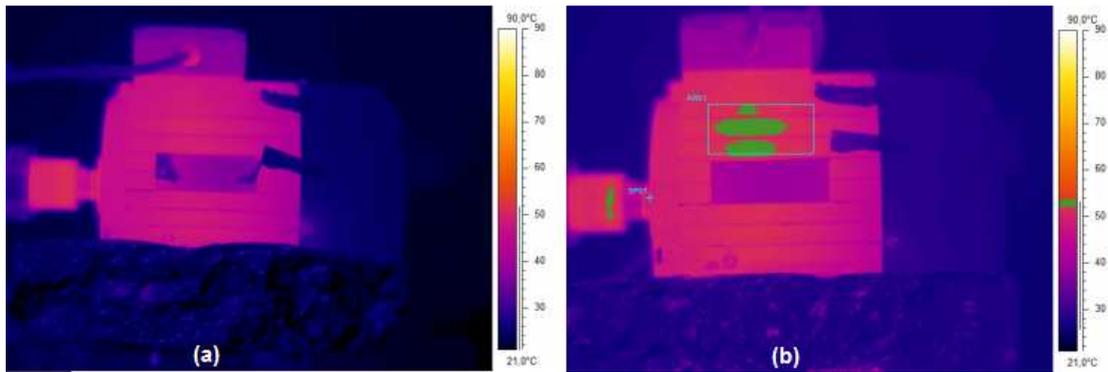


Figura 2. 26 a) Termograma del motor sano en régimen permanente; b) Termograma del motor con desequilibrio de fases al 50%

Fuente: (Picazo, 2016, pág. 142)

Tras visualizar la evolución frente al tiempo de perfiles térmicos, se aprecia un ligero incremento de temperatura en la superficie del motor en comparación con el motor sano, tanto, en régimen transitorio y permanente

2.5.11 Detección de cojinetes calientes

Existen diversas maquinarias que hacen un uso intensivo de los cojinetes, tanto los de fricción como los de rodamientos: tornos, fresadoras, perforador de banco, motores. También son muy utilizados en medios de transporte, principalmente el ferroviario.

La detección de cojinetes calientes, en todos esos casos, es decisiva para la correcta ejecución del mantenimiento preventivo. Una detección temprana de temperaturas inusuales permite reemplazar los cojinetes defectuosos y evitar costosas reparaciones y pérdidas materiales, tales como reemplazos de puntas de ejes, llantas, ejes y rieles (si se trata de rodados ferroviarios).

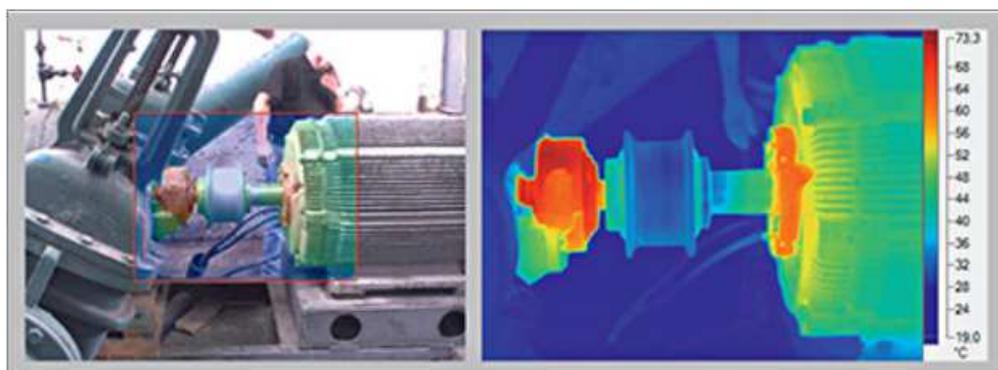


Figura 2. 27 Cojinetes calientes detectados por termografía

Fuente: (FLIR, 2010, p.20)

El campo de diagnóstico y monitoreo a través de cámaras termográficas es amplia, ya que no sólo puede medir la temperatura de objetos sino también, se implementa en áreas industriales, de construcción, de seguridad, fabricación, entre otras.

Las cámaras termográficas permiten detectar fallas o desperfectos que no son visibles para el humano, con lo cual se puede realizar el mantenimiento preventivo o arreglo (correctivo) de manera oportuna, evitando pérdidas económicas. Algunos de los fallos que se pueden detectar son:

En el área de electricidad:

- Presencia de óxido en los conmutadores de alta tensión.
- Conexiones eléctricas mal establecidas o defectuosas.
- Fallas o defectos en aislantes.
- Sobrecalentamiento de conexiones eléctricas.
- Daños en fusibles eléctricos.
- Corrosión de conexiones.
- Falla en ruptores internos.

En el campo mecánico:

- Motores sobrecalentados.
- Bombas sobrecargadas.
- Rodillos con fallas.
- Motores eléctricos con desperfectos.
- Sobrecalentamiento de cojinetes.

En infraestructuras:

- Fallas en la calefacción o en el aire acondicionado.
- Áreas calientes por sobrecalentamiento.
- Presencia de humedad en las paredes.
- Presencia de goteras en los techos.

- Fuga de aire.
- Fallas en la construcción.

Todos estos problemas, entre otros, pueden ser detectados con el uso de la cámara termográfica. No solo se evita la pérdida de dinero al evitar que los problemas o fallas se magnifiquen.

2.6 Procedimiento de uso de cámara de temperatura

El calentamiento anormal asociado con la alta resistencia o el flujo excesivo de corriente es la causa principal de muchos problemas en sistemas eléctricos. Cuando la corriente fluye a través de un circuito, parte de la energía eléctrica se convierte habitualmente en energía térmica.

Pero si hay una resistencia demasiado alta en el circuito, o un flujo de corriente demasiado alto, se genera calor alto, que implica desperdicio y posibles daños. Asimismo, los cables de calibre insuficiente, conexiones flojas o elevado flujo de corriente pueden provocar un calentamiento anormal alto, que conduce a circuitos eléctricos cuyos componentes pueden recalentarse, hasta fundirse e inclusive puede provocar un incendio.

El uso de la cámara de temperatura facilita y optimiza el trabajo de electricistas, constructores, etc. A continuación, en la figura 2.29 se puede observar el uso de cámara de temperatura.



Figura 2. 28 Cámara de temperatura
. Fuente: (Quintana, 2016, p.2)

Estas herramientas permiten detectar fallas en instalaciones, identificar el elemento con riesgo de falla o defectuoso, el monitoreo de fallas en tiempo real, así como cuantificar gravedad de falla. Su aplicación está para diferentes equipos eléctricos: bornes de transformadores, transformadores, interruptores, cables y piezas de conexión, entre otros. Esto permite reducir el riesgo para personal de mantención, ayudar al mantenimiento preventivo o correctivo, y responder a medición a distancia, sin afectar el funcionamiento de las instalaciones.

Las diferencias de temperatura entre fases pueden indicar la presencia de cargas poco equilibradas, armónicos, problemas en los componentes, conexiones incorrectas o cableado defectuoso. En la tabla 2.3 se hace un breve resumen de detección de fallas, según su área.

Tabla 2. 3 Detección de problemas según área

Área	Comprobación y/o detección de:
Electricidad	<ul style="list-style-type: none"> • Fusibles sobrecalentados • Conexiones sueltas entre cables • Defectos de aislantes
Instalaciones de sistemas HVAC	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de tuberías • Temperatura de radiadores y tubos • Condiciones del ambiente
Instalaciones de pisos y aberturas	<ul style="list-style-type: none"> • Variaciones de temperatura • Instalación de nuevas estructuras
Pintura	<ul style="list-style-type: none"> • Variaciones de temperatura • Posibilidad de formación de moho • Temperatura de la superficie a pintar

Nota: Fuente: (Quintana, 2016, p.2)

Este tipo de cámaras de temperatura, realizan las mediciones entre dos puntos láser que se proyectan una vez que se activa la función de medición. Establecen la media de los valores referenciados en la superficie circular y muestran las temperaturas de la superficie, o la humedad relativa del aire, medidas por un pequeño sensor situado entre el gatillo y la cámara. Véase en la figura 2.30.

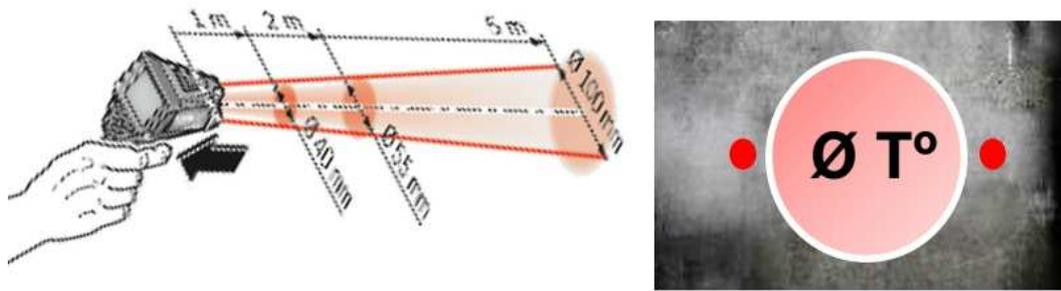


Figura 2. 29 Uso de la cámara de temperatura

Fuente: (Quintana, 2016, p.2)

La cámara está optimizada para usarla a una distancia de 1 metro, aunque son posibles distancias de hasta 5 metros. Cuanto más próxima esté la cámara del objeto a medir, menor será el área de medición y más precisa será la medición.

Aun así, si la cámara termográfica es más efectiva en diagnóstico del sistema eléctrico de tablero y partes del sistema de alimentación eléctrica a otros equipos. En la figura 2.31 se puede ver una cámara con monitoreo térmico en instalaciones eléctricas.



Figura 2. 30 Monitoreo térmico en instalaciones eléctricas

Fuente: (Quintana, 2016, p.3)

El monitoreo de fallas en tiempo real, así como cuantificar gravedad de falla. Su aplicación es para diferentes equipos eléctricos: bornes de transformadores, interruptores, cables y piezas de conexión, entre otros.

Estas condiciones pueden dar lugar a un aumento en los costos de energía y pueden dañar los cables o las máquinas, o incluso las pequeñas diferencias de temperatura entre las fases para determinar la raíz del problema.

Capítulo 3

Metodología para diagnóstico termográfico en los motores eléctricos

3.1 Metodología para diagnóstico por termografía

La inspección termográfica es un análisis instrumental para definir y precisar las condiciones específicas de un equipo y sus partes, a través del comportamiento de las temperaturas de operación. Esta es una prueba no destructiva que permite, mediante la implementación de un programa mensual, trimestral, semestral o anual de inspecciones, minimizar la probabilidad de fallas.

A continuación, se propone la combinación de técnicas no invasivas (análisis de corrientes y termografía). Las técnicas de análisis de corrientes y de termografía infrarroja son las principales técnicas predictivas para el monitorizado de los fallos más relevantes de los motores de inducción. Ambas técnicas destacan por su carácter no intrusivo, además de la facilidad para la adquisición de datos, con la máquina en funcionamiento, sin ocasionar ningún riesgo para los operarios, debido a la ausencia de contacto con el sistema durante la inspección. Incluso, en el caso del análisis de corrientes, la medida se puede efectuar de forma remota, desde la subestación o cuadro del que se alimenta el motor.

Un programa de inspección termográfica tiene por objetivo reducir el riesgo de paradas no programadas, aumentar la productividad, mejorar la seguridad y clasificar y definir tendencias de los historiales térmicos. Usualmente una falla tiene un tiempo de deterioro lento, debido a los esfuerzos que se va sometido el material y las curvas de carga, no uniformes, que debe llevar a cabo en un proceso.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de flujo para un procedimiento de inspección o diagnóstico por termografía.

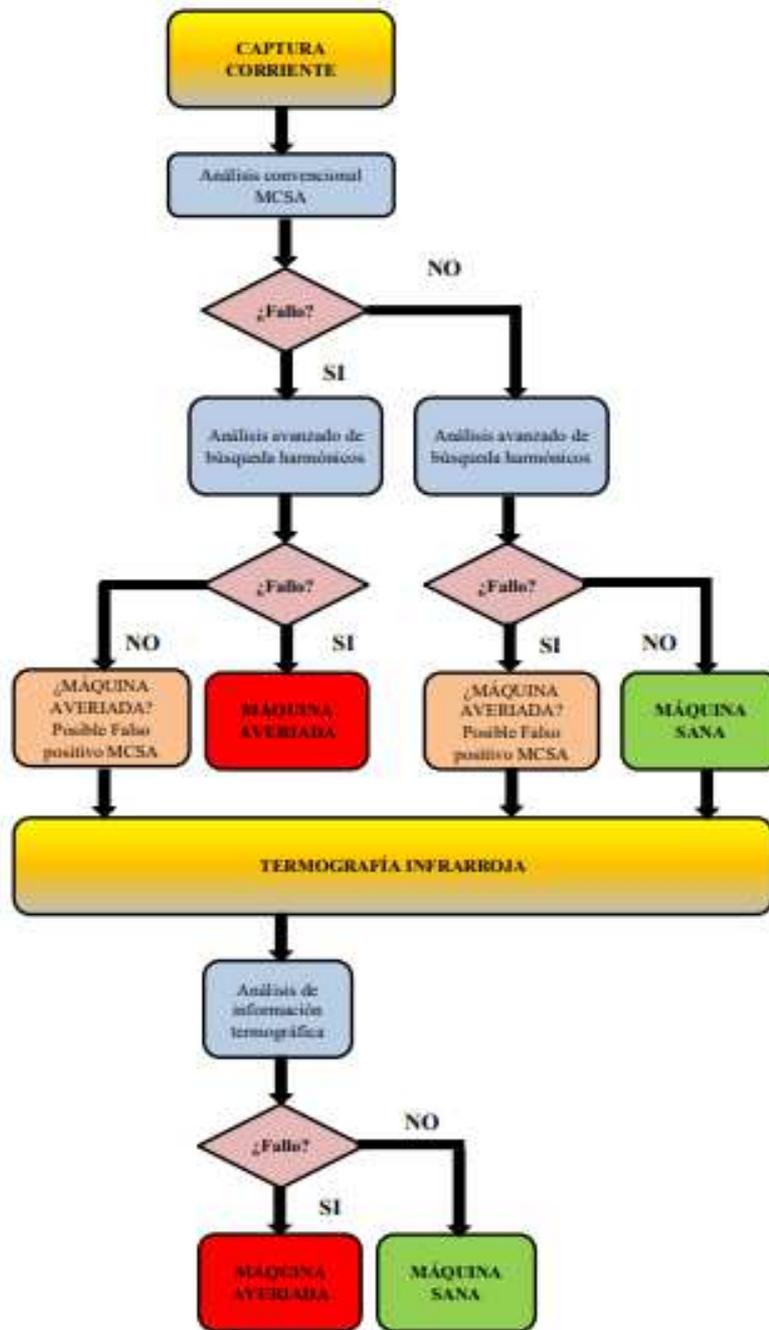


Figura 3. 1 Diagrama de flujo para diagnóstico termográfico

Fuente: (Picazo, 2016, pág. 150)

Por tanto, se estima, que el uso combinado de diversas tecnologías ayudará a diagnosticar un rango más amplio de averías, obteniendo al mismo tiempo resultados más fiables que si se empleara una sola técnica.

El procedimiento se basa en la aplicación del método SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*, Transformación de característica invariable de escala) a

las imágenes termográficas obtenidas de los ensayos de termografía infrarroja.

Dicho procedimiento, se basa en identificar y localizar sobre la imagen de referencia del motor sano, aquellos objetos o puntos de interés que interesa relacionar con el resto de las imágenes, conocidas como imagen objetivo, procedentes de los ensayos termográficos realizados con el motor deteriorado como consecuencia de las distintas simulaciones de fallo efectuadas.

De esta manera, se pretende extraer un gran número de puntos de interés desde la imagen inicial de referencia y la imagen objetivo en cada caso y relacionarlos utilizando las transformaciones geométricas del método de reconocimiento de imágenes utilizado.

Una vez obtenidos los puntos de interés, que no son más que los ratios de las temperaturas significativas del conjunto de imágenes termográficas, tanto del motor sano como del motor en estado de fallo, se procede a representarlos en un espacio tridimensional, para analizar las similitudes o diferencias de las ubicaciones de cada uno (Picazo, 2016, pág. 150).

El análisis termográfico para los motores eléctricos facilita clasificar e identificar los componentes defectuosos por medio de una comparación de, las temperaturas de operación del equipo, frente a la temperatura del medio ambiente o de un equipo similar en las mismas condiciones de trabajo.

Finalmente, para validar el procedimiento, se realiza un proceso de clasificación de los datos obtenidos. Para ello, se utilizan dos de los métodos de mayor relevancia.

El esquema del procedimiento termográfico se muestra en la figura 3.2.

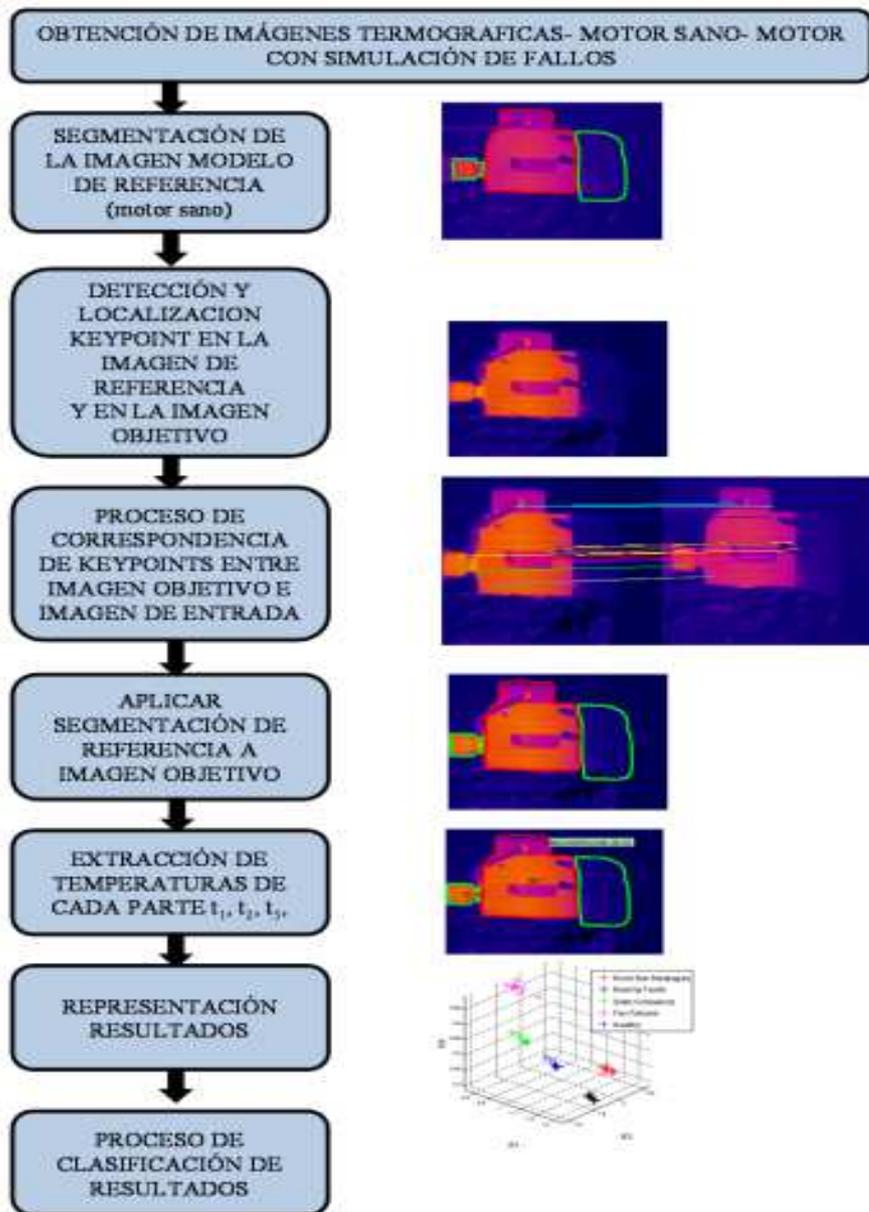


Figura 3. 2 Metodología para termografía

Fuente: el autor, Modificado a partir (Picazo, 2016, pág. 151)

3.1.1 Metodología para análisis termográfico

Esta metodología es recomendada por los autores (Neita & Peña, 2011, pág. 109), como propuesta para mantenimiento predictivo de motores eléctricos.

1. Una vez que se dé las órdenes de trabajo para la realización de las inspecciones termográficas con las diferentes técnicas de mantenimiento predictivo, teniendo en consideración la selección del equipo a inspeccionar, establecer las prioridades y frecuencias de inspección,

diseñar la ruta a seguir y hacer seguimiento de los resultados obtenidos, analizar las tendencias térmicas en el ciclo de vida de los equipos y componentes inspeccionados, entre otras.

2. Revisión de la Orden de Trabajo (OT) para la ejecución de la inspección termográfica de los equipos en los respectivos sitios de la planta, sí no se encuentra la OT se debe generar, para poder realizar la inspección. (Neita & Peña, 2011, pág. 110).
3. Identificación de la ruta de trabajo a realizar y revisión de los historiales térmicos de los equipos de la ruta.
4. Diligenciamiento de los permisos requeridos para la ejecución de la inspección termográfica.
5. Revisión del estado de la cámara y sus componentes entre ellos la carga de la batería y de las baterías de repuesto, adicionalmente, los elementos de medición de las condiciones del entorno como pirómetro óptico, voltímetro, pinza amperimétrica, etc.
6. En el sitio de la inspección se debe identificar los equipos a examinar y los parámetros de compensación del entorno necesarios, según el tipo de cámara termográfica a emplear, entre ellos: temperatura ambiente, distancia de observación, emisividad, humedad relativa y temperatura reflejada. Antes de abrir cualquier tablero o casilla se debe hacer un barrido de todos los tableros o casillas para reconocer si hay una zona con una temperatura alta que advierta una precaución adicional antes de abrirla (Neita & Peña, 2011, pág. 110).
7. Ejecución de la inspección termográfica a los equipos, teniendo en cuenta las variables de cada equipo que pueden afectar los resultados especialmente el enfoque, la temperatura ambiente, la humedad relativa, la emisividad del equipo, la distancia al equipo y el rango de temperaturas. También, se debe mantener las medidas de seguridad y los elementos de protección personal. (Neita & Peña, 2011, pág. 110).

En el momento de las tomas de los termogramas, se recomienda llenar el formato de inspección con los parámetros, observaciones de cada equipo y permite llevar un registro ordenado de éstos, facilitando el análisis posterior de las imágenes térmicas y disminuyendo los errores en la generación de los reportes, al igual, se recomienda tomar una foto digital del equipo para ser más específico cuando se cree el informe.

8. Cuando se concluye la ruta de inspección se procede a finalizar la orden de trabajo.
9. Una vez se descarguen las imágenes en el software termográfico empleado para el análisis posterior de los termogramas de forma individual teniendo en cuenta las normas, la tendencia térmica del equipo, si existe. Con el fin de establecer el grado de severidad en que se encuentra los elementos inspeccionados.
10. Finalizado, el análisis se elaboran los reportes respectivos y se actualiza el historial térmico de los equipos. Si del análisis anterior se establece una falla, se genera la orden de trabajo para el mantenimiento respectivo. Además, toda esta información de debe estar archivada.
11. Finalizado el mantenimiento correctivo del equipo o equipos se recomienda hacer una re-inspección termográfica de estos para confirmar que se ha corregido la falla (Neita & Peña, 2011, pág. 111).

En la figura 3.3 se puede apreciar la metodología para la inspección termográfica de motores eléctrico, como herramienta técnica para mantenimiento predictivo.

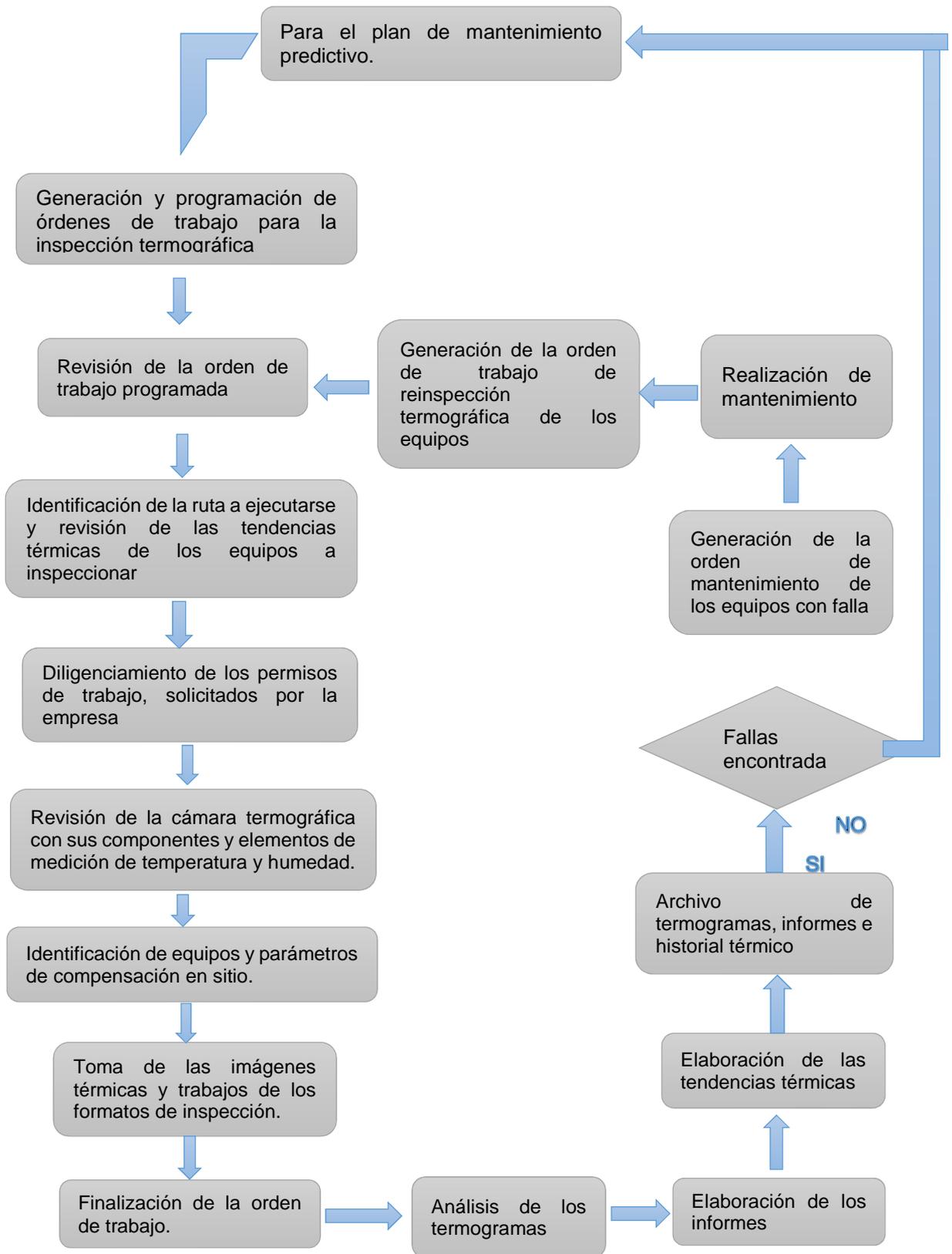


Figura 3. 3 Metodología para la inspección termográfica de motores eléctricos

Fuente. El autor

3.2. Interpretación de imágenes e indicaciones

Para la interpretación se utiliza el software especializado para analizar termogramas y crear informes de inspección. 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. (Palacios, 2015, p.7).

El experto Patricio Quintana (2016) señala que más del 60% de la energía eléctrica consumida a nivel industrial se predestina a la operación de motores eléctricos que accionan a su vez diversos tipos de máquinas. La eficiencia de los motores y máquinas se ve afectada por la alimentación eléctrica y los problemas mecánicos, traduciéndose en mayor vibración y calentamiento excesivo del equipo.

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, etc. (Palacios, 2015, p.8).

Es así como los desequilibrios de voltaje degradan el funcionamiento y acortan la vida de un motor trifásico; el desequilibrio de voltaje en las bornes del estator del motor causa un desequilibrio de la corriente que no guarda proporción con el desequilibrio del voltaje. En tanto, el efecto de las corrientes desequilibradas es la presencia de pulsaciones de par, aumentan las vibraciones y los esfuerzos mecánicos, incrementándose las pérdidas y el calentamiento, lo que acorta la vida del aislamiento. (Quintana, 2016, p.1)

Se recomienda que el desequilibrio en terminales del motor no exceda el 1%. Desequilibrios superiores a dicho porcentaje requieren reducir la potencia demandada al motor (según tabla de NEMA MG-1 2003, revisión 1-2004), anulando en gran parte las garantías de los fabricantes.

Como causas habituales de desequilibrio (Quintana, 2016, p.1), se mencionan:

- Operación defectuosa de equipos de corrección de factor de potencia.
- Red de suministro desequilibrado o inestable.
- Banco de transformadores suministrando una carga en un sistema trifásica en situación de sobrecarga.
- Fallas a tierra monofásicas.
- Uno de los circuitos del primario de distribución abierto.

3.3 Levantamiento termográfico en motores eléctricos de planta de concentrados de banano

A continuación, se detalla el procedimiento para el levantamiento termográfico en motores eléctricos de una procesadora de puré de banano.

Paso 1: Establecer un rango de temperatura que incluya aquellas temperaturas que se espera medir.

Paso 2: Posición y campo de visión:

- Comprobar los reflejos (moverse, si es necesario).
- Comprobar la resolución del puntero, tamaño/detalle (acercarse, si es necesario y es posible según normas de seguridad).

Paso 3: Medir e introducir en la cámara, las distancias a la que se van a tomar los termogramas del objeto a inspeccionar

Paso 4: Enfocar la imagen.

Paso 5: Medir, compensar e Introducir los siguientes parámetros en la cámara siguiendo los procedimientos de los estándares ASTM.

- Emisividad.
- Temperatura reflejada

Pasó 6: Guardar las imágenes visibles y térmicas (termogramas).

Paso 7: Analizar las indicaciones y/o hallazgos en los termogramas, con un software especializado, bajo criterios de aceptación y/o rechazo.

Paso 8. Generar los reportes de los hallazgos y anomalías encontradas.

A continuación, se detalla el levantamiento termográfico.

3.3.1 Banda transportadora #1 con un motor 25 HP



Figura 3. 4 Bandas transportadoras

Fuente. El autor

Termograma

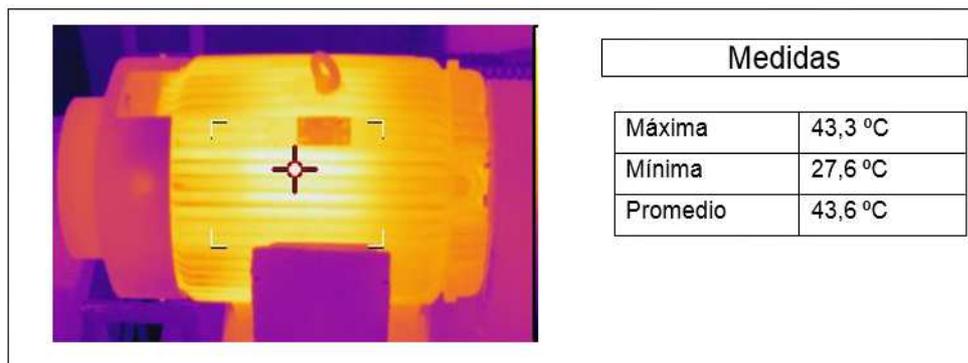


Figura 3. 5 Termograma

Fuente. El autor

Diagnóstico:

- Localización de la falla: Núcleo del motor se observa más temperatura
- Clasificación del problema: Intermedio
- Causas del problema: Posible recalentamiento del motor, balanceo dinámico.

- Recomendaciones: efectuar un mantenimiento preventivo con respectivas pruebas, balanceo dinámico.

3.3.2 Banda transportadora #2 con un motor 25 HP



Figura 3. 6 Banda transportadora

Fuente. El autor

Termograma

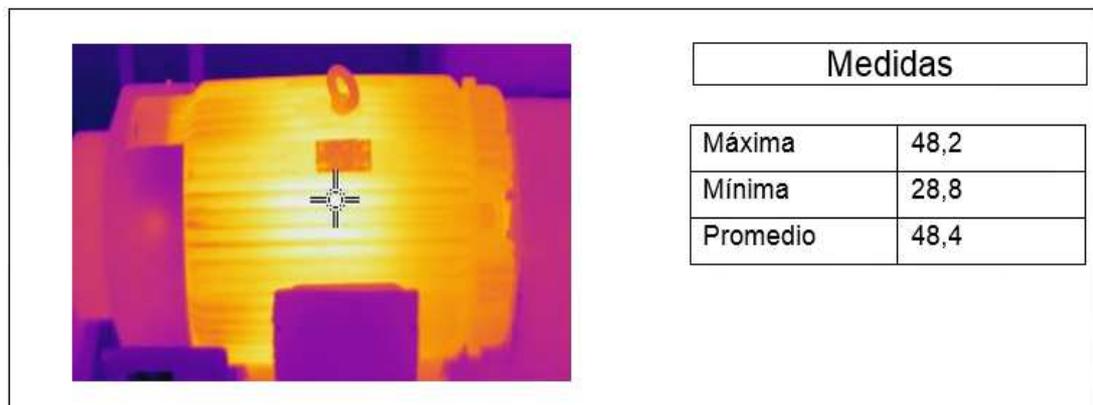


Figura 3. 7 Termograma

Fuente. El autor

Diagnóstico:

Se observa que el motor está trabajando el vacío y la temperatura sigue ascendiendo. Pues, en la anterior figura se apreció que el motor estaba trabajando con carga y a bajas revoluciones. Por tanto, sigue mostrando el aumento de temperatura, esto puede producir un recalentamiento en el

bobinado y por ello se recomienda que se haga un mantenimiento predictivo con las siguientes pruebas: Prueba de estator y balanceo dinámico.

3.3.3 Motor con banda transportadora en chumacera



Figura 3. 8 Motor y banda transportadora

Fuente. El autor

Termograma

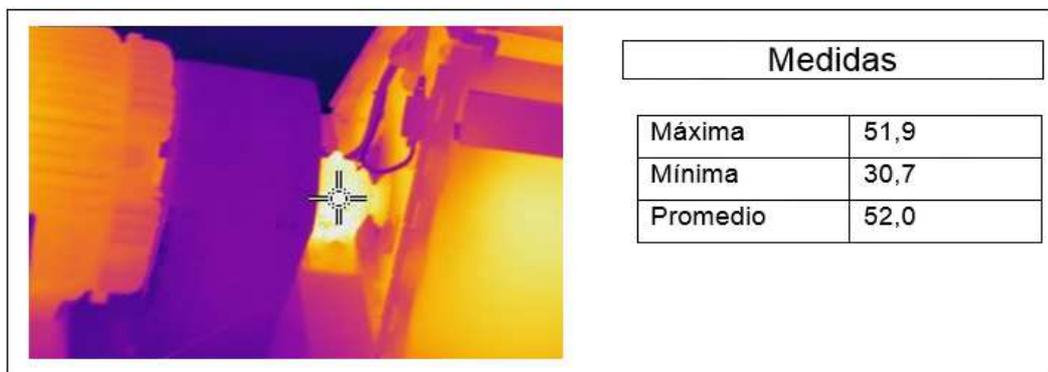


Figura 3. 9Termograma

Fuente. El autor

Diagnóstico:

- Localización de la falla: Chumacera con el molino
- Clasificación del problema: Ligero
- Causas del problema: Verificación de alineación
- Recomendaciones: Verificación de alineación y engrasar la chumacera.

3.3.4 Motor del molino seco



Localización	Exteriores
Equipo	Molino seco

Figura 3. 10 Motor de molino seco

Fuente: El autor

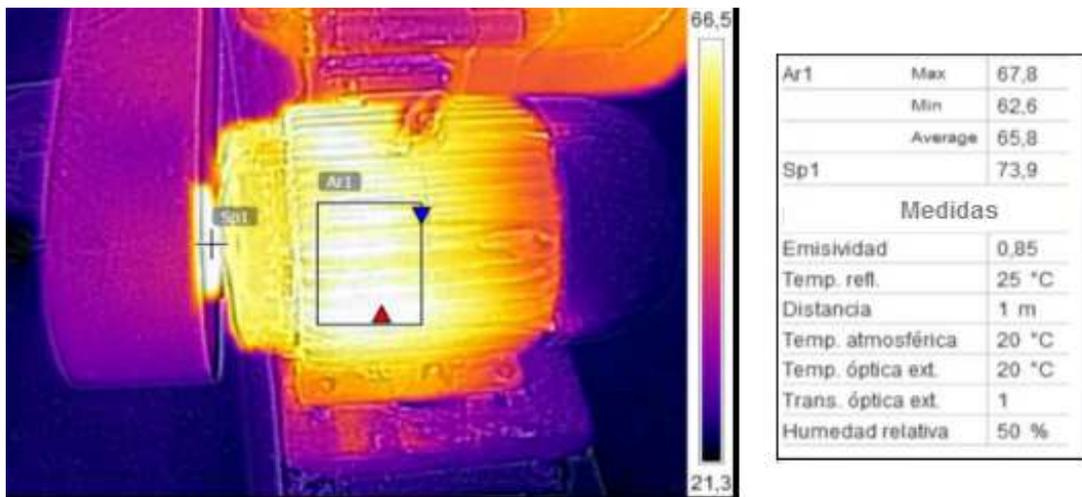


Figura 3. 11 Termograma

Fuente: El autor

Diagnóstico

El punto Sp1 de la polea del motor una vez tomado el termograma, indica una temperatura de 79°C esto representa una temperatura crítica que puede afectar a los componentes internos y principalmente al rodamiento. Se puede deducir en el área donde se origina el incremento de temperatura, hay un 70% de posibilidad de que suceda un desperfecto en el aislamiento por transferencia de calor.

3.3.5 Motor de molino húmedo



Localización	Exteriores
Equipo	Molino húmedo

Figura 3. 12 Motor húmedo

Fuente: El autor

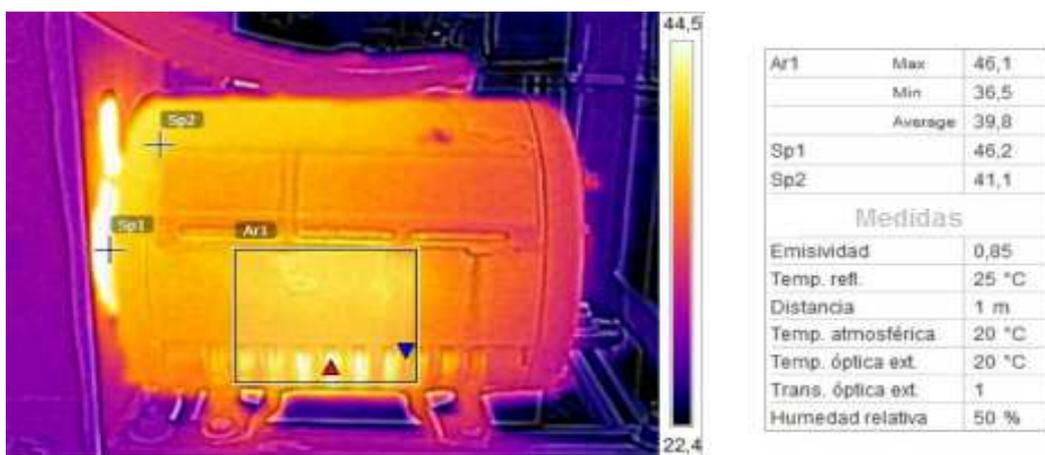


Figura 3. 13 Termograma

Fuente: El autor

Diagnóstico

En el análisis termográfico el eje de la polea para bandas, el punto Sp1, muestra alta temperatura en referencia a la temperatura del resto del motor se concluye que es producto de un desalineamiento o por causas de un reajuste de bandas. En este lugar de trabajo del motor existe un acrecentamiento de temperatura la cual sobrepasa la temperatura ambiente, por lo que se recomienda seguir el mantenimiento programado por la planta.

Capítulo 4

Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

Los motores eléctricos trifásicos pueden generar fallas por:

- Sistemas sobrecargados o corriente excesiva
- Conexiones flojas o corroídas
- Fallas de componentes
- Errores de cableado
- Mecanismos sub dimensionados
- Problemas de calidad de energía como desequilibrio de fase, sobrecarga o distorsión armónica.
- Fallas de aislamiento

La termografía infrarroja permite visualizar las 'temperaturas' midiendo la radiación emitida desde una superficie de objetos y convirtiendo estos datos en una imagen digital o visual correspondiente que muestra la temperatura.

La radiación infrarroja es emitida por todos los objetos en función de su temperatura, y se debe considerar:

- La cantidad de radiación aumenta con la temperatura
- Solo se mide la temperatura de la superficie
- Las áreas calientes o frías, o las anomalías térmicas, a menudo son un indicador fuerte de la 'salud' del equipo

Las imágenes térmicas o Termograma en procesos industriales son útiles para inspeccionar:

- Equipo eléctrico
- Circuitos eléctricos
- Equipamiento mecánico
- Equipo de calefacción/refrigeración
- Circuitos electrónicos y tableros

La metodología para el análisis termográfico en motores eléctricos facilita el diagnóstico de fallas en motores eléctricos, tableros y componentes de un circuito eléctrico en una fábrica que procesa banano y maracuyá (concentrados).

La termografía se usa para identificar los puntos calientes de los equipos. Esta tarea se realiza utilizando cámara termográfica, instrumentos de detección de temperatura como sensores de termopar (transductor formado por la unión de dos metales que produce una diferencia de potencial muy pequeña) y se debe seguir los pasos descritos en la metodología propuesta.

4.2 Recomendaciones

En base al diagnóstico de fallas en motores eléctricos, estos pueden prevenirse, por tal motivo, es recomendable evitar:

- Sobrecalentamiento debido a:
 - Flujo de aire de refrigeración reducido
 - Degradación del aislamiento eléctrico en los devanados
- Rodamiento debido a:
 - Poca lubricación; es decir, la carencia de modelos o procedimientos estandarizados que permitan efectuar la tarea de la lubricación apropiadamente.
 - Alteración de la alineación; la rigidez en las tuberías por una mala instalación o por hacer modificaciones en el diseño, pueden alterar la alineación dentro de la carcasa de una bomba o compresor.
 - Tensión de la correa; cuando no se asegura correctamente la alineación de las poleas, produce ruido y vibraciones y aumenta el desgaste de las poleas y las correas.

Inspeccionar las conexiones de los terminales y también buscar patrones sutiles que pueden ser causados por contactos internos o conexiones a la red.

A continuación, se recomiendan algunas pautas para ayudar al termógrafo a capturar imágenes de calidad en sistemas eléctricos:

- Obtener el enfoque justo en el área objetivo para obtener lecturas de temperatura más precisas.
- Realizar una exploración rápida del panel eléctrico, placa o sistema.
- Establecer tanto el rango de temperatura como la escala de temperatura en el modo automático y 'recorra' la imagen infrarroja alrededor del área objetivo para buscar puntos calientes.

- Una vez que se encuentre un punto caliente sospechoso, vuelva a enfocar el área del punto caliente manualmente. La escala de temperatura se puede ajustar cambiando la escala al modo manual, lo que permite una imagen térmica más estable.
- Validar el punto de acceso comprobando posibles fuentes de calor reflectantes o efectos de carga solar si la inspección se realiza en un área abierta o bajo la luz del sol. Moverse de lado a lado para eliminar posibles fuentes de calor externas o reflejantes.
- Capturar y guardar la imagen para fines de informes. La identificación e información adicional en el área de puntos conflictivos se puede hacer mediante el etiquetado de fotografías o registrando notas.

Se recomienda cuando existen diagnósticos de precaución aplicar el mantenimiento predictivo típico, este puede incluir tareas como el análisis de vibración en máquinas, inspección acústica, ultrasónica.

Referencias

- Aldana, D. (2007). *Aplicación de la termografía infrarroja como método de inspección no destructivo para el mantenimiento predictivo del proceso de extrusión de tubería en PVC* . Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/59301/1/TESIS-%20MAESTR%C3%8DA%20EN%20INGENIERIA%20MEC%C3%81NICA%20-DIDIER%20ALDANA%20RODR%C3%8DGUEZ%20-79953235.pdf>
- Baker. (2009). *Pruebas y diagnóstico de motores eléctricos en servicio*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1254>
- Comunidad de ingeniería eléctrica. (2016). *Causas de fallas en los motores eléctricos y sus efectos*. Obtenido de <http://engineering.electrical-equipment.org/energy-efficiency-motors/causes-faults-electric-motors-effects.html>
- Coparoman. (2015). *Sobre corriente eléctrica*. Obtenido de <http://coparoman.blogspot.com/2015/01/sobre-corriente-electrica.html>
- Dinámica de Maquinaria. (2015). *VIBRACIONES EN MOTORES ELECTRICOS*. Obtenido de <http://dinamicademaquinariaesimecu.blogspot.com/2015/04/en-la-rama-de-la-ingenieria-son-las.html>
- Fandiño, H. (2012). *Diagnóstico e identificación de fallas en motores industriales a través del análisis de imágenes termográficas* . Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/7187/1/7110006.2012.pdf>
- Farías, H. (2018). *Incremento de vida útil de motores*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3235&xit=monitor-eo-de-condiciones-incremento-de-vida-util-de-motores>
- FLIR. (2010). *Termografías para diagnósticos eléctricos y mecánicos*. Obtenido de https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820483/T820483_ES.pdf

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Matodología de la Investigación*. México: McGraaw Hill.
- Hidalgo, J. (2018). *Análisis de las zonas de falla de Motores Eléctricos*. Obtenido de <https://motoresygeneradores.com/ensayos/198-analisis-de-las-zonas-de-falla-de-motores-electricos>
- Intrared Training Center. (2016). *Thermogrphy Introduction to level 1. Intrared Training CenteR*. Sweden: ITC.
- Murillo, W. (2016). *Mantenimiento Predictivo para Motores Eléctricos*. Obtenido de <https://docplayer.es/4601174-Mantenimiento-predictivo-para-motores-electricos-ing-william-murillo.html>
- Neita, L., & Peña, E. (2011). *Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo*. Obtenido de http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_20999.pdf
- Palacios, J. (2015). *ANÁLISIS TERMOGRÁFICO*. . Obtenido de <https://www.juanpalacios.es/wp-content/uploads/2015/12/servicio-analisis-termografico.pdf>
- Peralta, G. (2009). *DIAGNOSTICO DE FALLAS EN MOTORES DE INDUCCIÓN*. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3559/Peralta%20Nu%C3%B1ez.pdf?sequence=1>
- Picazo, M. J. (2016). *DIAGNÓSTICO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS MEDIANTE TÉCNICAS DE TERMOGRAFÍA IR*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/62317/PICAZO%20%20Diagn%C3%B3stico%20de%20m%C3%A1quinas%20el%C3%A9ctricas%20mediante%20t%C3%A9cnicas%20de%20termograf%C3%ADa%20infrarroja.pdf?sequence=1>
- Quintana, P. (2016). *Termografía en motores eléctricos*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2762>

Suramericana de Seguros. (2002). *MOTORES ELÉCTRICOS* . Obtenido de INSTITUTO DE ENERGÍA Y TERMODINÁMICA - UPB : <http://www.ingeborda.com.ar/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20Consulta/Motores%20electricos/Motores%20Electricos.pdf>

Transequipo S.A. (2015). *Diagnóstico de Motores – Confiabilidad*. Obtenido de <https://lanotaenergetica.com/2015/02/12/diagnostico-de-motores-confiabilidad/>

Wegnet. (2012). *Daños en bobinados de motores eléctricos*. Obtenido de <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-danos-em-enrolamentos-motores-trifasicos-50009255-guia-de-instalacao-portugues-br.pdf>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Morales Montero, Juan Francisco** con C.C: # 0704186428 autor/a del trabajo de titulación: **Metodología para el análisis de fallas en los motores eléctricos por medio del estudio termográfico**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico - Mecánico** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, **25 de Agosto** de **2018**

Morales Montero, Juan Francisco

C.C: 0704186428



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	"Metodología para el análisis de fallas en los motores eléctricos por medio del estudio termográfico"		
AUTOR(ES)	Morales Montero, Juan Francisco		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ricardo Echeverría Parra		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico-Mecánica		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Eléctrico-Mecánica		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	DE	No. DE PÁGINAS:	83
	25 de Agosto de 2018		
ÁREAS TEMÁTICAS:	Eficiencia energética, Máquinas eléctricas, Mediciones eléctricas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Motor eléctrico, diagnóstico, radiación, infrarrojo, termografía.		
RESUMEN/ABSTRACT			
<p>El presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal, determinar la metodología para el análisis y diagnóstico de fallas en motores eléctricos a través del uso de la termografía infrarroja. Este puede medir la temperatura de una superficie de forma remota.</p> <p>Igualmente, para dicho trabajo se ha escogido como metodología de investigación el método descriptivo, este se basa en detallar las características de fallas en motores eléctricos para posteriormente someterlo a un análisis. Es decir, especificar la falla existente en motores, sea por vibraciones, calentamiento, etc. A su vez, este método pretende estudiar la termografía infrarroja en el desempeño de máquinas eléctricas rotatorias. Además, se plantea una metodología para hallar fallas en motores eléctricos por el reconocimiento de patrones utilizando imágenes térmicas monocromáticas del rotor y otros aspectos inherentes en la operación y alimentación eléctrica del mismo. El diagnóstico de fallas en máquinas rotativas como los motores eléctricos, se lleva a cabo principalmente a través de análisis de vibración, eléctricos, acústicos y térmicos. El resultado de este trabajo de titulación pretende determinar que el reconocimiento de imágenes térmicas puede ser provechoso para detectar fallas en motores de grandes capacidades que se pueden encontrar en industrias, fabricas, generadoras etc.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO AUTOR/ES:	CON	Teléfono: +593-9-84113732	E-mail: francomor93@hotmail.com



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Luis Orlando Philco Asqui
	Teléfono: +593-9-980960875
	E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA	
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	