



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Electromecánica
Línea terminal Mecatrónica



**Aplicaciones de termografía infrarroja en motores de corriente
directa para detección de fallas**

Presenta

María Fernanda Martínez Fernández

Dirigido por

Dr. Luis Alberto Morales Hernández

2013

Aplicaciones de termografía infrarroja en motores para detección de fallas



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería



Aplicaciones de termografía infrarroja en motores de corriente directa para detección de fallas

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Ingeniero Electromecánico

Presenta

María Fernanda Martínez Fernández

Dirigido por

Dr. Luis Alberto Morales Hernández

San Juan del Río, Qro. 30 de Octubre del 2013

Índice General

<hr/>	
<u>CAPITULO 1</u>	
1.Introducción.....	7
1.1 Antecedentes	9
1.2 Objetivos	9
1.2.1 Objetivo general	9
1.2.2 Objetivos particulares	10
1.3 Justificación	10
1.4 Planteamiento general.....	11
<hr/>	
<u>CAPITULO 2</u>	
2 Revisión de Literatura.....	13
2.1 Estado del arte.	13
2.2 Conceptos de termografía	17
2.2.1 Emisividad	17
2.2.1.1 Valores de Emisividad	18
2.2.1.2 Efectos de la Emisividad.....	19
2.2.2 Espectro Electromagnético.....	20
2.2.3 Distribución de la energía.....	21
2.2.4 Termografía IR	21
2.3 Conceptos auxiliares	22
2.3.1 Mantenimiento preventivo.....	22
2.3.1.1 Inspección de Equipos Mecánicos.....	23
2.3.2 Cámaras	24
2.3.2.1 Óptica.....	24
2.3.2.2 Display.....	24
2.3.2.3 Memoria Digital.....	25
2.3.2.4 Medida de Temperatura.....	25
2.3.2.5 Post Procesamiento.....	25
2.3.2.6 Software de Procesamiento de Imagen.....	25
2.3.3 Motores electricos	26
2.3.4 Motores shunt	29
<hr/>	
<u>CAPITULO 3</u>	
3 Metodología.....	31
3.1 Características de los motores y su ubicación	32
3.2 Análisis de caso para motores CD.....	36
3.3 Camara Termografica.....	37
3.4 Escobillas.....	38
3.5 Análisis termográfico.....	38
3.6 Procedimiento para Análisis de Daño en Aislamiento en Motores de Corriente Directa	54
3.7 Criterios importantes para la toma de imágenes termográficas.....	57
3.8 Problemas durante la toma de los termograma	58
3.9 Procedimiento para la toma de termogramas en este caso	58
<hr/>	
<u>CAPITULO 4</u>	
4 Resultados.....	60
Conclusiones	73
Referencia.....	74
<hr/>	
<u>ANEXO 1</u>	
Escobillas.....	77
<hr/>	
<u>ANEXO 2</u>	
Procedimientos aparte del uso de la cámara termografía.....	80
<hr/>	
<u>ANEXO 3</u>	
Información de la cámara termográfica.....	84

Índice de figuras

Figura 1. Planteamiento de la tesis	121
Figura 2 La energía Infrarroja reflejada en una superficie	176
Figura 3 La región Infrarroja del espectro electromagnético.....	209
Figura 4 Energía Infrarroja y Distribución en el espectro electromagnético	2120
Figura 5 Componentes de la radiación medida por la cámara termográfica.	221
Figura 6 Primer conjunto de motores, ubicación de los rodillos motriz	321
Figura 7 Segundo conjunto de motores, ubicación de los rodillos motriz	332
Figura 8 Tercer conjunto de motores, ubicación de los rodillos motriz	332
Figura 9 Cuarto conjunto de motores, ubicación de los rodillos motriz	343
Figura 10 Vista completa de los conjuntos de rodillos	343
Figura 11 Rodillos y Motor	354
Figura 12 Cámara Termográfica.....	406
Figura 13 Escobilla.....	417
Figura 14 Motor y su Termograma.....	39
Figura 15 Motor y termograma	40
Figura 16 Esquema de pruebas de manteniendo.....	451
Figura 17 Esquema de prueba de falla de corto circuito.....	462
Figura 18 Conmutador y Termograma	472
Figura 19 Esquema de prueba de funcionamiento normal.....	483
Figura 20 Cople y termograma	43
Figura 21 Esquema de prueba de funcionamiento normal.....	624
Figura 22 Conmutador y termograma	44
Figura 23 Esquema de prueba de mal formación de patina y de asentamiento irregular	45
Figura 24 Conmutador y Termograma	45
Figura 25 Esquema de pruebas de ralladura del conmutador	46
Figura 26 Conmutador y Termograma	46
Figura 27 Esquema de pruebas de chisporroteo	47
Figura 28 Escobilla y Termograma	47
Figura 29 Esquema de pruebas de funcionamiento correcto	48
Figura 30 Conmutador.....	49
Figura 31 Esquema de pruebas de funcionamiento correcto	50
Figura 32 Conmutador.....	51
Figura 33 Esquema de pruebas de agente de temperatura ambiente.....	6952
Figura 34 Conmutador	713
Figura 35 Esquema de pruebas de sobre carga en la armadura	54
Figura 36 Conmutador.....	55
Figura 37 Metodología para el desarrollo de las pruebas	518
Figura 38 Comparativa 1	63
Figura 39 Comparativa 2	64
Figura 40 Comparativa 3	65
Figura 41 Comparativa 4	66
Figura 42 Comparativa 5	67
Figura 43 Comparativa 6	68
Figura 44 Comparativa 7	69
Figura 45 Comparativa 8	70
Figura 46 Comparativa 9	71
Figura 47 Relación motores-falla producida	523
Figura 48 Relación motores-Fecha de cambio	73
Figura 49 Motor de CD	84

Índice de tablas

Tabla 1. Valores de Emisividad.....	187
Tabla 2. Temperatura cinco puntos figura 20.....	48
Tabla 3. Temperatura cinco puntos figura 21.....	50
Tabla 4. Temperatura cinco puntos figura 22.....	7052
Tabla 5. Temperatura cinco puntos figura 23.....	54
Tabla 6. Temperatura cinco puntos figura 25 sano.....	702
Tabla 7. Temperatura cinco puntos figura 25 agentes químicos.....	702
Tabla 8. Temperatura cinco puntos figura 26 conmutador ovalado.....	703
Tabla 9. Temperatura cinco puntos figura 26 sano.....	704
Tabla 10. Tipo de falla.....	72

1. INTRODUCCIÓN

La termografía es un método de inspección de equipos eléctricos y mecánicos mediante la obtención de imágenes de su distribución de temperatura. Este método de inspección se basa en que la mayoría de los componentes de un sistema, muestran un incremento de temperatura en mal funcionamiento. El incremento de temperatura en un circuito eléctrico podría deberse a una mala conexión, a su vez sería posible un problema con un rodamiento en caso de equipos mecánicos. Observando el comportamiento térmico de los componentes pueden detectarse defectos y evaluar su seriedad.

La herramienta de inspección utilizada para poder llevar a cabo esta tarea es una cámara térmica. Son equipos sofisticados que miden la emisión natural de radiación infrarroja procedente de un objeto y generan una imagen térmica. Las cámaras de termografía modernas son portátiles y de fácil manejo. Al no necesitar contacto físico con el sistema, las inspecciones pueden realizarse a pleno funcionamiento sin pérdida o reducción de productividad.

Sus aplicaciones potenciales incluyen:

- Inspección de equipos eléctricos
- Inspección de equipos mecánicos
- Inspección de estructuras de material refractario
- Monitoreo de procesos

Debido a la gran importancia que tiene un funcionamiento continuo y adecuado de los motores en una empresa, es necesario desarrollar nuevas

técnicas de monitoreo para evitar las interrupciones, daños, desgaste o mal funcionamiento en los motores.

En esta tesis se desarrollará una metodología para el monitoreo de motores, mediante diferentes pruebas de imágenes, con diferentes ángulos debido a que si se encuentran ubicados en algún sitio donde existe algún factor que aporte mayor temperatura en la imagen podría ser éste un posible error al momento de formar un criterio. De esta forma será posible detectar fallas y hacer una corrección para evitar daños, cabe mencionar que este método no reemplaza las mediciones y controles requeridos como son:

- Pruebas de funcionamiento
- Aislamiento

Sin embargo la termografía es de gran ayuda para monitorear el estado del sistema.

El desarrollo de esta tesis es de gran importancia porque aunque este tipo de monitoreo ya es aplicado, no ha sido implementado de manera correcta en México y esta tecnología ayudará a las empresas a realizar mantenimiento predictivo y preventivo de una forma más rápida, así como evitar costos generados por la necesidad de reemplazar el equipo o invertir en una reparación que pudo haber sido evitada si se contara con un estudio previo. Otro aspecto importante de este tipo de monitoreo es, que la revisión se hace sin detener el funcionamiento del sistema, además de hacerlo sin tener contacto directo con el equipo a inspeccionar. Con el monitoreo hecho previamente se puede proponer una posible solución al fallo o anomalía detectada.

1.1. Antecedentes

A partir de los años noventa hasta nuestros días se ha incrementado el uso de la termografía, esto debido a que puede ser usado en varios sectores de la industria e incluso en la medicina. Esta tecnología aún no es usada en la mayoría de las industrias en México.

En la actualidad en nuestro país la mayoría de mediciones de temperatura se realizan con otro tipo de dispositivos que requieren un contacto directo con el objeto a medir. Existen otros dispositivos que miden sin contacto directo (Termómetro infrarrojo) pero requieren una medición a una distancia corta, por tal razón la tecnología IR termografía sería de gran importancia para la industria en México ya que agilizaría el monitoreo de los sistemas eléctricos, mecánicos, hidráulicos, estructurales; Esto se traduce en ahorro de recursos para las empresas.

En la Universidad Autónoma de Querétaro no hay mucho desarrollo en proyectos basados en esta tecnología, por esta razón es importante el desarrollo de esta tesis puesto que es una tecnología que aún no es muy conocida en México.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Realizar el estudio del comportamiento de la temperatura en motores *in situ* con carga por medio de IR termografía; en motores de corriente directa (CD), con lo cual se detectarán las fallas y con ello poder diagnosticar el tipo de falla. Por consecuencia se podrá disminuir el riesgo de presentar fallas graves que requieran el remplazo de motor.

1.2.2 Objetivos Particulares

Hacer la valoración de los motores para determinar condiciones normales, puntos críticos o calientes.

Realizar un análisis para determinar la temperatura máxima de trabajo y poder asignar criterios de rangos de temperatura de operación.

Determinar las zonas críticas en el motor por medio del incremento de temperatura que presentan.

Establecer las condiciones normales de comportamiento de operación entre motores.

1.3 Justificación

Para tener un correcto funcionamiento en las industrias es importante contar con mantenimiento correctivo y preventivo, sin embargo en la mayoría de los casos se generan nuevas alternativas para llevar un control de las mismas, que sean más eficientes y que no requieran detener el equipo, para esto la termografía es de gran ayuda debido a que es una técnica, la cual, reúne toda la información térmica, de tal forma que se puede monitorear bajo condiciones de trabajo normal o anormales y descubrir posibles problemas incipientes que darán pie a fallas futuras.

La temperatura es uno de los principales parámetros observables que pueden indicar la condición de operación de un equipo, ya que estos equipos trabajan con energía mecánica o eléctrica siendo convertida de una a otra; el calor es un subproducto que se genera al darse este tipo de conversiones siendo la IR (infrarroja) termográfica una de las mejores opciones ya que reduce el tiempo en la revisión de equipos y componentes, generando la habilidad para poder determinar cuáles elementos son los que se deben revisar o reparar, los problemas que verdaderamente existen, serán identificados rápidamente, dando

oportunidad de hacer la reparación antes de que éstos fallen, a su vez pueden identificar problemas que no sean críticos, monitorearlos por un periodo de tiempo y hacer la reparación de manera programada reduciendo el riesgo de fallo en un equipo en mal estado o con fallas no detectables por los análisis convencionales. Aunque las cámaras IR termográficas tienen un costo alto, el uso de estas cámaras puede traducirse en grandes ahorros en mantenimiento para las industrias, ya que un mantenimiento de emergencia es diez veces mayor el costo que un mantenimiento planeado.

1.4 Planteamiento general.

En esta tesis se busca desarrollar una metodología que nos permita realizar el mantenimiento preventivo a motores en este caso *in situ* esto basándonos en el uso de una cámara IR termográfica.

El procedimiento general para esta tesis consta de lo siguiente: la captura de imágenes con la cámara IR termográfica; las imágenes obtenidas serán revisadas en software que dará las mediciones de temperatura en cada punto (pixel), para el análisis de estas imágenes se debe tomar en cuenta la emisividad de cada material, temperatura ambiente, ubicación del objeto en este caso *in situ* y horario. Sin embargo, este equipo siempre se encuentra en funcionamiento, para tener una mayor revisión en las mediciones, así también las características de la cámara IR termográfica. Una vez realizadas las mediciones tomando en cuenta todos los factores antes mencionados, realizar el análisis del estado del motor, para después analizar las temperaturas del motor, es decir que se encuentre operando en condiciones normales para poder detectar fallas en base a la variación de estas temperaturas de trabajo. Este procedimiento se esquematiza en la Figura 1.

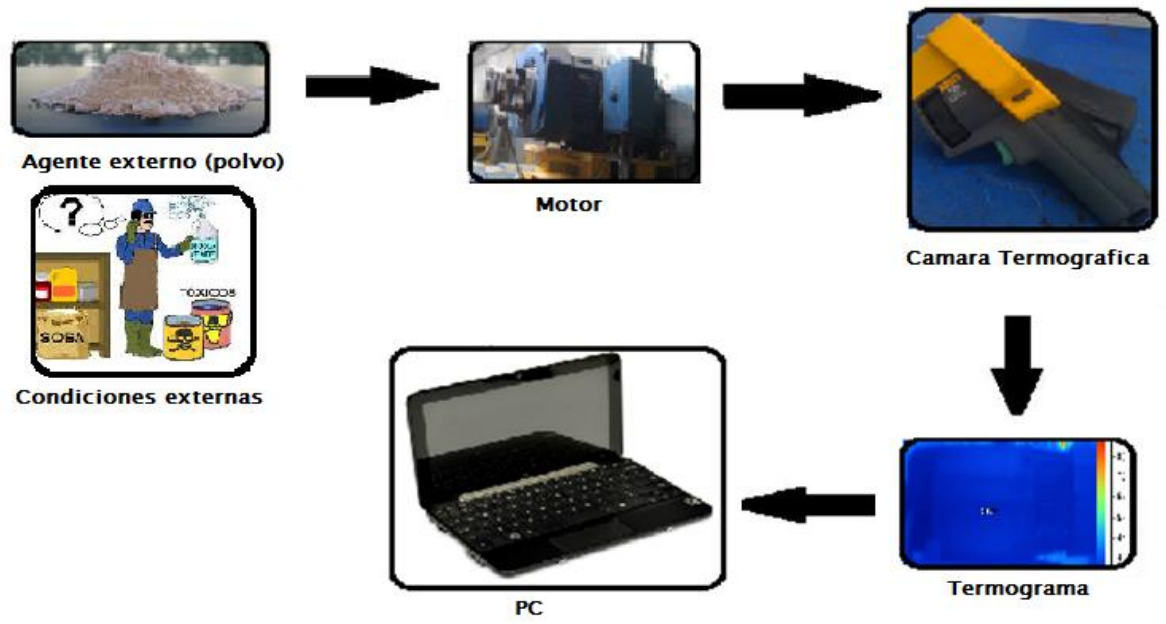


Figura 1 Planteamiento general de la tesis

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Estado del arte.

Internacionalmente se han desarrollado gran cantidad de proyectos de aplicaciones para la tecnología infrarroja termográfica, como aplicaciones estructurales, en edificaciones (Pistono, 2004). La humedad como causa de patologías en monumentos lo estudio Palomo (1996), así también se han hecho proyectos en el área de medicina en la cual se usa para el área de diagnóstico, como son la termografía en enfermedades reumáticas por Zorzin (1998), así también hay desarrollos en proyectos en mecánica los cuales se mencionaran algunos ejemplos. Aplicación de la termografía infrarroja al diagnóstico de motores Diésel estudiado por Tormos et al (2002), asimismo obtención de leyes tensión-deformación de materiales visco plásticos a partir de mediciones del incremento de temperatura asociado a su deformación plástica estudiado por Guzmán (2009), estos son algunos de los proyectos desarrollados con anterioridad sin embargo como se mencionó anteriormente son muchos más los proyectos desarrollados , sin embargo casi todos estos proyectos fueron desarrollados en países europeos.

Enfocándonos en los trabajos realizados para instalaciones eléctricas es posible mencionar la inspección de líneas aéreas de alta tensión desarrollado por Benítez (2008), en el cual se plantea la ventaja de usar la tecnología infrarroja (IR) termográfica para reducir riesgos durante el monitoreo de líneas de alta tensión, así también la detección de anomalías de forma oportuna para evitar fallas de mayor magnitud en las líneas aéreas de alta tensión. Otro trabajo sobre mantenimiento predictivo de subestaciones eléctricas basado en IR termografía desarrollado por García y Vitoria (2002) en el cual se plantea el uso de cámaras IR termográficas para evitar riesgos durante el monitoreo del sistema, así también, para hacer el mantenimiento preventivo de forma oportuna para tener la subestación en funcionamiento continuo.

Uno más de estos trabajos fue “Thermography in Electrical Installations” desarrollado por Schadenverhütung (2004) en el cual se menciona el uso de las cámaras IR termográficas para el monitoreo de componentes de la instalación eléctrica como: cables, fusibles, interruptores, transformadores, entre otros en este trabajo se hace énfasis tanto a la seguridad obtenida, como al ahorro de tiempo y mejora de eficiencia durante el monitoreo de una instalación.

El desarrollo de métodos predictivos para la inspección de máquinas eléctricas impacta directamente en la disminución de los tiempos muertos y los costos de mantenimiento en la industria como lo muestra el trabajo: “Machine Fault Signature Analysis”, desarrollado por Pratesh Jayaswal et al 2008, El cual menciona las consecuencias de las fallas en equipos que afectan directamente en costos para producción y mantenimiento en las plantas, donde no se desarrolla de manera adecuada un plan de mantenimiento predictivo en base al análisis de las condiciones de operación de las máquinas debido a que todos los equipos operan bajo diferentes ambientes, a su vez explica los principales puntos de inspección en las máquinas de acuerdo con los elementos que presentan desgaste y se degradan con el trabajo y el tiempo, como son los rodamientos, donde explica el análisis de vibraciones y señales acústicas en las máquinas, así como, la inspección de temperatura mediante equipos de medición adicionados en la máquina o la obtención mediante termografía.

El análisis termográfico mediante la inspección IR en máquinas eléctricas es un método efectivo para la detección de fallas como parte de un análisis predictivo, uno de los trabajos basados en investigación de casos es: “ Predictive maintenance programevolution-lessons learned ” desarrollado por Mitchell, et.al. (1995), menciona un estudio de caso para el departamento de energía de los Estados Unidos en el ramo del petróleo, donde cuenta con una de las más grandes variedades de bombas y equipos en operación, donde el mantenimiento se hacía en base a las fallas ocurridas y en donde la experiencia de la gente y la

repetitividad de los problemas eran la base de los planes de mantenimiento, En este trabajo se desarrolló un plan de mantenimiento predictivo basado en los periodos de vida útil de cada equipo, identificando las variables de cada equipo y obteniendo de esta manera los periodos de intervención en cada máquina, aunado a ello todas las técnicas existentes de mantenimiento han evolucionando con el tiempo, uno de los trabajos relacionados esto es: “Analysis of Induction Motor Predictive Maintenance Techniques” desarrollado por Sussan Soergel (1993) donde se expone el desarrollo de las técnicas tradicionales de mantenimiento para motores, en conjunto con las nuevas técnicas, enfocadas al análisis de los materiales aislantes en los motores eléctricos de inducción; basado principalmente en pruebas de capacitancia, balance de inductancia y balance de resistencia eléctrica. Lo cual se refleja en el desarrollo de un plan de mantenimiento predictivo y preventivo donde la importancia del monitoreo de los equipos es la base para la toma de decisiones en el mantenimiento de los equipos. Mediante la inspección infrarroja se puede conocer el comportamiento de la temperatura en los motores, donde se listan una serie de pruebas a realizar en los motores para conocer el estado del aislamiento como se puede observar en el trabajo: “A tool for reliability and safety: predict and prevent equipment failures with thermography” desarrollado por Epperly et al 1997, trata de las ventajas de contar con un análisis termográfico para la detección oportuna de posibles fallas en equipos, reduciendo costos y previniendo el daño de equipos, lo cual refleja directamente en la prevención de accidentes y en la disminución de riesgos en el área de trabajo, dando como conclusión que la termografía es una inversión sustentable hoy en día en la industria.

Para el caso específico de los motores eléctricos, una de las principales causas en los daños de equipos es el del aislamiento, el cual por cada 10 grados Celsius de temperatura aplicada sobre la temperatura de diseño del motor se reduce a la mitad el periodo de vida útil del mismo, se puede mencionar el trabajo: “On-Line and Off-Line Testing of Electric Motors” desarrollado por Timothy M. Thomas, donde se desarrollan técnicas de mantenimiento predictivo para el

monitoreo con energía y fuera de línea de los motores de corriente directa analizando el desgaste de los materiales aislantes mediante métodos de imagen infrarroja para prevenir y diagnosticar las fallas en motores eléctricos, otro trabajo relacionado es: “The roles of vibration analysis and infrared thermography in monitoring air handling equipment”, un trabajo de Wurzbach (2003) donde se expone un estudio de caso para la aplicación de técnicas de detección de fallas mediante la termografía infrarroja en motores para ventiladores con transmisión a través de poleas y bandas.

En el reporte Technology Showcase: Integrated Monitoring Diagnostics and Eailure Prevention (1996), donde se exponen diferentes métodos de análisis para el mantenimiento en motores eléctricos, tanto métodos analíticos como métodos prácticos basados en mediciones fuera de línea y con el motor energizado, menciona el método motor normalized temperature analysis el método de análisis normalizado de la temperatura del motro (MNTA- motor normalized temperatura analysis por su nombre en ingles) donde se explica la importancia del análisis mediante la Inspección de los motores mediante cámaras infrarrojas para espectro de luz Infrarroja, otro de los trabajos relacionados es: “Analysis of Electrical and Thermal Stresses in the Stress Relief System of InverterFed Medium Voltage Induction Motors” desarrollado por EmadSharifi-Ghazvini (2010), donde el autor expone un método de análisis analítico para el daño periódico en los materiales aislantes utilizados en motores eléctricos de media tensión, a través de mediciones eléctricas y pruebas a varios tipos de materiales, donde utiliza los sistemas de termografía infrarroja para el monitoreo del desgaste a casusa de falsos contactos, cortos circuitos entre espiras de la misma fase o entre espiras de diferente fase (Cruzamiento). Observando el comportamiento de cada una de las fallas anteriores, en base a las pruebas realizadas a las máquinas eléctricas se pueden deducir programas de mantenimiento predictivo, como se observa en el trabajo: “Evaluation of Induction Motor Groundwall Insulation using Infrared Thermography” desarrollado por Bashir et al (2007), donde se realizó un estudio para las barras del estator de un motor de media tensión utilizando diferentes

formas de onda utilizando como instrumento para la verificación del comportamiento una cámara termográfica, o en las pruebas realizadas en equipos de alta tensión: “HV Motor Condition Monitoring-the end User's View” desarrollado por Hudson (1999) donde se desarrolla un plan de mantenimiento para motores de alta tensión , explica la importancia que tiene el mantener las condiciones de operación en motores de este tipo debido a que sus aplicaciones son generalmente indispensables para la operación de las empresas, el estudio es basado en análisis de condiciones de operación y comportamiento térmico de las máquinas.

2.2 Conceptos básicos de termografía

Cualquier objeto emite energía electromagnética. La cantidad de energía está relacionada con la temperatura del objeto. La cámara de termografía puede determinar la temperatura sin contacto físico con el objeto midiendo la energía emitida.

2.2.1 Emisividad

La cantidad de energía radiada por un objeto depende de su temperatura y de su emisividad.

Un objeto que emite el máximo posible de energía para su temperatura se conoce como cuerpo negro. En la práctica no hay emisores perfectos y las superficies suelen emitir menos energía que un cuerpo negro.

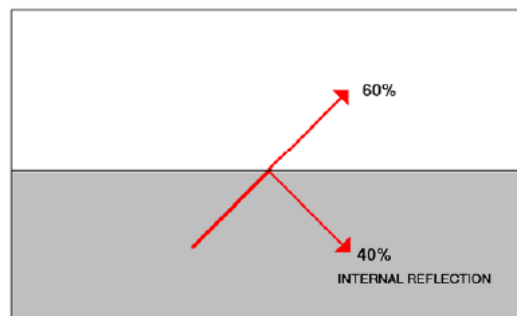


Figura 2 La energía Infrarroja reflejada en una superficie

La figura 2 muestra porque los objetos no son emisores perfectos de energía infrarroja. La energía se mueve hacia la superficie pero cierta cantidad se refleja hacia el interior y nunca sale. En este ejemplo se observa que sólo se emite el 60% de la energía disponible. La emisividad de un objeto es el cociente entre la energía emitida respecto de la emitida si fuera un cuerpo negro. Así la emisividad se expresa como se muestra en la ecuación 1:

$$Emisividad = \frac{\text{Radiacion emitida por un objeto a temperatura } T}{\text{Radiacion emitida por un cuerpo negro a temperatura } T}$$

Ecuación 1: Emisividad

La emisividad es por lo tanto una expresión de la capacidad de un objeto a emitir energía infrarroja.

2.2.1.1 Valores de Emisividad

Los valores de emisividad varían de un material a otro. Los metales con una superficie áspera u oxidada tienen una mayor emisividad que una superficie pulida.

En la Tabla 1 se detallan algunos ejemplos:

Material	Emisividad
Acero brillante	0.18
Acero oxidado	0.85
Latón brillante	0.10
Latón oxidado	0.61
Aluminio brillante	0.05
Aluminio oxidado	0.30
Cemento	0.90
Asfalto	0.90
Ladrillo rojo	0.93
Grafito	0.85
Cloth	0.85

Tabla 1. Valores de Emisividad.

Se demuestra que hay relación entre emisividad y reflectividad.

Para un objeto opaco esto significa **Emisividad + Reflectividad = 1.0**

Así mismo un material altamente reflectante es un pobre emisor de energía infrarroja y por lo tanto tiene un valor de emisividad bajo.

2.2.1.2 Efectos de la Emisividad

Si un material de alta emisividad y otro de baja emisividad se colocaran juntos en el interior de un horno y se calentaran exactamente a la misma temperatura, el material de baja emisividad aparecería al ojo mucho más tenue. Esto es debido a la diferencia de emisividades de los materiales, provocando radiaciones a distintos niveles, haciendo que el material de baja emisividad parezca más frío que el de alta emisividad, aunque ambos estén a la misma temperatura. La cámara de termografía lo vería igual que el ojo humano y produce un error en la medida de temperatura. La temperatura de un objeto no puede determinarse midiendo la energía infrarroja que emite, también debe conocerse el valor de emisividad del objeto.

La emisividad de un objeto puede medirse de las siguientes formas:

1) Consultar manuales de los fabricantes (asegurarse que han sido evaluados a la longitud de onda de trabajo de su cámara de termografía, ya que la emisividad puede variar con la longitud de onda).

2) Evaluar la emisividad del objeto mediante un método de laboratorio.

Hay dos métodos principales para solucionar el problema de la emisividad.

a) Corregir matemáticamente el valor de temperatura medido. Generalmente se realiza en la señal del procesador de la cámara de termografía. La mayoría de las cámaras actuales tienen un ajuste de compensación que el operador puede ajustar.

b) Podría pintarse la superficie de un objeto de baja emisividad con un recubrimiento de emisividad alta y constante. Esto permite elevar el valor de emisividad, pero no siempre es posible.

Cuando se realizan las inspecciones termográficas, los fallos generalmente se identifican por comparación de temperatura de los componentes similares en las mismas condiciones. Es una alternativa muy precisa para predecir la emisividad de cada componente y obtener unos valores de temperatura absolutas.

2.2.2 Espectro Electromagnético

La energía procedente de un objeto caliente se emite a distintos niveles en el espectro electromagnético. En la mayoría de las aplicaciones industriales se utiliza la energía radiada en el espectro infrarrojo para medir la temperatura del objeto. La Figura 3 muestra los diferentes espectros electromagnéticos donde se emite energía incluyendo rayos X, ultra violeta, infrarrojo y radio. Se emite en forma de onda y viaja a la velocidad de la luz. La única diferencia entre ellas es su longitud de onda que está relacionada con la frecuencia.

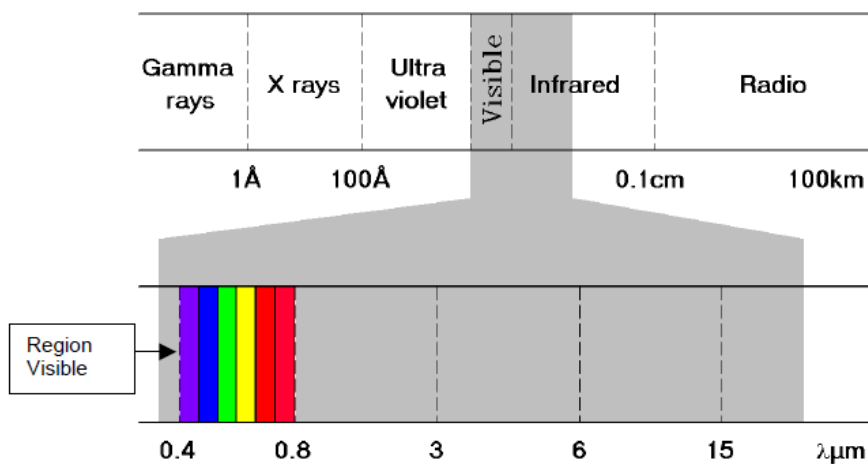


Figura 3 La región Infrarroja del espectro electromagnético

El ojo humano responde a la luz visible en el rango de 0.4 a 0.75 μm

La gran mayoría de la medida de temperatura infrarroja se realiza en el rango de 0.2 a 20 micras. Aunque las emisiones no pueden detectarse por una cámara normal, la cámara térmica puede enfocar esta energía a través de un sistema óptico hacia el detector de forma similar a la luz visible. El detector convierte la energía infrarroja en tensión eléctrica, que después de amplificarse y de un complejo procesamiento de la señal, se utiliza para construir una imagen térmica en el visor del operador montado en la cámara de termografía.

2.2.3 Distribución de Energía

La Figura 4 muestra la energía emitida por un objeto a diferentes temperaturas. Como puede observarse a mayor temperatura mayor es el pico de energía. La longitud de onda a la que ocurre el pico de energía se vuelve progresivamente más corta a medida que se incrementa la temperatura.

A bajas temperaturas el pico de energía se produce en longitud de onda larga.

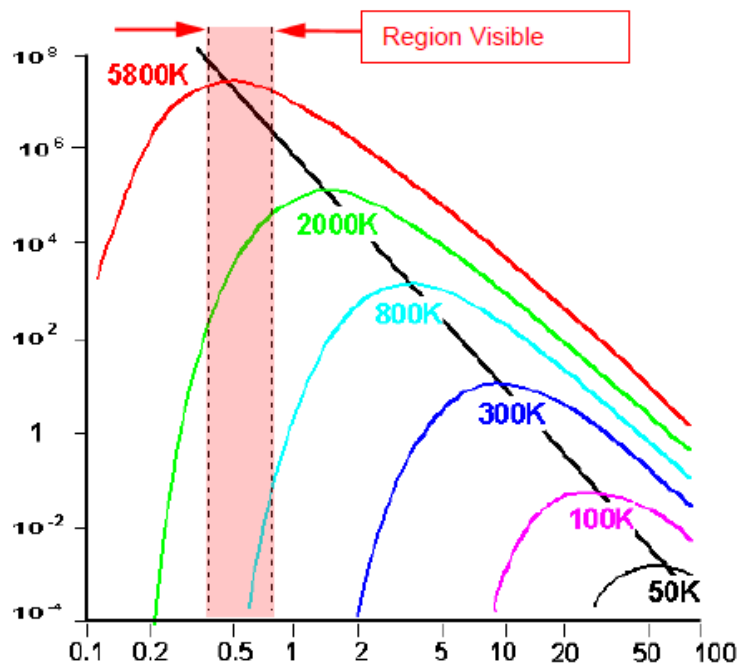


Figura 4 Energía infrarroja y distribución en el espectro electromagnético

2.2.4 Termografía IR

El ojo humano es capaz de recibir solo las emisiones pertenecientes a una longitud de onda visible. La radiación infrarroja se localiza entre la región visible y de microondas de 0.75 a 10 μm . La termografía infrarroja es una técnica que convierte el patrón de emisión de un objeto a una imagen visible en la figura 4 las cámaras termográficas son usadas para medir la radiación infrarroja emitida por un objeto, esto quiere decir que la cámara termográfica no mide temperatura sino la radiación de los materiales, y usando la ley de Stefan-Boltzmann que define la posibilidad de obtener la temperatura.

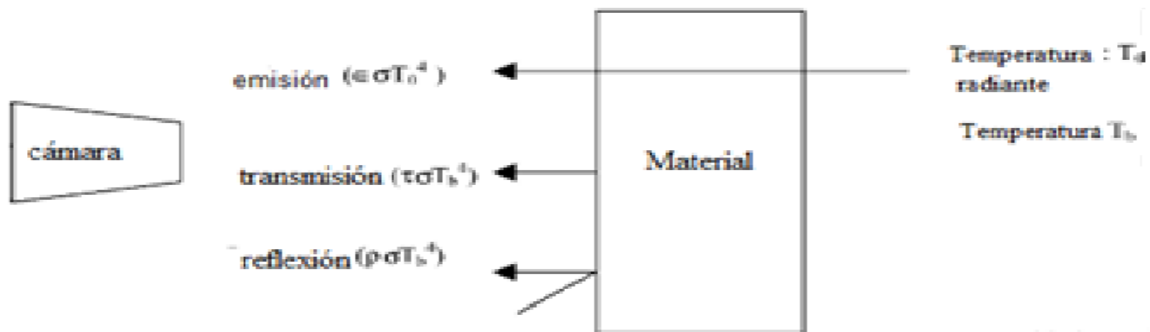


Figura 5: Componentes de la radiación medida por la cámara termográfica.

Se muestra a continuación la ecuación (2) de Stefan-Boltzmann

$$\epsilon + \tau + \rho = 1$$

emisividad = ϵ

reflexión = ρ

transmisividad = τ

Para objetos opacos $\tau = 0$

Ecuación 2: Stefan-Boltzmann

2.3 Conceptos auxiliares

2.3.1 Mantenimiento Preventivo

Actualmente es esencial evitar paradas imprevistas, reduciendo los costos por pérdida de producción al mínimo. El mantenimiento predictivo se ha introducido

para identificar problemas potenciales y reducir costos. La termografía en mantenimiento se basa en el hecho de que la mayoría de los componentes muestran un incremento de temperatura cuando existe una mal función y la falta se detecta antes de que se produzca el fallo.

Los programas de inspección rutinaria utilizando cámaras de termografía pueden ofrecer las siguientes ventajas:

Las inspecciones se realizan en condiciones de pleno rendimiento, evitando pérdidas de producción.

- Puede extenderse la vida útil de los equipos.
- Se reduce el tiempo de cierre de la planta.
- Se incrementa la fiabilidad de la planta.
- Las reparaciones pueden programarse más convenientemente.
- Puede inspeccionarse la calidad de la reparación.

Las cámaras de termografía se utilizan en mantenimiento predictivo industrial en las siguientes áreas:

- Instalaciones Eléctricas.
- Equipamientos Mecánicos.
- Refractario.

En este trabajo abarcaremos solo el equipamiento mecánico, específicamente motores.

2.3.1.1 Inspección de Equipos Mecánicos

Los equipos mecánicos inspeccionados son habitualmente, máquinas giratorias. El incremento de temperaturas superficiales pueden deberse a fallos internos. Puede generarse un calor excesivo por fricción en rodamientos defectuosos, debido a

desgaste, mal alineamiento o mala lubricación. Es deseable realizar la inspección con los sistemas operativos, basándose la interpretación de los resultados en la comparación entre componentes trabajando en condiciones similares de carga.

Los equipos habitualmente inspeccionados son:

- Rodamientos
- Cojinetes
- Correas
- Bombas
- Coples

2.3.2 Cámaras

Las cámaras térmicas son equipos sofisticados que miden la emisión natural de radiación infrarroja procedente de un objeto caliente y producen una imagen térmica. Las cámaras de termografía modernas.

2.3.2.1 Óptica

Utiliza enfoque motorizado para obtener una imagen clara a diferentes distancias de la cámara. La distancia de enfoque es desde 380 mm a infinito. Un zoom electrónico permite ampliar la imagen.

2.3.2.2 Display

La imagen en tiempo real se visualiza en un monitor LCD en color.

Dispone de 8 paletas de colores diferentes.

La imagen en tiempo real también se visualiza en el visor interno de alta resolución.

2.3.2.3 Memoria Digital

Una memoria interna no volátil permite capturar una gran cantidad de imágenes térmicas. Las imágenes térmicas se almacenan en una tarjeta extraíble de memoria.

La transferencia de las imágenes para su procesamiento con el software se realiza a través del conector USB de la tarjeta.

2.3.2.4 Medida de Temperatura

Puede medirse la temperatura puntual en la imagen.

2.3.2.5 Post Procesamiento

Permite un mayor análisis de temperaturas de las imágenes almacenadas en la cámara. Un punto móvil permite la medida de temperatura en cualquier punto de la imagen y un cursor móvil genera un perfil de temperatura.

2.3.2.6 Software de Procesamiento de Imagen

Las imágenes pueden almacenarse para realizar las siguientes funciones de procesamiento:

- a) Archivos: Guardar, eliminar y directorio.
- b) Coloración: La imagen puede colorearse utilizando una de las cinco paletas disponibles.
- c) Medida de Temperatura: Puntual, máximo, mínimo o promedio de áreas, perfiles, histogramas e isotermas.
- d) Cambio de Parámetros: El software permite variar la emisividad y la temperatura de fondo.
- e) Mejora de Imagen: filtros y zoom.

2.3.3 Motor eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras realizan a menudo ambas tareas, si se los equipa con frenos regenerativos.

Los motores de corriente alterna y los de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas, que provocan, debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor.

Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente por un conductor produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción de un campo magnético potente, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante una parte del rotor, llamada flecha.

2.3.3.1 Motores de corriente continua

Los motores de corriente continua se clasifican según la forma como estén conectados:

- Motor serie

- Motor compound
- Motor shunt
- Motor eléctrico sin escobillas

Además de los anteriores, existen otros tipos que son utilizados en electrónica:

- Motor paso a paso
- Servomotor
- Motor sin núcleo

2.3.3.2 *Motores de corriente alterna*

Los motores de C.A. se clasifican de la siguiente manera:

2.3.3.3 *Asíncrono o de inducción*

Los motores asíncronos o de inducción son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias.

2.3.3.4 *Jaula de ardilla*

Un rotor de jaula de ardilla es la parte que rota usada comúnmente en un motor de inducción de corriente alterna. Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama "motor de jaula de ardilla". En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula. El nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y barras o la rueda de un hámster (ruedas probablemente similares existen para las ardillas domésticas)

2.3.3.5 *Monofásicos*

Motor de arranque a resistencia. Posee dos bobinas una de arranque y una bobina de trabajo.

- Motor de arranque a condensador. Posee un condensador electrolítico en serie con la bobina de arranque la cual proporciona más fuerza al momento de la marcha y se puede colocar otra en paralelo la cual mejora la reactancia del motor permitiendo que entregue toda la potencia.
- Motor de marcha.
- Motor de doble condensador.
- Motor de polos sombreados o polo sombra.

2.3.3.6 *Trifásicos*

- Motor de Inducción.

A tres fases

La mayoría de los motores trifásicos tienen una carga equilibrada, es decir, consumen lo mismo en las tres fases, ya estén conectados en estrella o en triángulo. Las tensiones en cada fase en este caso son iguales al resultado de dividir la tensión de línea por raíz de tres. Por ejemplo, si la tensión de línea es 380 V, entonces la tensión de cada fase es 220 V.

2.3.3.7 *Rotor Devanado*

El rotor devanado o bobinado, como su nombre lo indica, lleva unas bobinas que se conectan a unos anillos deslizantes colocados en el eje; por medio de unas escobillas se conecta el rotor a unas resistencias que se pueden variar hasta poner el rotor en corto circuito al igual que el eje de jaula de ardilla.

2.3.3.8 *Monofásicos*

- Motor universal
- Motor de Inducción-Repulsión.
- Motor de fase partida
- Motor por reluctancia
- Motor de polos sombreados

2.3.3.9 *Trifásico*

- Motor de rotor devanado.
- Motor asíncrono

- Motor síncrono

2.3.3.10 Síncrono

En este tipo de motores y en condiciones normales, el rotor gira a las mismas revoluciones que lo hace el campo magnético del estator.

2.3.4 Motor Shunt

En este caso la tesis estará basada en un motor shunt, en el cual el flujo es constante si la fuente de poder del campo es fija. Asumiendo que el voltaje de armadura es constante. A medida que la corriente de la carga disminuye desde plena carga a sin carga, la velocidad debe aumentar proporcionalmente de manera que la fuerza contra electromotriz aumentará para mantener la ecuación en balance. A voltaje nominal y campo completo, la velocidad del motor shunt aumentará 5% a medida que la corriente de carga disminuya de plena carga a sin carga. La reacción de armadura evita que el flujo de campo permanezca absolutamente constante con los cambios en la corriente de la carga. La reacción de armadura, por lo tanto causa un ligero debilitamiento del flujo a medida que la corriente aumenta. Esto tiende a aumentar la velocidad del motor. Esto se llama “inestabilidad” y el motor se dice que está inestable.

2.3.4.1 Tipos de conexión

Existen varias maneras de conectar los motores Shunt, a continuación se menciona las formas en las cuales se encontrar conectados los motores que se estudiaran en esta tesis

2.3.4.1.1 Motor Serie

En un motor serie, el flujo del campo es una función de la corriente de la carga y de la curva de saturación del motor. A medida que la corriente de la carga disminuye desde plena carga, el flujo disminuye y la velocidad aumenta. La curva de incremento de velocidad es pequeña al principio pero aumenta a medida que la corriente se reduce. Para cada motor serie, hay una mínima carga segura determinada por la máxima velocidad de operación segura.

2.3.4.1.2 Motor Compuesto (Compound)

Los motores compuestos tienen un campo serie sobre el tope del bobinado del campo shunt. Este campo serie, el cual consiste de pocas vueltas de un alambre grueso, es conectado en serie con la armadura y lleva la corriente de armadura.

El flujo del campo serie varía directamente a medida que la corriente de armadura varía, y es directamente proporcional a la carga. El campo serie se conecta de manera tal que su flujo se añade al flujo del campo principal shunt. Los motores compound se conectan normalmente de esta manera y se denominan como compound acumulativo.

Esto provee una característica de velocidad la cual no es tan “dura” o plana como la del motor shunt, no tan “suave” como un motor serie. Un motor compound tiene un limitado rango de debilitamiento de campo, la debilitación del campo puede resultar en exceder la máxima velocidad segura del motor sin carga. Los motores D.C compound son algunas veces utilizados donde se requiera una respuesta estable de torque constante a través de un amplio rango de velocidad.

3. METODOLOGIA

En este capítulo se presenta el proceso de desarrollo de esta tesis, en el cual se desarrollaran pruebas mediante la toma de imágenes con la cámara IR termográfica éstas se realizarán en varios motores de la misma capacidad, modelo y marca en condiciones externas diferentes, se tomarán varias imágenes del mismo ya que se requiere descartar aquellas en las que se te tenga alguna fuente de calor externa, esto en base a las pruebas realizadas se determinarán las condiciones ideales para la realización de las mediciones y así tener una medición más confiable con la cámara.

Para cada caso se busca los siguientes parámetros:

- Campo de visión para la obtención del termograma.
- Rango hora del día para obtención del termograma.
- Distancia de trabajo para la medición.
- Zonas interés para el análisis.
- Emisividad de los elementos a medir.

Se realizó el estudio de este caso. Estas pruebas se aplicaran en motores de 20 HP marca GE línea Kinamatic armazón 409AT, con un voltaje de armadura de 500 VCD, voltaje de campo 300 VCD con una resistencia de campo de 90 ohm a 25°C, aislamiento de los devanados de campo y armadura clase F, diseñados para utilizar a 2000 metros sobre el nivel del mar, a una temperatura de 40 °C. Es importante mencionar que será *in situ*.

3.1 Características de los motores y su ubicación

Los motores que se van a estudiar se encuentran acoplados a los rodillos motriz (ver Figura 11) el cual se encuentra rodeado de la tela que contiene al cartón estos hacen que giren unos rodillos de mayor tamaño conocidos como rodillos secadores, los cuales como su nombre lo dice su función es secar el cartón. Se muestra en la Figura 6 a Figura 10 ubicación tanto de los rodillos secadores como de los rodillos motriz, los cuales se encuentran numerados consecutivamente por lo cual también será sencillo hacer referencia a los motores 824 a 849

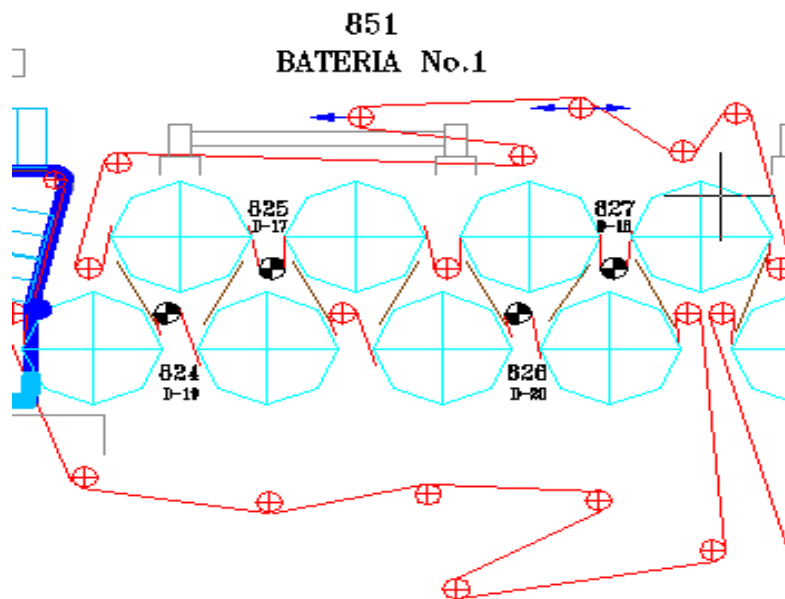


Figura 6 Primer conjunto de motores, ubicación de los rodillos motriz

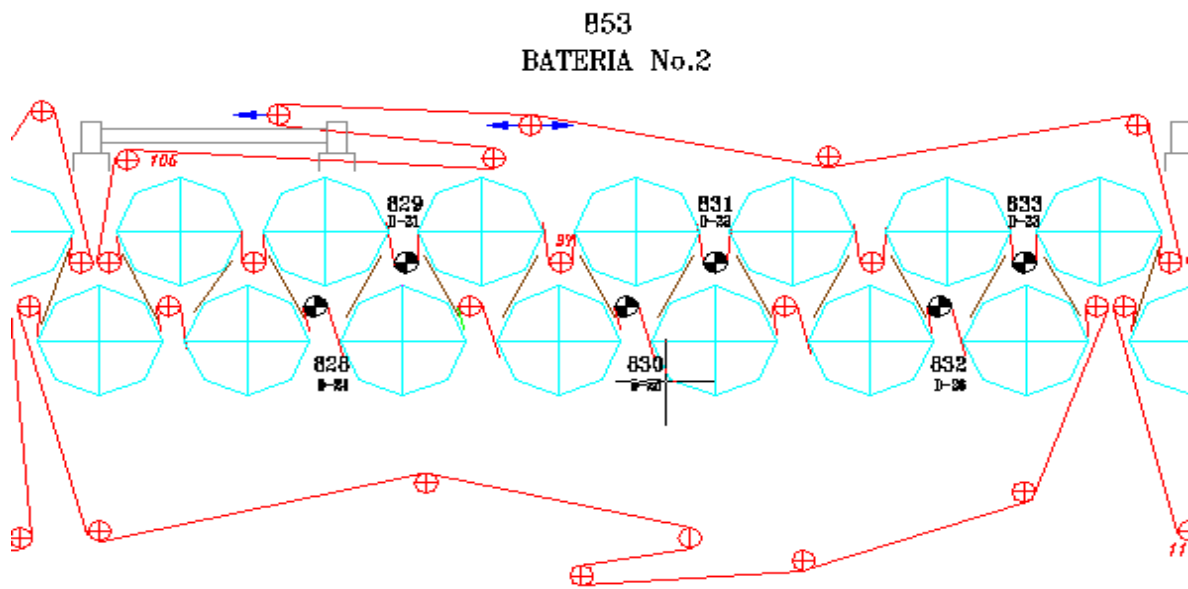


Figura 7 Segundo conjunto de motores, ubicación de los rodillos matriz

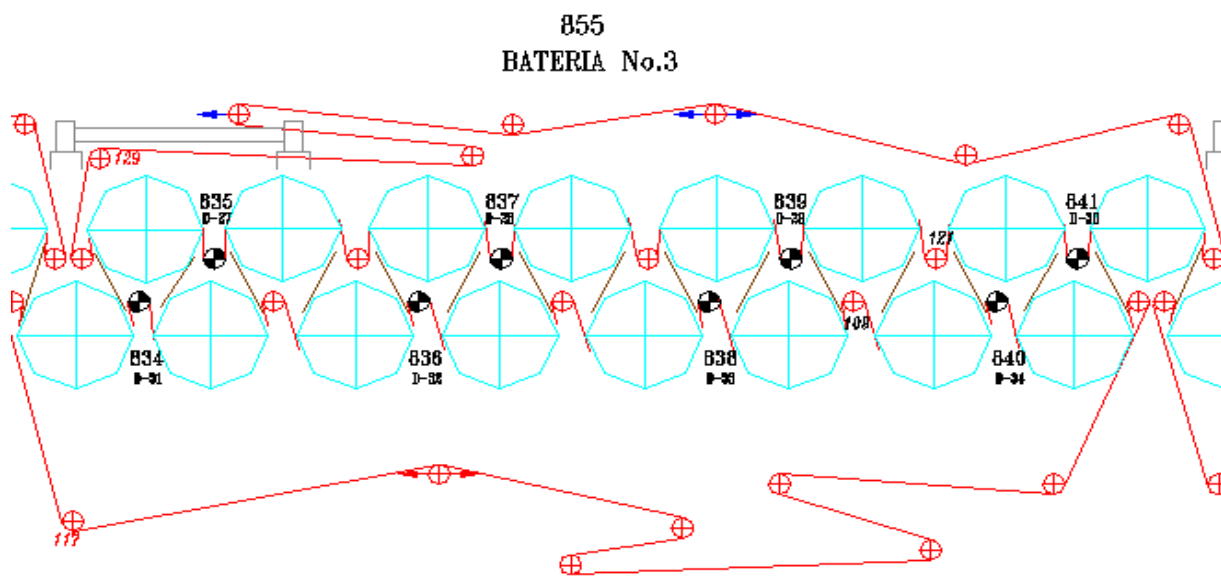


Figura 8 Tercer conjunto de motores, ubicación de los rodillos matriz

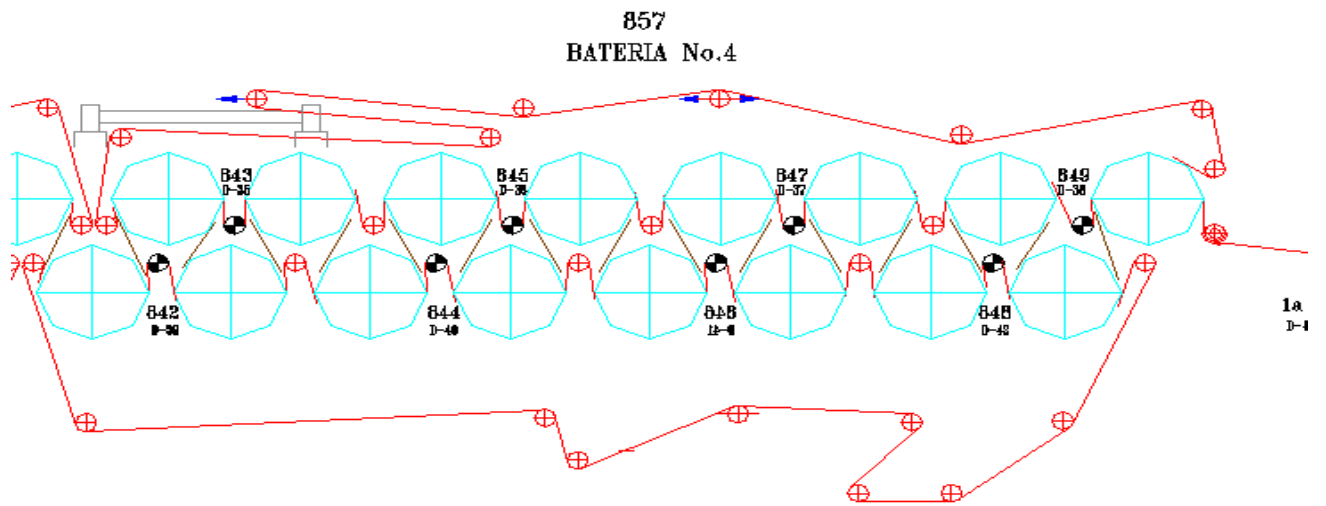


Figura 9 Cuarto conjunto de motores, ubicación de los rodillos motriz

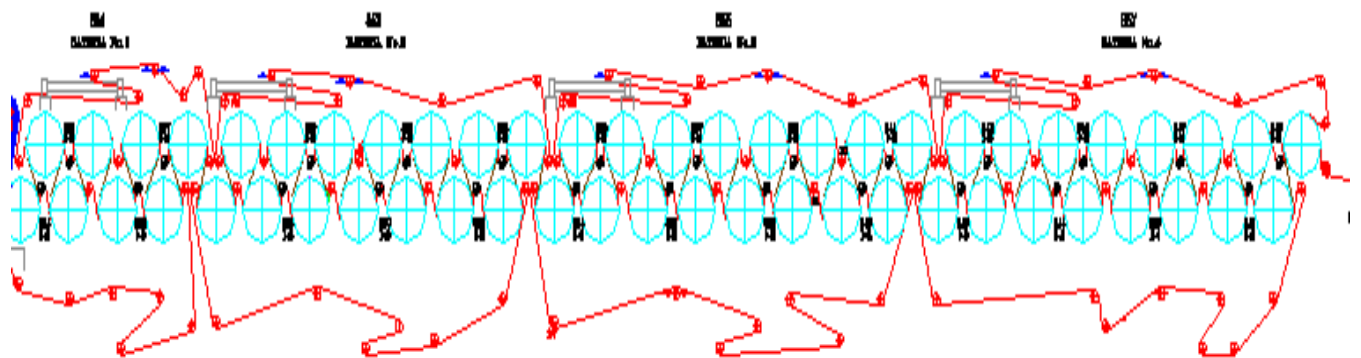


Figura 10 Vista completa de los conjuntos de rodillos

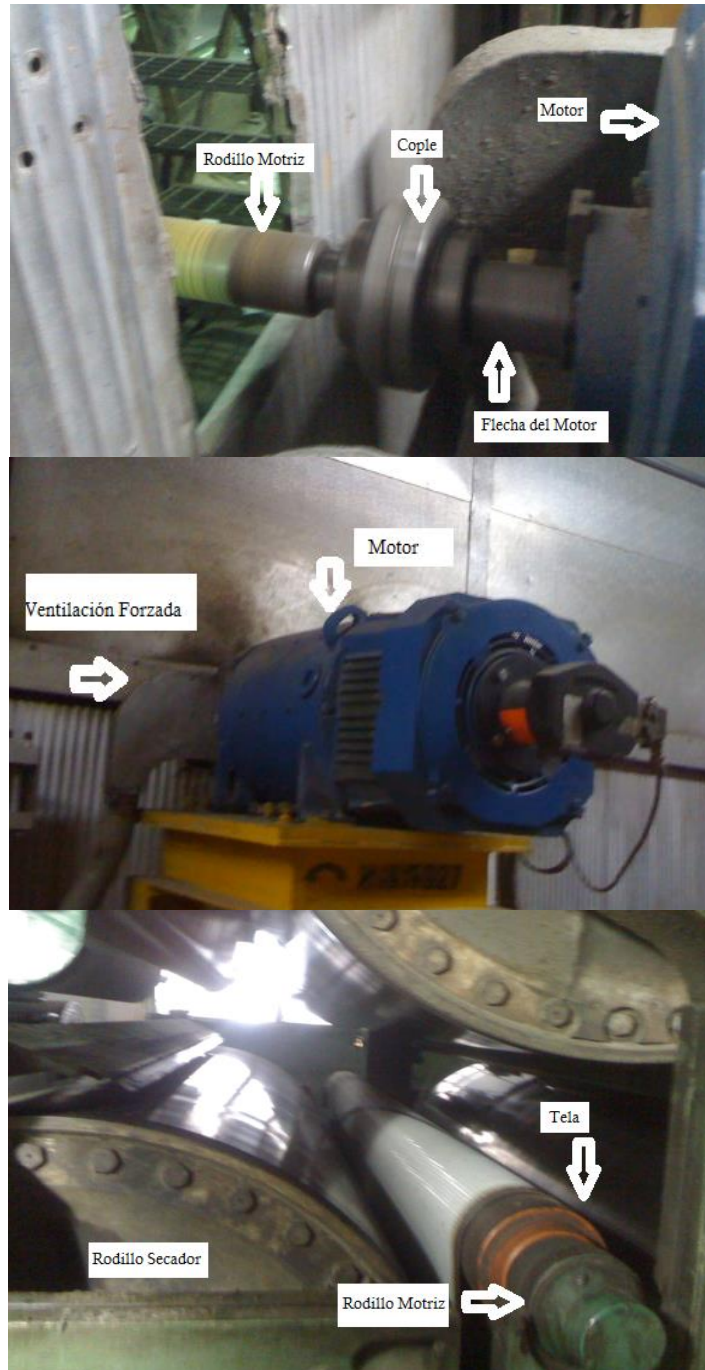


Figura 11 Rodillos y Motor

Estos motores siempre se encuentran en funcionamiento ya que si no fuera así la hoja no podría pasar entre los rodillos secadores por lo cual se rompería el cartón y la maquina se pararía al igual que la producción. A continuación mostraremos la

metodología que se llevó a cabo el análisis del comportamiento de los motores antes descritos por medio de análisis de componentes.

3.2 Análisis de caso para motores CD

Dentro de los estudios que se le realizan a los motores se tiene una inspección cuando la máquina se encuentra parada y se puede realizar un mejor mantenimiento preventivo, correctivo, a continuación se muestra un listado de las actividades que se realizan durante esta inspección.

A su vez dentro del estudio se revisa:

- La Resistencia de campo FLD ohm
- Estado del conmutador
- Estado de escobillas trencillas conexiones
- Revisión la separación de escobillas: 2mm/ 3mm
- Escobilla de tierra lado libre
- Limpieza entre porta escobilla y contratapa lado libre
- Revisión Conexiones armadura xc kixon tierra
- Limpieza de los porta carbones
- Limpieza del conmutador con manta no quitar patina (la pátina es una capa que se va formando entre el conmutador y las escobillas por el uso del motor y el desgaste que van teniendo las escobillas esta debe ser pareja para que demuestre un buen funcionamiento de las mismas).
- Si se cambiaron escobillas asentarlas con lija para madera
- Colocación de escobillas en su cajete
- Revisión de que escobillas estén bien seguras
- Acoplamiento/montaje encoder
- Conexión del encoder
- Retirar grasa en interior y disco del encoder

- Limpieza interior del motor con aire
- Revisión de escobillas para verificar que estén bien conectadas y el tensor bien puesto
- Colocación ductos y abrir ventilación forzada
- Limpieza exterior sellado de partes tapas y cajas

3.3 Cámara Termográfica

La cámara que se utilizó fue una FLUKE TI025 la sensibilidad de la cámara es de $\leq 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (100 mK) , Sensibilidad térmica (NETD) $\leq 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (100 mK) , mínima 15 cm, Campo de visión instantáneo 2.5 mrad, Rango de temperatura De $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $350 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 rangos se muestra la cámara en la Figura 12

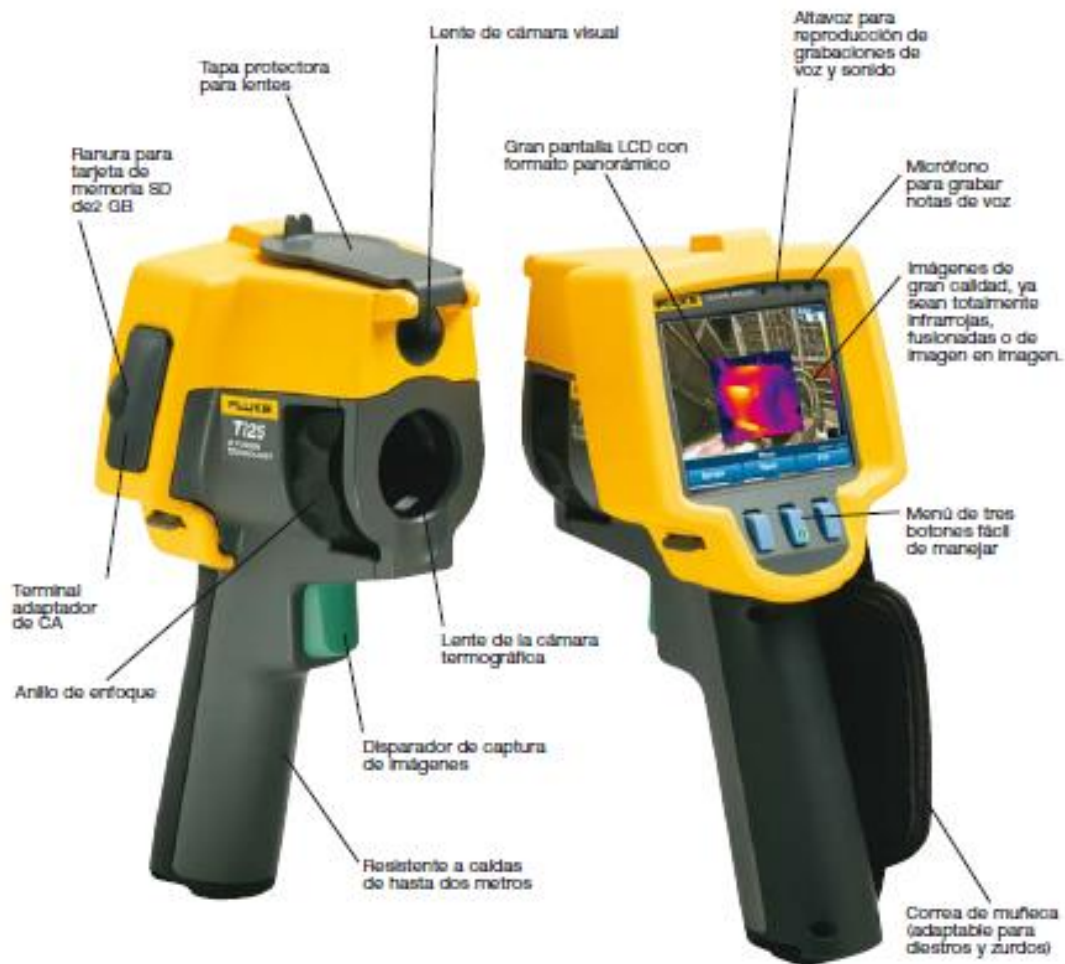


Figura 12 Cámara Termografía

3.4 Escobillas

En el caso de los motores que se está estudiando se trata de escobillas electrográficas (en el anexo 1 se da la clasificación de las escobillas) las cuales presentan una forma como la que se presenta en la Figura 13

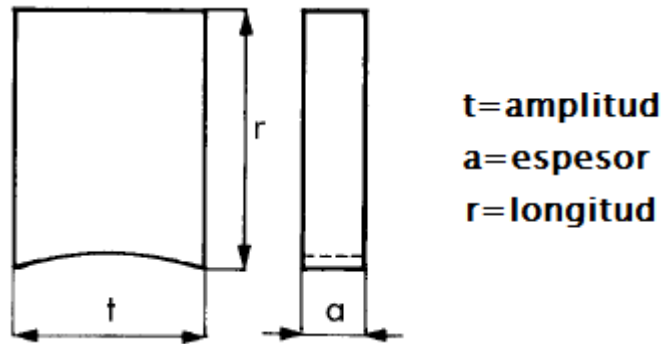


Figura 13 Escobilla

Para tener un buen uso de las escobillas es importante que no se dejen en uso después de la línea que se encuentra sobre el área t . Ya que después de aquí no se sabe que tanto material tiene la escobilla y que tanto cordel (el cordel es el conector que tiene la escobilla con el motor) para la conexión se encuentra en esta área

3.5 Análisis termográfico

En las inspecciones que se realizan de forma rutinaria conocidas como rutas las cuales se realizan mientras la maquina se encuentra funcionando, se revisa la temperatura ambiente que existe y la temperatura que presenta el motor así como las condiciones en las cuales se encuentra la instalación, como se percibe el estado de las escobillas y por último se revisa el estado del encoder.

El sistema de valoración que se ha usado es comparativo entre un punto en condiciones normales y un punto crítico o caliente lo cual se pudo generar a partir de las imágenes conociendo su comportamiento normal y con falla. Es por eso se ha considerado la siguiente nomenclatura:

TPC = Temperatura de Punto Crítico o Caliente ($^{\circ}C$)

TCN = Temperatura equivalente en Condiciones Normales de trabajo ($^{\circ}C$)

También se tiene en cuenta el rendimiento nominal en el momento del análisis y la temperatura máxima de trabajo para llegar a las conclusiones siguientes, aunque no definitivas:

$TPC - TCN \leq 10^{\circ}C \rightarrow$ Relevancia **Normal**

$10^{\circ}C < TPC - TCN \leq 20^{\circ}C \rightarrow$ Relevancia **Leve**

$20^{\circ}C < TPC - TCN \leq 40^{\circ}C \rightarrow$ Relevancia **Grave**

$40^{\circ}C < TPC - TCN \leq 70^{\circ}C \rightarrow$ Relevancia **Crítica**

$TPC - TCN > 70^{\circ}C \rightarrow$ Relevancia **Muy Crítica**

Cada material tiene una emisividad diferente, así pues, siempre es necesario comparar temperaturas de elementos formados por el mismo material. Aunque la cámara tiene corrección automática respecto a factores que puedan afectar, como son la temperatura ambiente, la humedad relativa y la distancia, existe un margen de error que se puede cuantificar entorno a +/-2%.

Después de valorar todos los aspectos nombrados se llega a una conclusión de las actividades que se tiene que llevar a cabo y que se enumera de menor a mayor urgencia:

- **Próximo predictivo:** No es necesaria ninguna actividad hasta el próximo estudio predictivo.
- **Realizar seguimiento:** Realizar un seguimiento para ver la evolución del punto caliente o crítico usando la metodología y el personal más adecuado.
- **Lo antes posible:** Actuar lo antes posible teniendo en cuenta la dinámica de cada empresa y sus turnos de trabajo, se aprovechará el paro más inmediato para corregir el problema.

- **Urgente:** Estudiar la posibilidad de parar el proceso para corregir el problema.
- **Muy Urgente:** Interrumpir el proceso inmediatamente para corregir el problema.

En estos dos últimos casos se avisará previamente a la redacción del informe para que se pueda remediar antes que no sea demasiado tarde.

El estudio se realizó utilizando una cámara termografía marca FLUKE modelo TI25 con una emisividad de 0.94 y una temperatura reflejada de 25.9°C.

Se muestra en la Figura una imagen no fue bien tomada ya que manejando una escala de 28.8°C a 93.5°C, sabiendo que el motor debe estar entre 30°C y 35°C y el punto más caliente obtenido fue de 35.8°C el cual era una ventana que desprendía calor del área

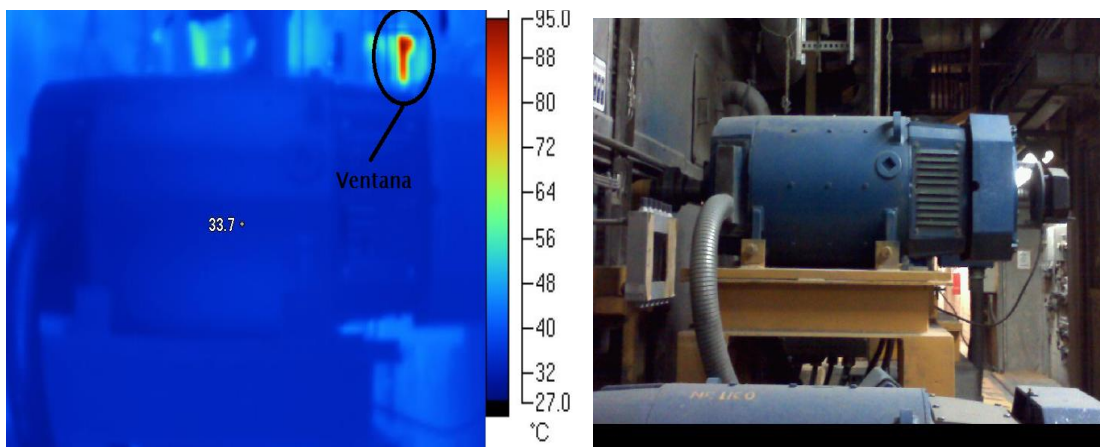


Figura 14 Motor y su Termograma

La Figura 15 que se manejó un rango de temperatura de 30.9°C a 48.8°C, se toma un punto medio el cual tiene una temperatura de 25.9°C se tiene una estructura que se encuentra en la parte de arriba del motor lo que se puede observar en esta imagen fue que cuando el motor se encuentra frío tiene una temperatura de 30.9°C después de un tiempo de estar realizando su operación se volvió a tomar la muestra y la temperatura de 40.9°C esta diferencia de temperatura nos

ejemplifica el que al tomar la temperatura exterior y después la temperatura del motor este tendrá una variación a razón del cambio de la misma sin embargo este será proporcional a la temperatura normal haciendo la diferencia con respecto a la temperatura.

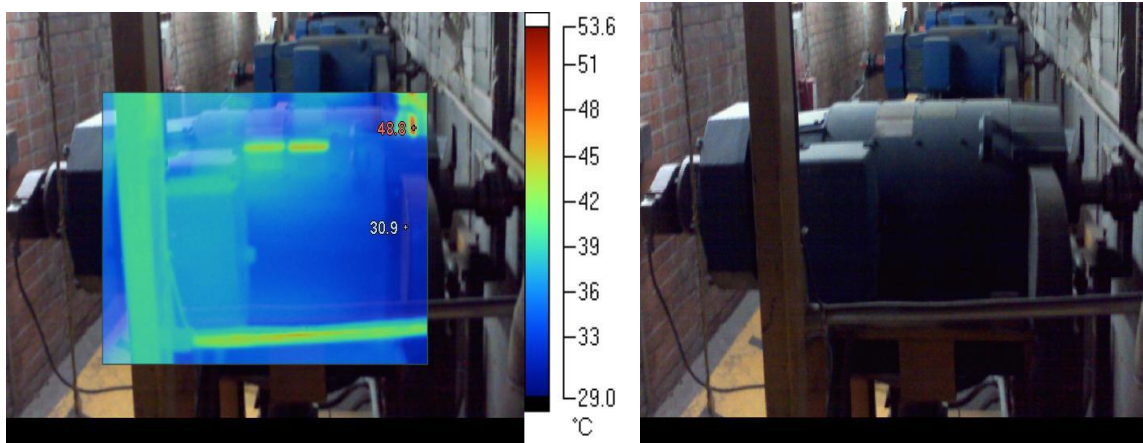


Figura 15 Termograma y Motor.

A continuación se muestra el diagrama de la metodología a seguir en el estudio realizado a los motores figura 16.

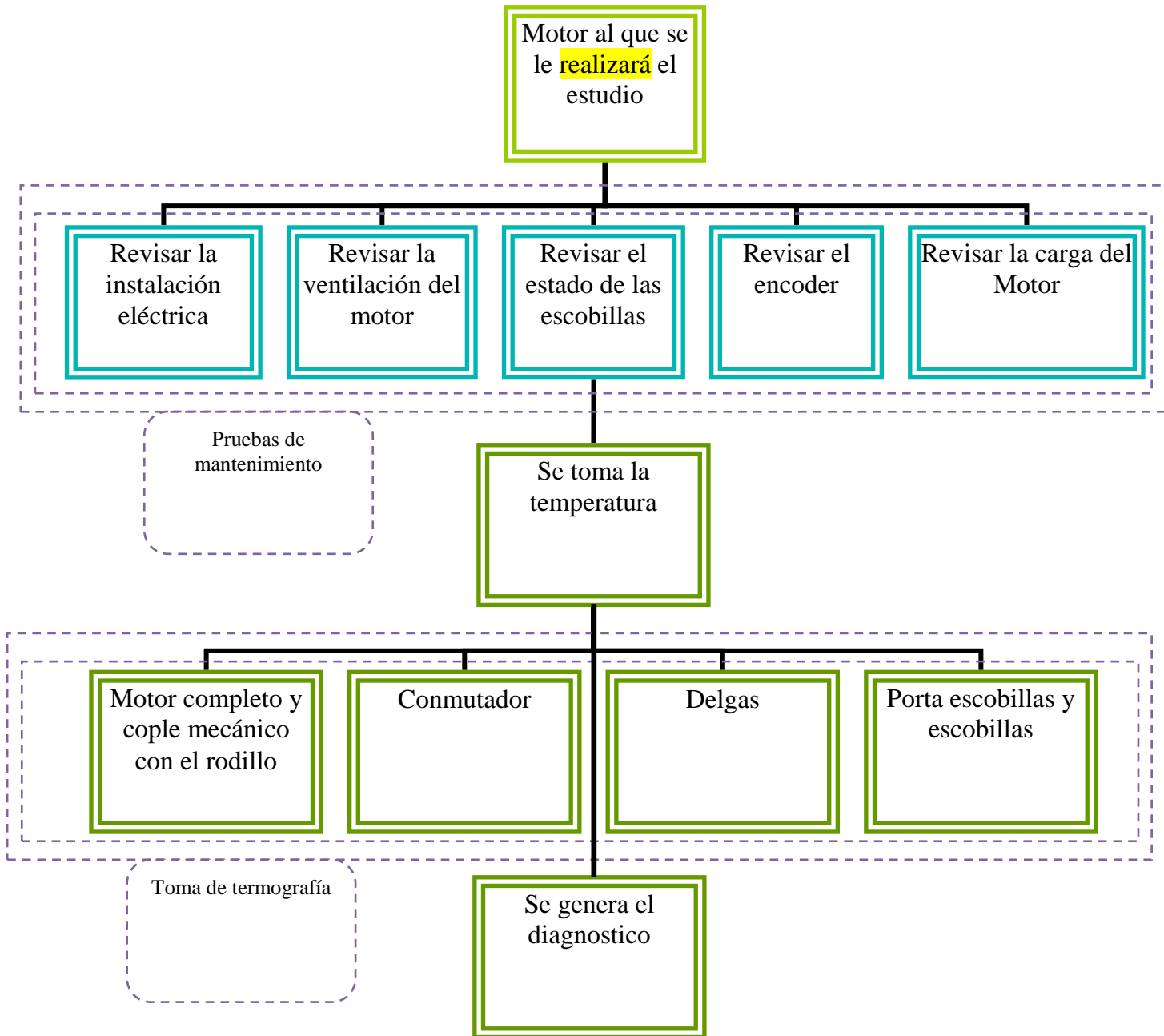


Figura 16 Esquema de pruebas de manteniendo

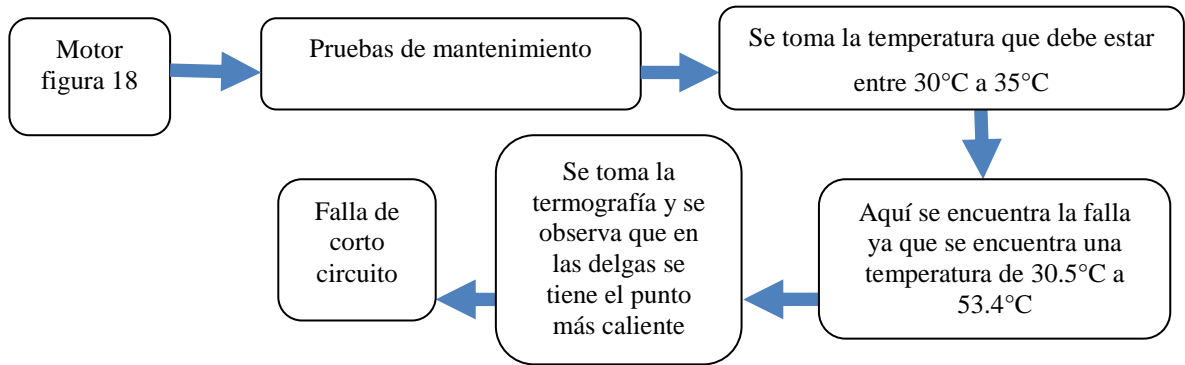


Figura 17 Esquema de prueba de falla de corto circuito

La falla de corto circuito que se presenta en la Figura

- 1) Se realizaron todas las pruebas de mantenimiento predictivo al motor
- 2) Sabiendo que el rango de temperatura que debe manejar es de 30°C a 35°C
 - a) Es aquí donde se encuentra la primera falla ya que se tuvo que tomar un rango de 30.5°C a 53.4°C
 - b) En el punto del conmutador se apreció una alta temperatura en las delgas ya que es común que estas presenten 30°C y la temperatura en el punto más caliente de este fue de 33.5°C.

Por lo anterior fue que se pudo saber que al tener muy alta temperatura en las delgas de este conmutador la falla que presento era un corto circuito por la posición del punto más caliente.

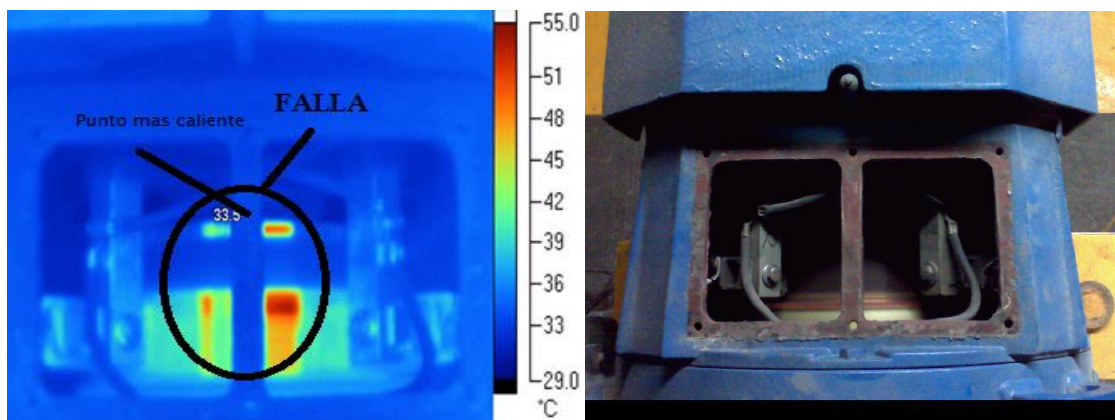


Figura 18 Conmutador y termograma

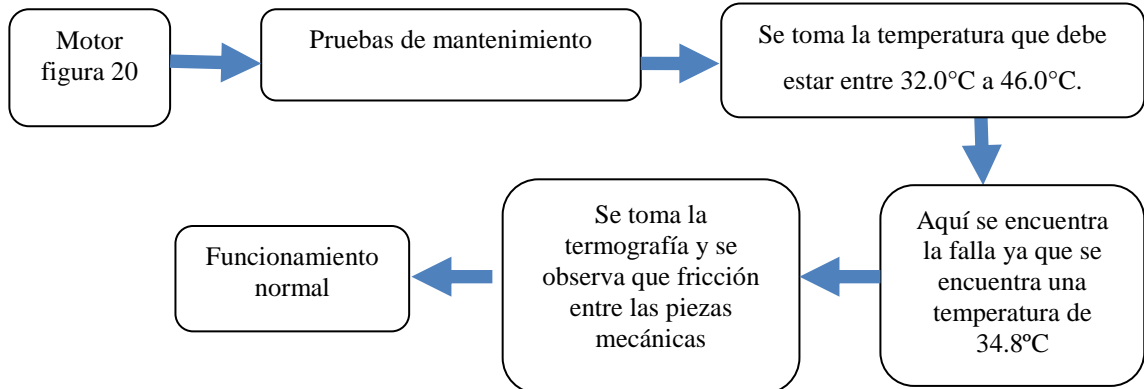


Figura 19 Esquema de prueba de funcionamiento normal

La Figura 20 no presenta falla esto se comprobó por medio del siguiente análisis:

- 1) Se realizaron todas las pruebas de mantenimiento predictivo al motor
 - a) Es aquí donde se encuentra la primera falla ya que se tuvo que tomar un rango de 32.0°C a 46.0°C.
 - b) Se tuvo un punto caliente en esta imagen el cual tuvo un promedio de 34.8°C el cual se presentó en el cople del motor y el rodillo motriz sin embargo es normal ya que es el calor que se presenta por fricción mecánica de las piezas.

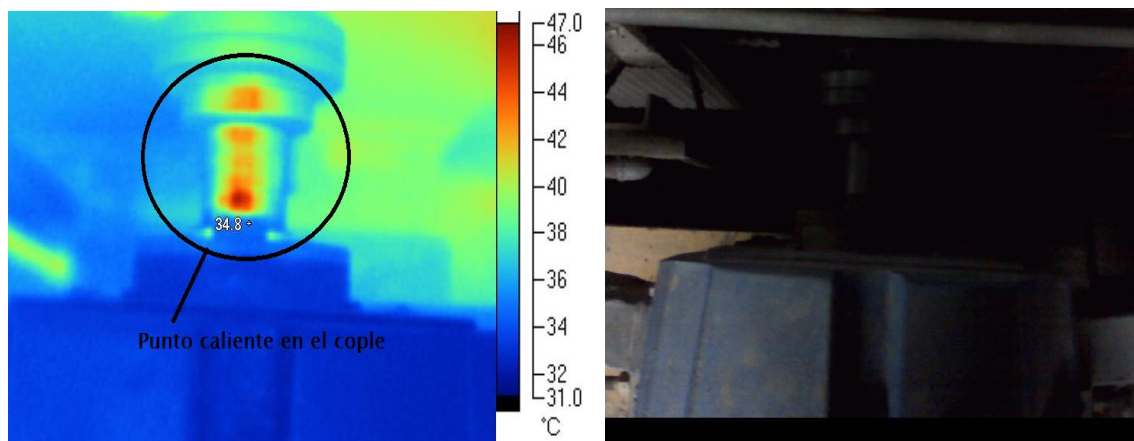


Figura 20 Cople y termograma

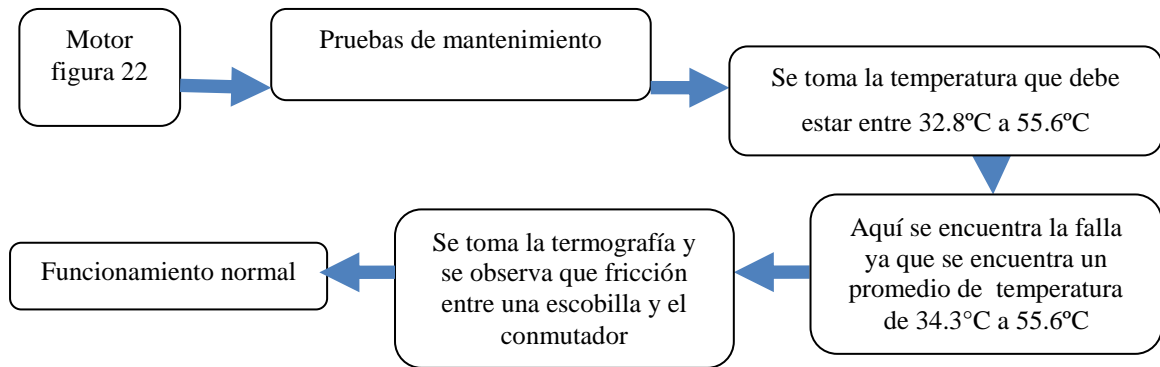


Figura 21: Esquema de prueba de funcionamiento normal

La Figura 2222 no muestra problema alguno debido al siguiente análisis:

- 1) Se realizaron todas las pruebas de mantenimiento predictivo al motor
 - a) Es aquí donde se encuentra la primera falla ya que se tuvo que tomar un rango de 32.8°C a 55.6°C.
 - b) Se tuvo un punto caliente en esta imagen el cual tuvo un promedio de 34.3°C la imagen se toma en la parte de arriba del motor por eso solo se percibe una de las escobillas la cual presenta temperatura esto es normal debido a que es la parte que se encuentra rozando con el conmutador y despide calor.

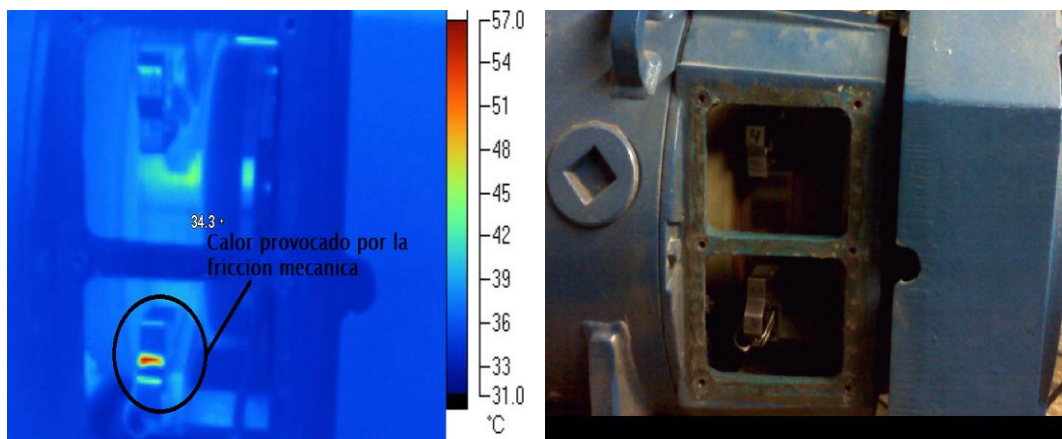


Figura 22 Conmutador y Termograma

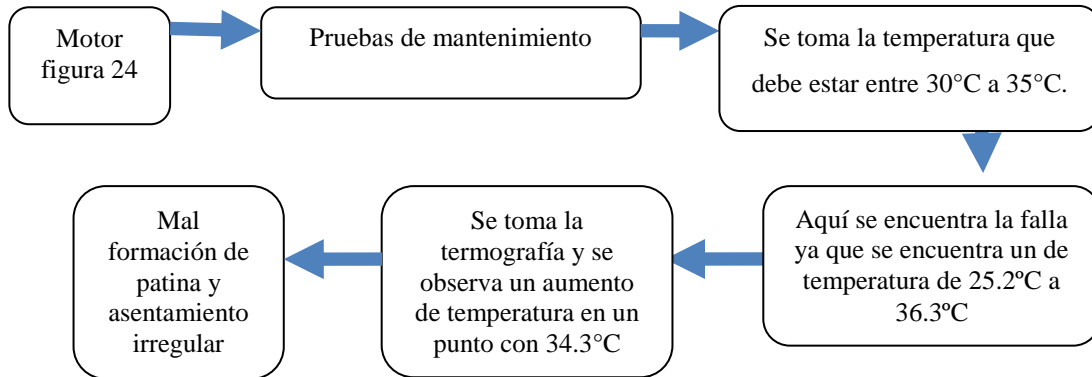


Figura 23 Esquema de prueba de mal formación de patina y de asentamiento irregular

La Figura 24 muestra una pátina mal formado y un asentamiento irregular de las escobillas:

- 1) Se realizaron todas las pruebas de mantenimiento predictivo al motor
- 2) Sabiendo que el rango de temperatura que debe manejar es de 30°C a 35°C.
 - a) Es aquí donde se encuentra la primera falla ya que se tuvo que tomar un rango de 25.2°C a 36.3°C
 - b) Se tuvo un punto caliente en esta imagen el cual tuvo un promedio de 34.3°C el cual. muestra la pátina mal formada y el asentamiento irregular de las escobillas la imagen se toma de la rejilla del motor

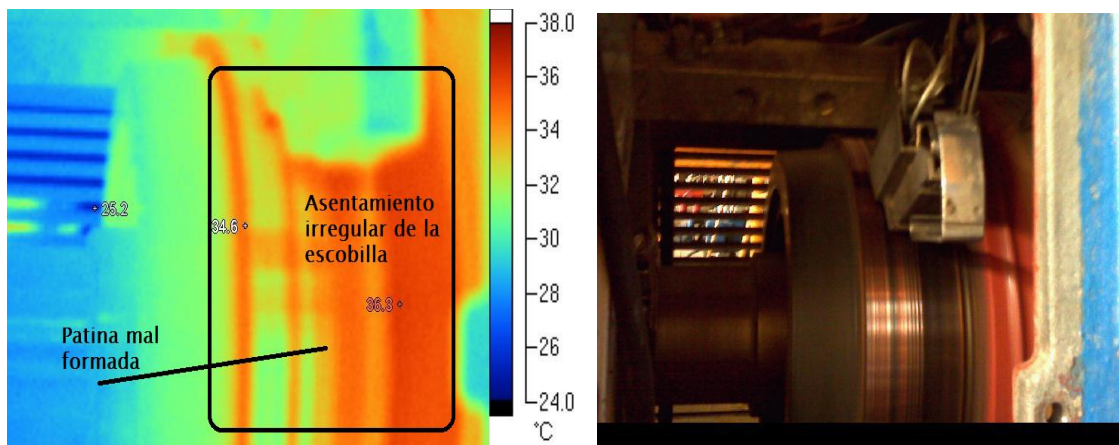


Figura 24 Conmutador y Termograma

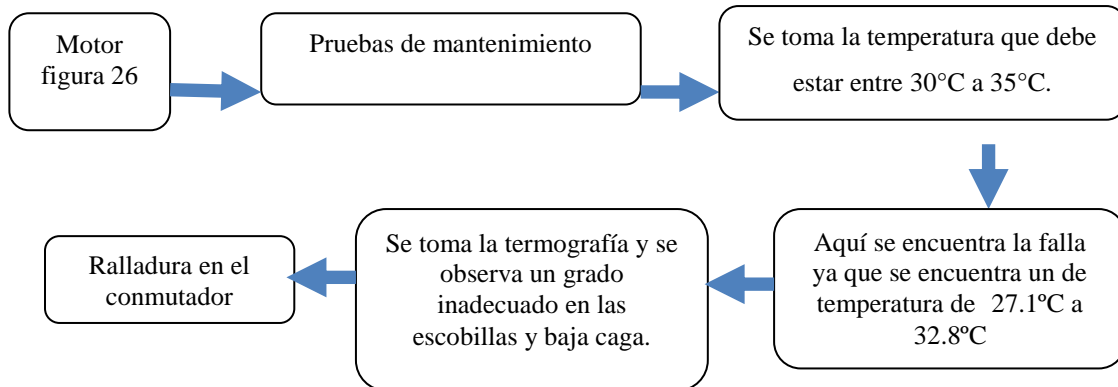


Figura 25 Esquema de pruebas de ralladura del conmutador

La Figura 26 muestra ralladura en el conmutador:

- 1) Se realizaron todas las pruebas de mantenimiento predictivo al motor
- 2) Sabiendo que el rango de temperatura que debe manejar es de 30°C a 35°C.
 - a) Es aquí donde se encuentra la primera falla ya que se tuvo que tomar un rango de 27.1°C a 32.8°C
 - b) Se tuvo un punto caliente en esta imagen el cual tuvo un promedio de 31.7°C el cual muestra un grado inadecuado de escobilla y baja carga ocasionando ralladura en el conmutador la imagen se toma de la rejilla del motor.

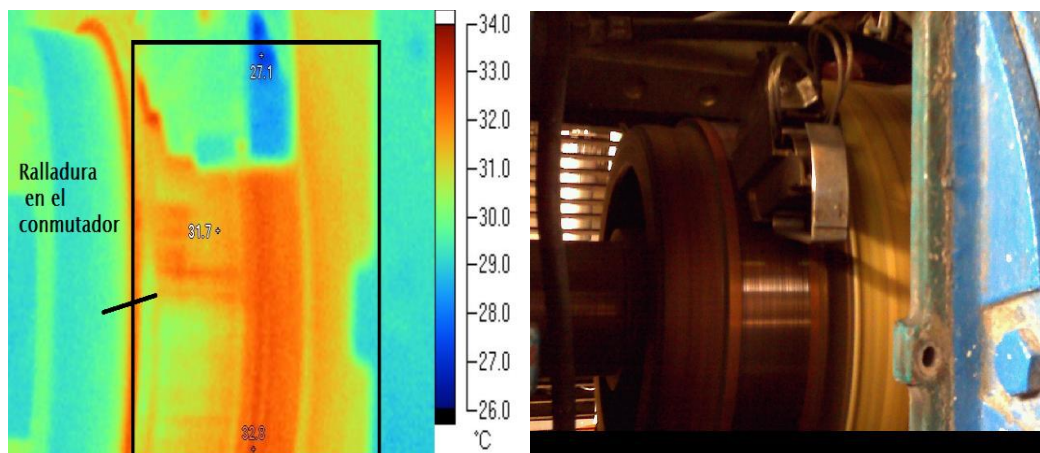


Figura 26 Conmutador y Termograma

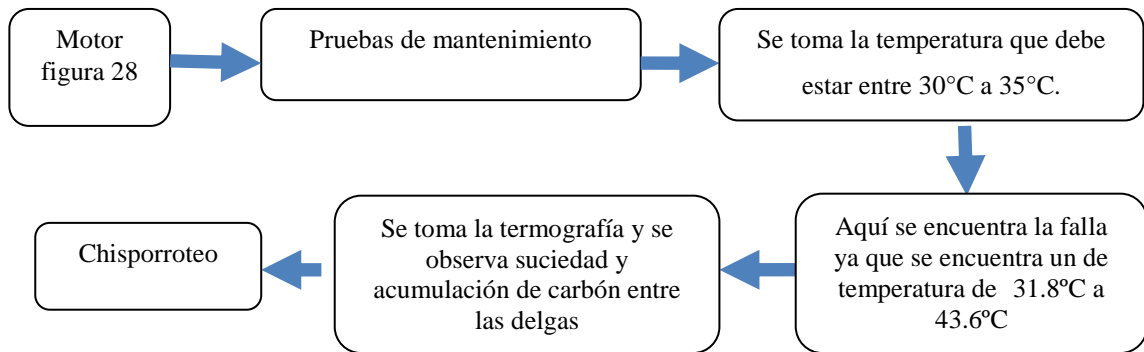


Figura 27 Esquema de pruebas de chisporroteo

La Figura 28 muestra chisporroteo

- 1) Se realizaron todas las pruebas de mantenimiento predictivo al motor
- 2) Sabiendo que el rango de temperatura que debe manejar es de 30°C a 35°C.
 - a) Es aquí donde se encuentra la primera falla ya que se tuvo que tomar un rango de 31.8°C a 43.6°C,
 - b) Se tuvo un punto caliente en esta imagen el cual tuvo un promedio de 30.4°C el cual muestra suciedad y acumulación de carbón entre delgas ocasionando chisporroteo en el conmutador la imagen se toma de la rejilla del motor.

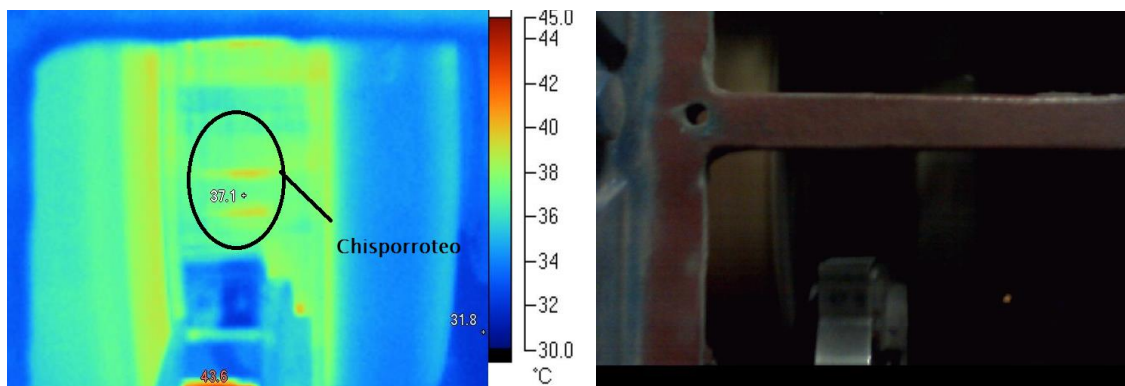


Figura 28 Escobilla y Termograma

Después de la pruebas anteriores se buscó una forma en la que se pudiera tener una mejor perspectiva respecto a la presencia de calor y el cambio que este presento por eso se tomaron cinco puntos en la misma imagen

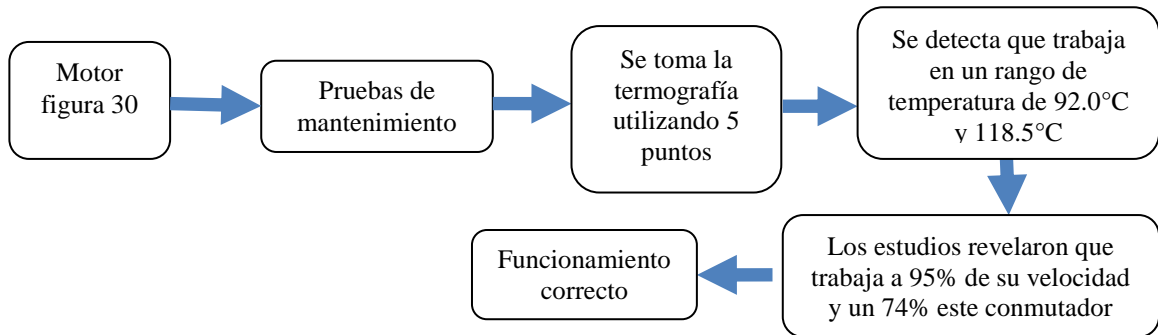


Figura 29 Esquema de pruebas de funcionamiento correcto

La Figura muestra un conmutador al cual se le realizo el mismo análisis anterior solo que se incluyeron 5 puntos dentro del termograma.

- 1) Se realizaron todas las pruebas de mantenimiento predictivo al motor
- 2) Sabiendo que el rango de temperatura que debe manejar es de 90°C a 119°C.

Punto	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Temperatura	118.5°C	117.4°C	93.6°C	116.0 °C	92.0°C

Tabla 2. Temperatura cinco puntos figura 30

- 3) Aquí pudimos ver que las temperaturas presentes en el termograma se encuentran dentro del rango que se maneja para el funcionamiento del motor siendo la más baja de 92.0°C y la mayor de 118.5°C.
- 4) Revisando la información que se obtuvo de los demás estudios pudimos observar que el motor se tiene que trabajar a un 95% de su velocidad y un 74% este conmutador se encuentra funcionando correctamente.

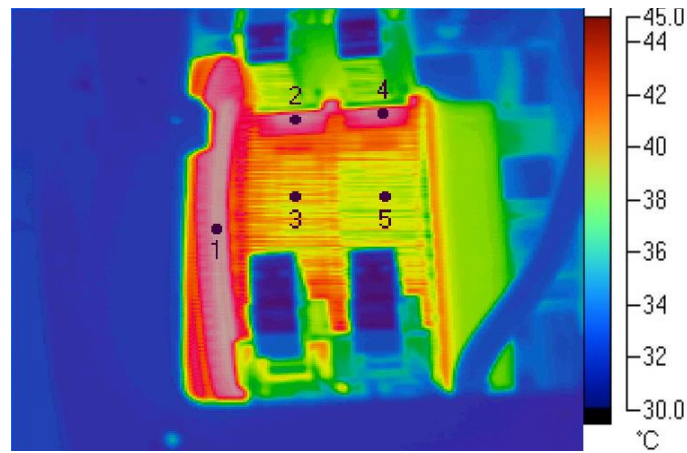


Figura 30 Conmutador

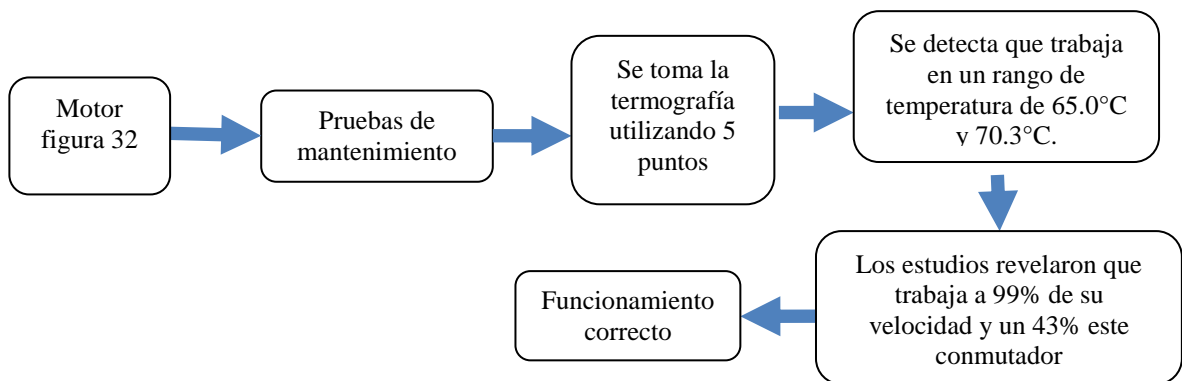


Figura 31 Esquema de pruebas de funcionamiento correcto

La Figura 32 muestra un conmutador al cual se le realizó el mismo análisis anterior solo que se incluyeron 5 puntos dentro del termograma.

- 1) Se realizaron todas las pruebas de mantenimiento predictivo al motor
- 2) Sabiendo que el rango de temperatura que debe manejar es de 61°C a 71°C.

Punto	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Temperatura	67.3°C	70.3°C	68.8°C	64.9 °C	65.0°C

Tabla 3. Temperatura cinco puntos figura 32

- 3) Aquí pudimos ver que las temperaturas presentes en el termograma se encuentran dentro del rango que se maneja para el funcionamiento del motor siendo la más baja de 65.0°C y la mayor de 70.3°C.
- 4) Revisando la información que se obtuvo de los demás estudios pudimos observar que el motor se tiene que trabajar a un 99% de su velocidad y un 43% este conmutador se encuentra funcionando correctamente.

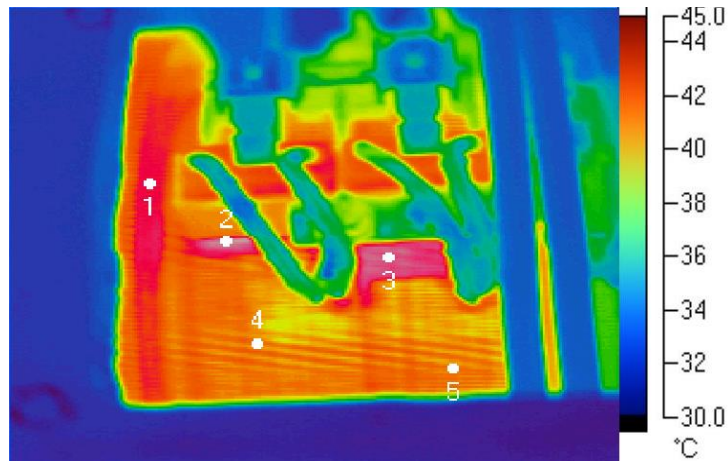


Figura 32 Conmutador

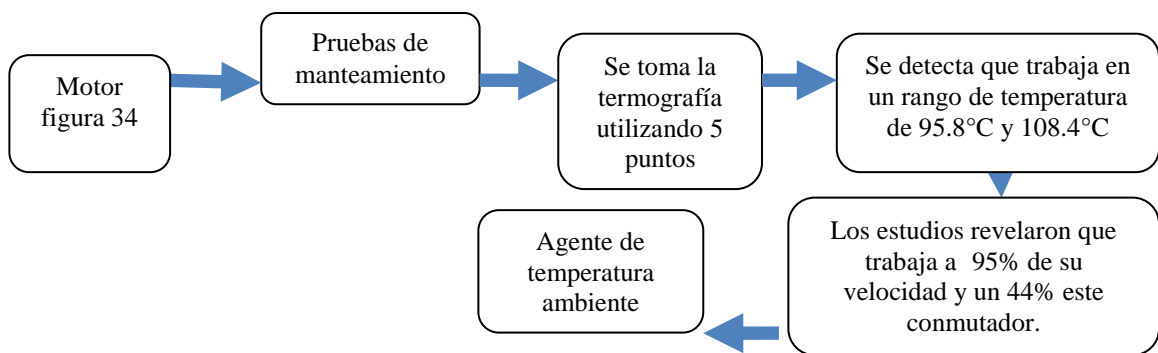


Figura 33 Esquema de pruebas de agente de temperatura ambiente

La Figura 34 muestra un conmutador al cual se le realizó el mismo análisis anterior solo que se incluyeron 5 puntos dentro del termograma.

- 1) Se realizaron todas las pruebas de mantenimiento predictivo al motor
- 2) Sabiendo que el rango de temperatura que debe manejar es de 61°C a 71°C.

Punto	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Temperatura	89.5°C	108.4°C	108.4°C	95.8 °C	105.2°C

Tabla 4. Temperatura cinco puntos figura 34

- 3) Aquí pudimos ver que las temperaturas presentes en el termograma se encuentran dentro del rango que se maneja para el funcionamiento del motor siendo la más baja de 95.8°C y la mayor de 108.4°C.
- 4) Revisando la información que se obtuvo de los demás estudios pudimos observar que el motor se tiene que trabajar a un 95% de su velocidad y un 44% este conmutador.
- 5) Este motor se encontraba en la misma área que el motor que se mostró en la figura 21 sin embargo a este le da un el sol por un área de ventilación a parte se encuentra cerca de otra maquinaria que despide calor por lo cual se ve afectado por un agente de temperatura ambiente.

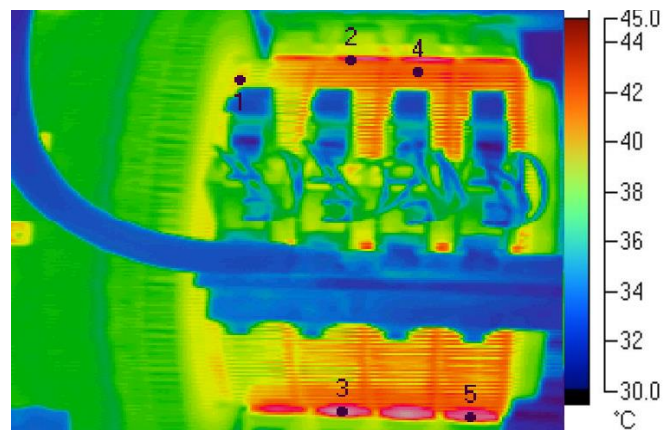


Figura 34 Conmutador

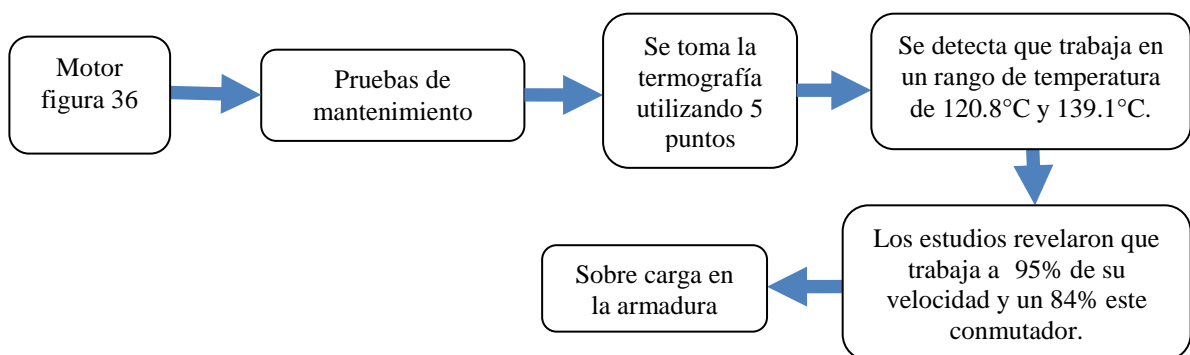


Figura 35 Esquema de pruebas de sobre carga en la armadura

La Figura 36 muestra un conmutador al cual se le realizo el mismo análisis anterior solo que se incluyeron 5 puntos dentro del termograma.

- 1) Se realizaron todas las pruebas de mantenimiento predictivo al motor
- 2) Sabiendo que el rango de temperatura que debe manejar es de 61°C a 71°C.

Punto	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Temperatura	135.1°C	131.4°C	120.8°C	122.2 °C	139.1°C

Tabla 5. Temperatura cinco puntos figura 36

- 3) Aquí pudimos ver que las temperaturas presentes en el termograma se encuentran dentro del rango que se maneja para el funcionamiento del motor siendo la más baja de 120.8°C y la mayor de 139.1°C.
- 4) Revisando la información que se obtuvo de los demás estudios pudimos observar que el motor se tiene que trabajar a un 95% de su velocidad y un 84% este conmutador
- 5) Revisando los resultados obtenidos tanto del termograma y del mantenimiento preventivo pudimos ver que este motor presenta sobrecarga en la armadura.

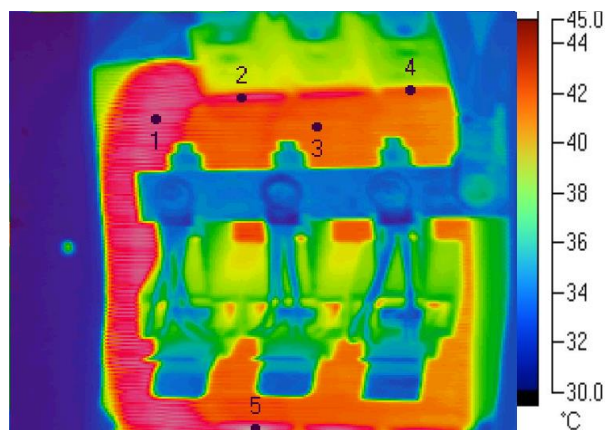


Figura 36 Conmutador

3.6 Procedimiento para Análisis de Daño en Aislamiento en Motores de Corriente Directa.

Para el caso particular de los motores de corriente directa que se someterán al estudio mediante termografía, se han observado los siguientes puntos críticos en su funcionamiento:

- La temperatura ambiente de diseño de los motores es inferior a la temperatura ambiente a la que están sometidos en su área de trabajo, por lo que requieren de una ventilación externa, misma que es suministrada a través de un sistema de enfriamiento forzado que pasa a través de ductos llegando al lado cople del motor, el objetivo del sistema de enfriamiento es mantener a la entrada del motor un flujo constante 300 CFM (Metros Cúbicos por minuto) de aire de a una presión de 6 In_{H2O} (Pulgadas de Agua) esperando mantener una temperatura constante de 30 a 35°C.

Donde dicho sistema presenta los siguientes problemas:

- a) Los ductos de ventilación están contruidos en lámina metálica, los cuales al no tener aislamiento térmico generan condensado por la diferencia de temperatura con el ambiente.
- b) El ventilador de suministro se ubica cerca de las tuberías de escape para el vapor de proceso, donde al reventar la hoja se libera vapor de agua mismo que es llevado hacia la red de enfriamiento de los motores.

Todos los motores cuentan con sistema de lubricación para los rodamientos a través de graseras y venas en las tapas del motor tanto lado cople como lado libre, no cuentan con un retén que impida que la grasa pase al interior del motor, a pesar de ser grasa sintética esta se incrusta en el aislante del alambre magneto, y al irse deteriorando logra dañar el barniz aislante, ocasionando cortocircuitos entre las espiras de los devanados o inclusive fallas a tierra ocasionando el daño del motor y deteniendo el proceso. Para

prolongar la vida útil del motor es esencial un adecuado mantenimiento, el cual se basará en la vida útil de los componentes de dicha máquina, donde las piezas con mayor desgaste son las escobillas de carbón, las cuales dan transmisión al embobinado de armadura, los rodamientos, cuya vida útil está dada por el fabricante que para el caso específico de la planta es rodamiento FAG. El factor de carga y temperatura juegan un papel importante en el desempeño del motor, el fabricante (General Electric) menciona en sus manuales de operación para motores que por cada grado centígrado que se trabaja el motor por encima de su temperatura de diseño, el motor reduce su vida útil a la mitad, por lo cual se debe tener en cuenta la operación del motor

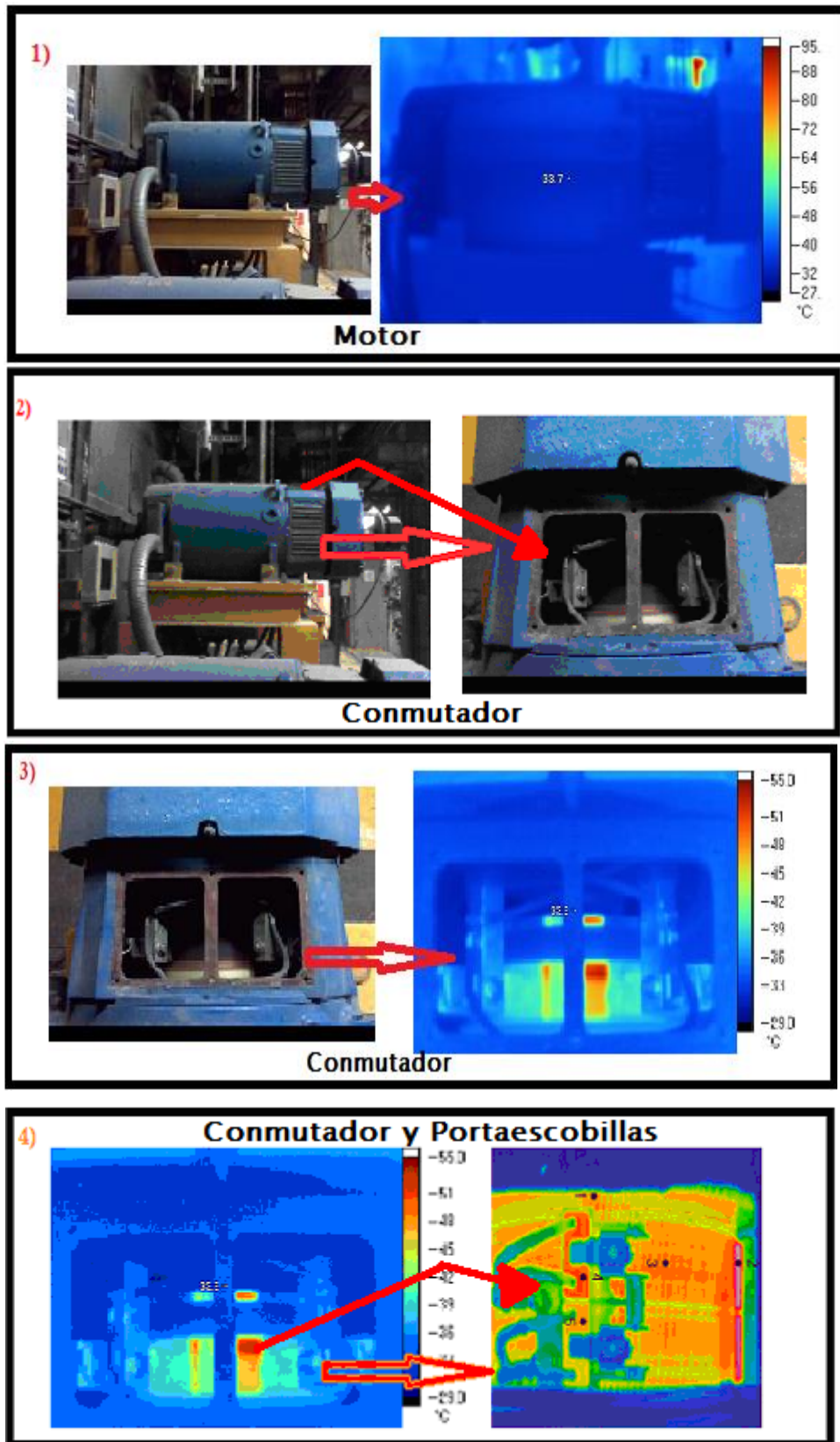


Figura 37 Metodología para el desarrollo de las pruebas

3.7 Criterios importantes para la toma de imágenes termográficas

La claridad con la que podemos ver el equipo y sus componentes debe ser fácil de distinguir la fuente real del problema entre dos o más posibles fuentes localizadas las cuales deben estar muy cerca una de otra ya que de esta manera es más sencillo distinguir el problema. Esto depende de la detección infrarroja o fineza que tenga la cámara, es decir, a mayor resolución, mejor imagen y esto depende de:

- El número de píxeles que es capaz de generar en la imagen.
- La calidad de la óptica (para lo cual en algunos casos se utilizan diferentes lentes para poder tener un mejor resultado sin necesidad de acercarse o alejarse del equipo para poder obtener este resultado).

Al ser identificado el problema, este se debe de revisar desde diversas perspectivas ya que con esto se puede obtener más información y poder confirmar que el diagnóstico hecho sea el correcto, por qué en algunas ocasiones se puede tener un diagnóstico incorrecto producido por un reflejo, por esto es importante obtener una imagen de lado por arriba y debajo de ser posible.

No siempre en las inspecciones se buscan puntos calientes si no también zonas frías ya que estas pueden ser las que muestren la falla.

3.8 Problemas durante la toma de los termogramas

Los problemas más comunes con la mayoría de las imágenes termográficas son debidos a la captura de una imagen desenfocada. Esto hace que el análisis y la evaluación sea cada vez más difícil porque una imagen termográfica desenfocada puede generar una disminución de la temperatura real sobre todo si estamos midiendo puntos muy calientes

Otra cosa es el uso incorrecto del rango de temperatura, mientras se realiza la captura de infrarrojos. La medición de un objeto con una alta temperatura mediante un rango de temperaturas bajo puede causar que la imagen tomada aparezca confusa. Porque no se puede determinar el punto más caliente del objeto. Debido a que se mostrará como color blanco; por ejemplo, si el objeto tiene la temperatura más caliente de 300° C y usamos un nivel de temperatura de -40° a 120°C sólo se verá una imagen en blanco en la pantalla de la cámara. El uso de un nivel adecuado de temperatura le proporcionara una mejor imagen para su análisis y para la posterior determinación de la fuente del problema.

La distancia también se convierte en un factor importante en termografía. Esto está relacionado con dos cosas, primero con la resolución espacial de la cámara y segundo con la condición atmosférica. El conocimiento de la resolución de la cámara es importante para capturar el punto más pequeño en un área de 1 píxel. Por lo tanto, para resolver este se necesita acercarse lo suficiente a su objeto para que pueda obtener una lectura correcta.

3.9 Procedimiento para la toma de termogramas en este caso

Los parámetros que se determinaron para esta prueba son:

- **Hora del día**, entre 8:00 am y 3:30pm. Sin embargo se procura realizar esta toma de termogramas los más temprano posibles, sin embargo se sabe que la temperatura que se tiene puede tener la misma información. Ya que a la temperatura más baja que proporcione este tendrá una diferencia con la temperatura mayor que en proporción será la misma a la diferencia que se obtiene a otra temperatura presente.

- **Distancia de medición**, no es sencillo especificar este punto ya que como antes se mencionó la distancia a la que la cámara debe ser colocada depende de la

claridad de la imagen que deseamos tener además del detalle fino que se quiere estudiar.

- **Establecer la zona de análisis**, esto se realiza estudiando primero la estructura y posteriormente al ir tomando las diferentes imágenes con diferentes perspectivas se pueden localizar puntos de interés a los cuales se les repite el procedimiento anterior para poder llegar hasta el punto de interés.

La emisividad es 0.92 ya que el análisis se enfoca a partes metálicas ferrosas, cobre tanto en motores como en arrancadores.

4. RESULTADOS

Realizando una comparativa entre la información que se obtenía de otros análisis y la información que se obtenía de las imágenes termográfica se tuvieron los siguientes resultados (en esta parte se realizó el estudio también en motores de otras capacidades para comprobar el adecuado funcionamiento de esta técnica).

En la Figura 38 se muestran 5 puntos para poder tener una mejor percepción de los puntos que se encuentran calientes.

Punto	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Temperatura	73.3°C	73.7°C	72.1°C	62.0 °C	73.4°C

Tabla 6. Temperatura cinco puntos figura 25 sano

Se muestra en la tabla 6 las temperaturas obtenidas en la termografía del motor sano

- 1) Los estudios que se le hacen al motor se trabaja a un 95% de su velocidad y un 47% este conmutador se encuentra funcionando correctamente

La conclusión anterior la pudimos obtener a partir de conocer su funcionamiento normal para eso también tenemos los cinco puntos en el termograma que se encuentra en la segunda imagen de la Figura 38.

Punto	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Temperatura	83.7°C	88.7°C	78.2°C	87.4 °C	77.9°C

Tabla 7. Temperatura cinco puntos figura 25 con agentes químicos

- 1) Los demás estudios que se le hacen al motor se tiene que trabaja a un 96%

de su velocidad y un 25% de corriente, se encontro en la imagen termografica que si presenta calentamiento en cuanto a su temperatura este se vio afectado por agenetes quimicos que afectan al conmutador.

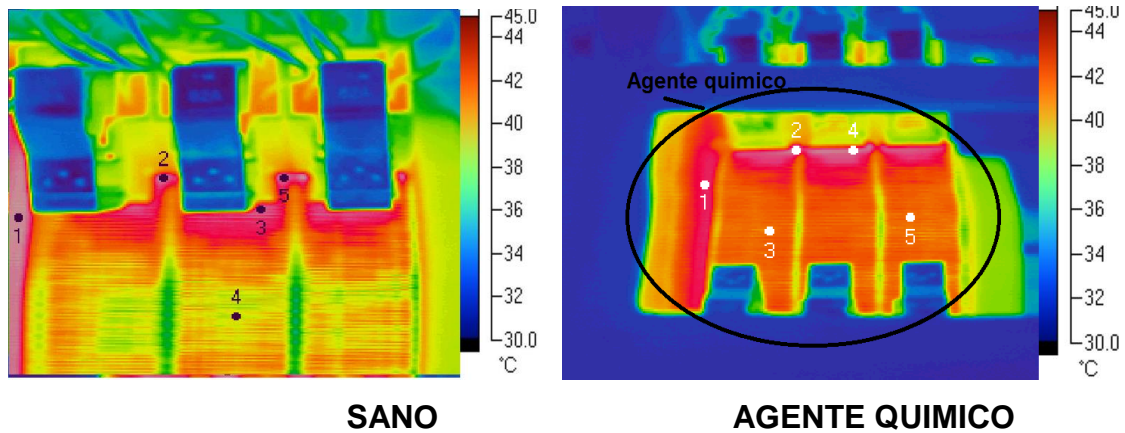


Figura 38 Comparativa 1

Se muestran en la Figura 39, 5 puntos para poder tener una mejor persepcion de los puntos que se encuentran calientes

Punto	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Temperatura	83.9°C	99.8°C	86.7°C	89.7 °C	84.1°C

Tabla 8. Temperatura cinco puntos figura 26 con conmutador ovalado

- 1) Los demás estudios que se le hacen al motor se tiene que trabaja a un 95% de su velocidad y un 70% de corriente, como se puede ver en la imagen en donde se encuentra el punto cuatro se nota que ahí si se tiene contacto entre las escobillas y el comutador, sin embargo en donde se encuentra el punto cinco se persibe que no existe un cambio en la temperatura presentada esto se debio a que el conmutador se encuentra ovalado por lo cual solo una ilera de delgas hace contacto constante con el conmutador

La conclusión anterior la pudimos obtener a parartir de conocer su funcionamiento normal para eso tambien tenemos los cinco puntos en el termograma que se encuentra en la segunda imagen de la Figura 39.

Punto	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Temperatura	71.5°C	76.4°C	74.2°C	69.8 °C	70.6°C

Tabla 9. Temperatura cinco puntos figura 39 sano

2) Los demas estudios que se le hacen al motor se tiene que trabaja a un 99% de su velocidad y un 42% este conmutador se encuentra funcionando correctamente.

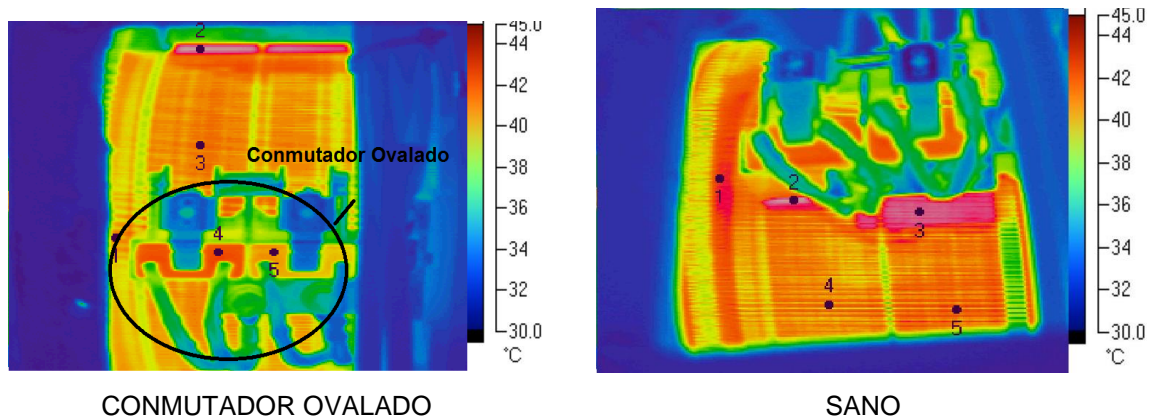


Figura 39 Comparativa 2

Se muestran en la Figura 40 el comportamiento adecuado de un conmutador con una adecuada formacion de la patina, este motor la temperatura promedio en la imagen fue de 57.5°C el punto central de la imagen que tiene mayor temperatura es 64.3°C a diferencia de la segunda imagen que presenta un daño por operar el motor con baja carga debido al grado inadecuado de las escobillas el promedio de la imagen es 57.4°C a diferencia de la anterior se tiene una temperatura de 76°C

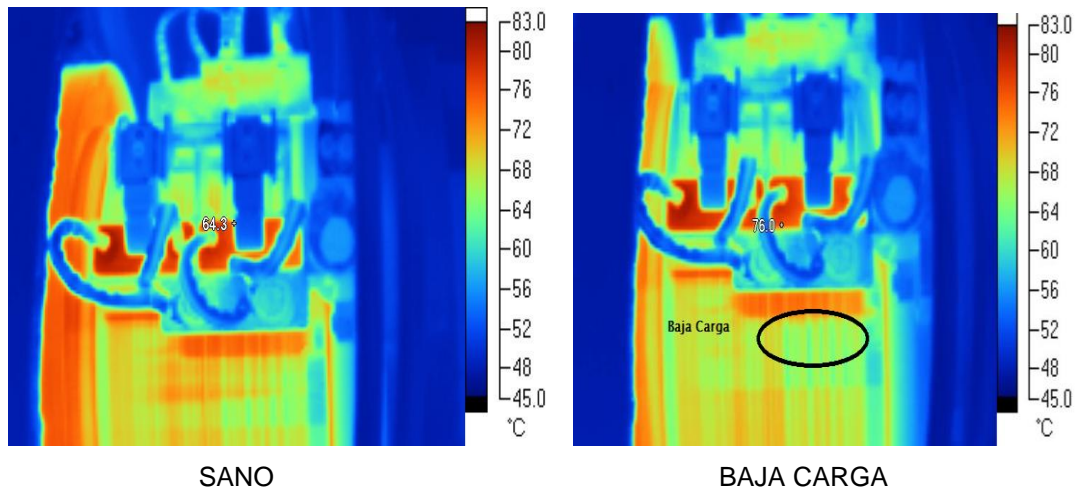
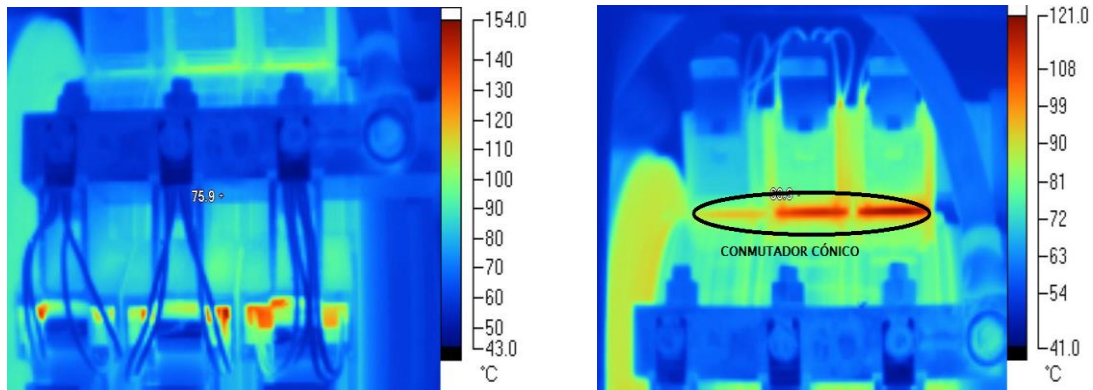


IMAGEN REAL



Figura 40 Comparativa 3

En la primera imagen de la Figura se observa el comportamiento adecuado en el conmutador, teniendo una correcta formación de patina y asentamiento el promedio de temperatura es de 71.4°C y en punto central se tuvo 75.5°C, en la segunda imagen se muestra un motor con el conmutador cónico o mal rectificado, esto provoca un contacto inadecuado en la escobilla centra y lado ventilador, esto causa chisporroteo; el promedio de temperatura fue de 65.8°C y el punto medio de la imagen fue de 80.3°C



a) SANO

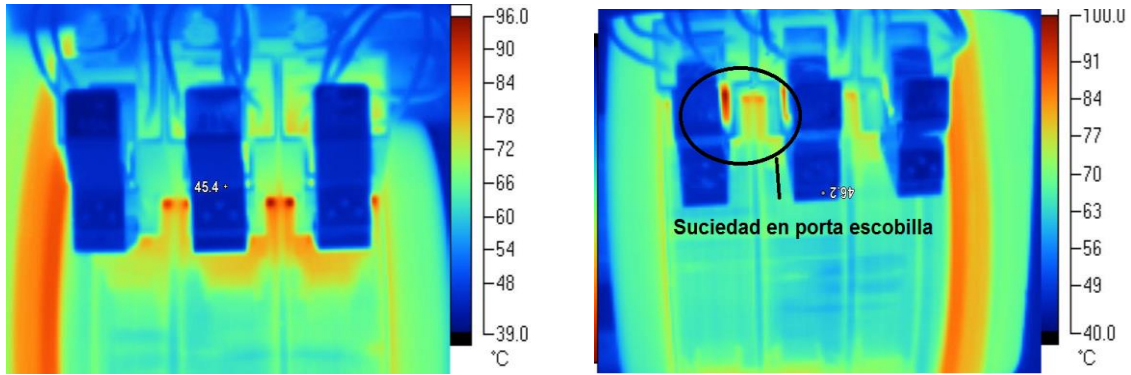
b) CONMUTADOR CONICO



c) IMAGEN REAL

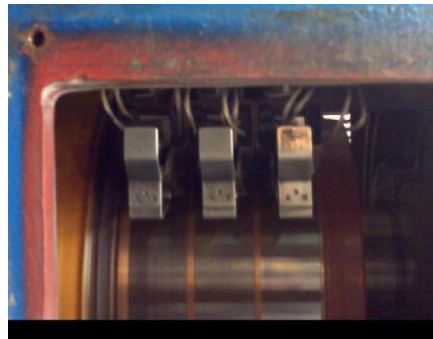
Figura 41 Comparativa 4

Se observa un conmutador en la Figura 42 operando en buen estado, con un asentamiento correcto de escobillas, y una temperatura simetrica en las mismas ademas de formar una correcta patina, la imagen presenta un promedio de temperatura de 61.2 y el punto medio de la imagen tuvo 45.4°C, para el comparativo se presenta una imagen en la que el se observa un ligero calmentamiento en el portaescobilla de lado venilador, el cual al revisar el motor con maquina parada se observo que era suciedad en la caja del portaescobilla por lo cual la escobilla presentaba friccion en las caras laterales y ocasionaba una oposicion al movimiento de muelle del carbon, la temperatura promedio que se presento en esta imagen fue de 63.4 y el punto medio fue de 46.2.



a) SANO

b) SUCIEDAD EN PORTAESCOBILLA



c) IMAGEN REAL

Figura 42 Comparativa 5

Se observa en la Figura 43 un asentamiento correcto de escobillas y formación adecuada de patina en el conmutador de la primera imagen de la Figura 43 a) con un promedio de temperatura de 48.1°C y el mundo medio de la imagen era de 49.7°C. En la segunda imagen se ve una formación irregular de patina en el conmutador, se observa delegas recalentadas y ranuradas. A raíz de esto se realizaron pruebas eléctricas encontrando cortocircuito entre espiras, en la armadura la diferencia en cuanto a temperatura es en promedio de 47.8°C y el punto medio de temperatura fue de 45.5°C

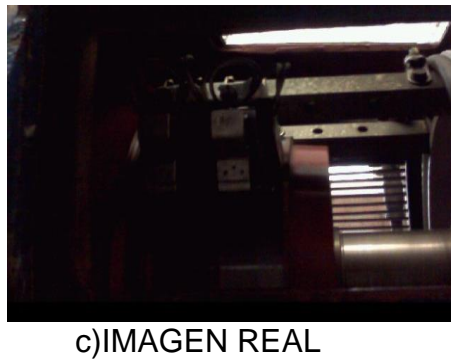
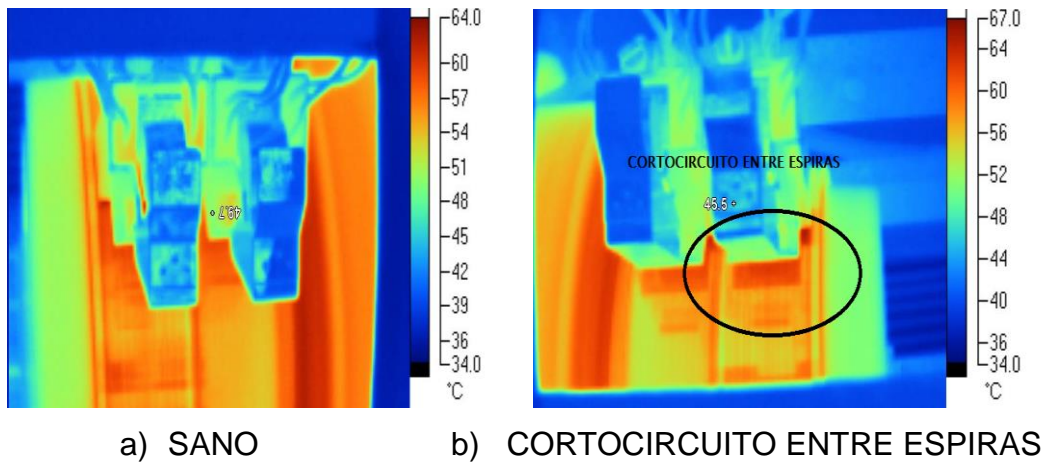
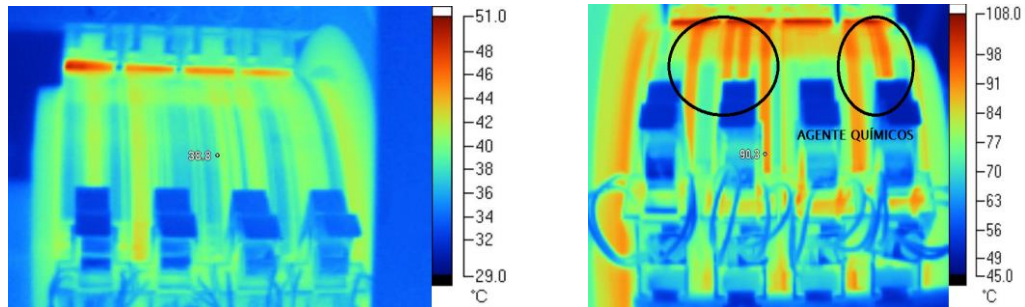


Figura 43 Comparativa 6

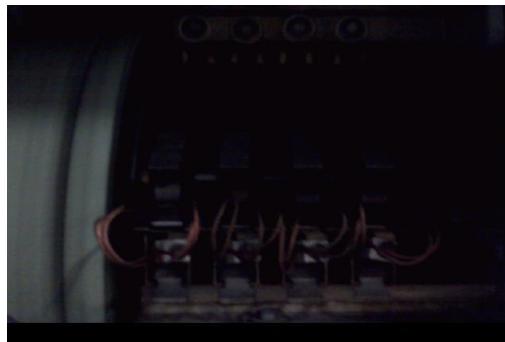
Se tiene en la **c) IMAGEN REAL**

Figura 44 un conmutador con un asentamiento correcto de escobillas y formación adecuado de patina en el conmutador tiene un promedio de temperatura de 36.9°C y un punto medio de 38.8°C, En la imagen siguiente se presenta un ligero chisporroteo en escobillas por causa de agentes químicos en el area, el promedio de la temperatura es de 73.2°C y el punto medio a diferencia de la imagen anterior es de 90.3°C



a) SANO

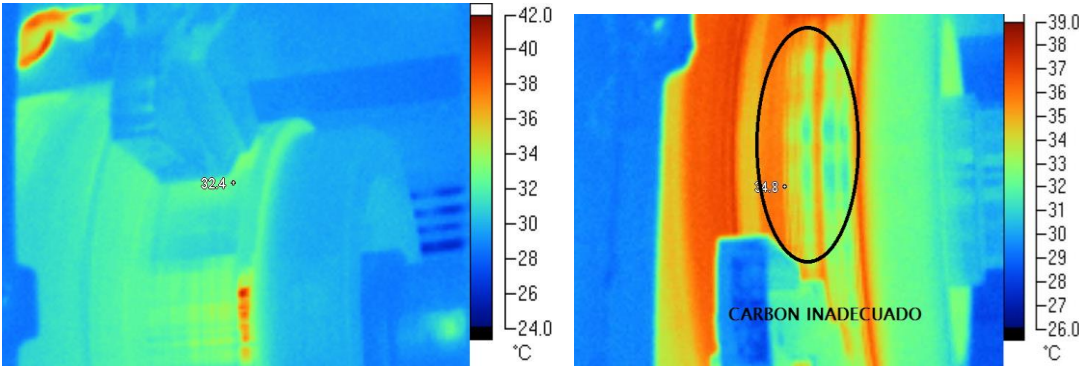
b) AGENTE QUÍMICO



c) IMAGEN REAL

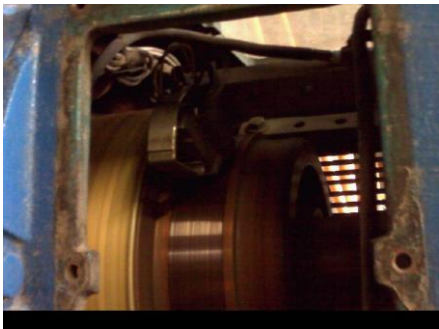
Figura 44 Comparativa 7

Se muestra en la Figura 45 un motor en buenas condiciones de operación, con formación adecuada de patina, el cual tiene un promedio de temperatura de 30.4 y un punto medio con valor de 32.4°C. En la imagen donde se encuentra el problema se observa rallado el conmutador a causa del grado inadecuado en el material del carbón por lo cual genera fricción mecánica y con el polvo se marca dando un promedio de temperatura de 32.3°C y un punto medio de 34.8°C.



a) SANO

b) CARBÓN INADECUADO



c) IMAGEN REAL

Figura 45 Comparativa 8

En la Figura 46 la primera imagen se observa un correcto asentamiento de escobillas aunque se monitorea por presentar temperatura en nivel de alarma a la altura de las banderas del conmutador se tuvo un promedio de temperatura de 66.5°C y el punto medio fue de 95.3°C. En cambio en la siguiente imagen se ve un motor que desprende partículas de estaño desde el rayser del conmutador, con un promedio de temperatura de 71.4°C y un punto medio de 82.2°C.

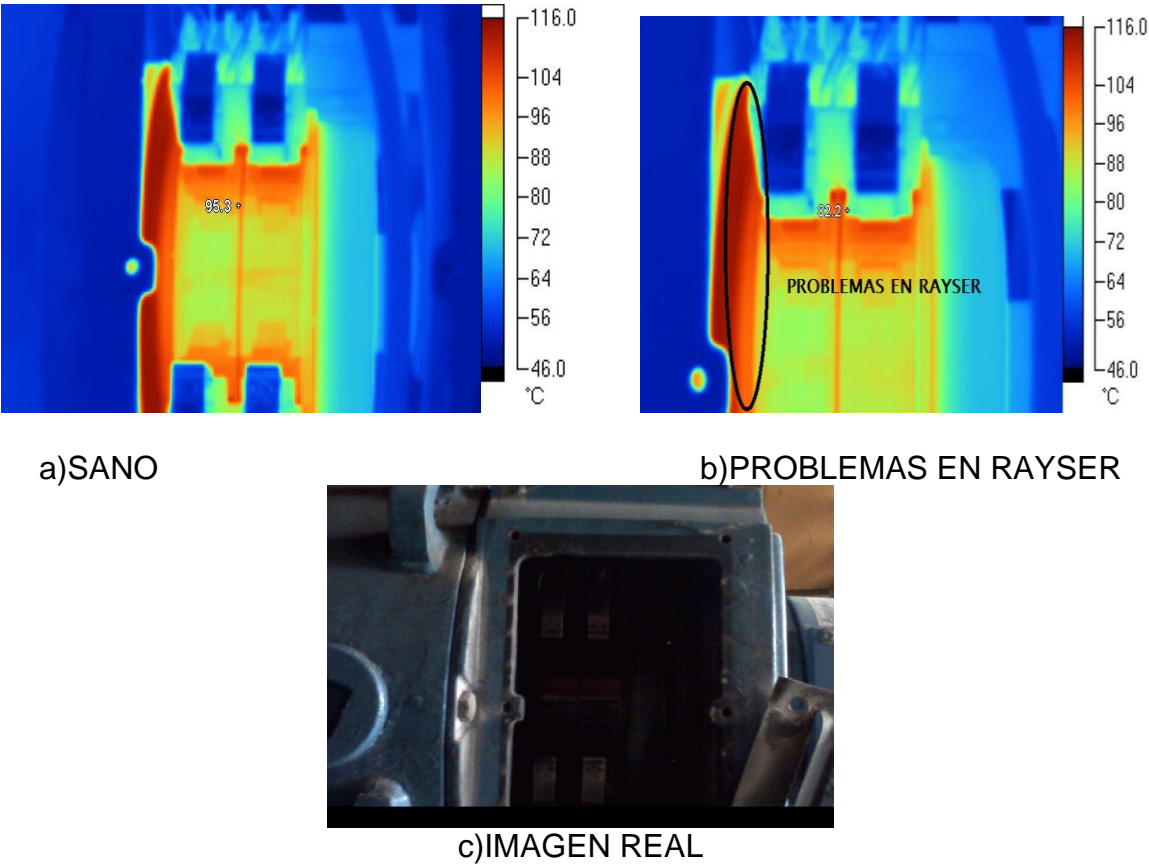


Figura 46 Comparativa 9

Las razones por las que estos motores podían ser cambiados son (vea la tabla 10):

CODIGO	TIPO DE FALLA
0	Daño por paso de corriente
1	Por mal ajuste en tapas o flecha
2	Por falta de lubricación con rodamiento para lubricar
3	Por falta de lubricación con rodamiento sellado
4	Mala operación " derrames, mojarlo, sobrecargas"
5	Mal montaje del rodamiento
6	Tensión de bandas
7	Mala aplicación del rodamiento
8	Desalineación
9	Por temperatura ambiente mayor a la de diseño del motor
10	Desbalanceo del rotor o armadura
11	Falla de aislamiento del devanado por causa eléctrica
12	Conmutador rayado o excéntrico
13	Falta de ventilación forzada
14	Otras causas conmutador rallado, chisporroteo, calentamiento excesivo en delgas ruido en el conmutador deslavace de corriente

Tabla 10 Tipo de falla

Utilizando la información recopilada pudimos ver que en el año 2008 el motor 837 y 847 presentaron rodamientos resecos y daño en rodamientos respectivamente

En el año 2009 el motor 848 presento una falla por rodamientos resecos

En 2010 los motores 826,829y 841 presentar problemas por lo que fueron retirados por predictivo 834,837 ,841 y 846 presentaron rodamientos resecos y por último el 840 presento conmutador rayado.

En 2011 los motores 837 y 847 presentaron problemas en el conmutador y conmutador rayado o excéntrico(es decir este se debe rectificar al centro cuando

esto no sucede queda de manera cónica lo cual produce que choque con las escobillas y las rompa).

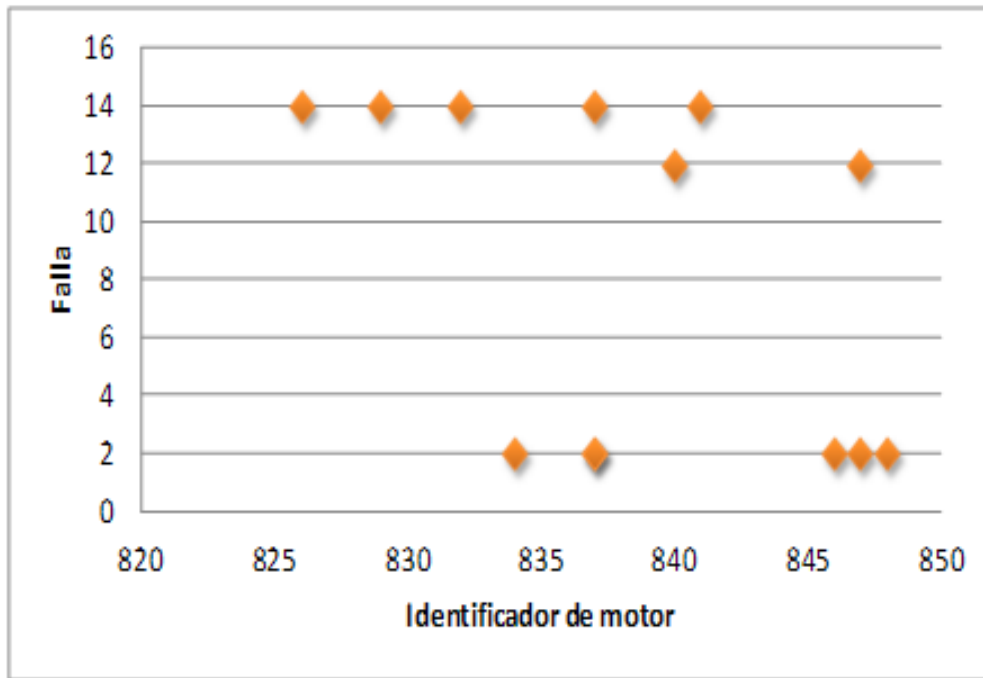


Figura 47 Relación motores-falla producida

Resultados obtenidos tomando en cuenta que los motores están numerados de 824-849 es decir son 25 motores.

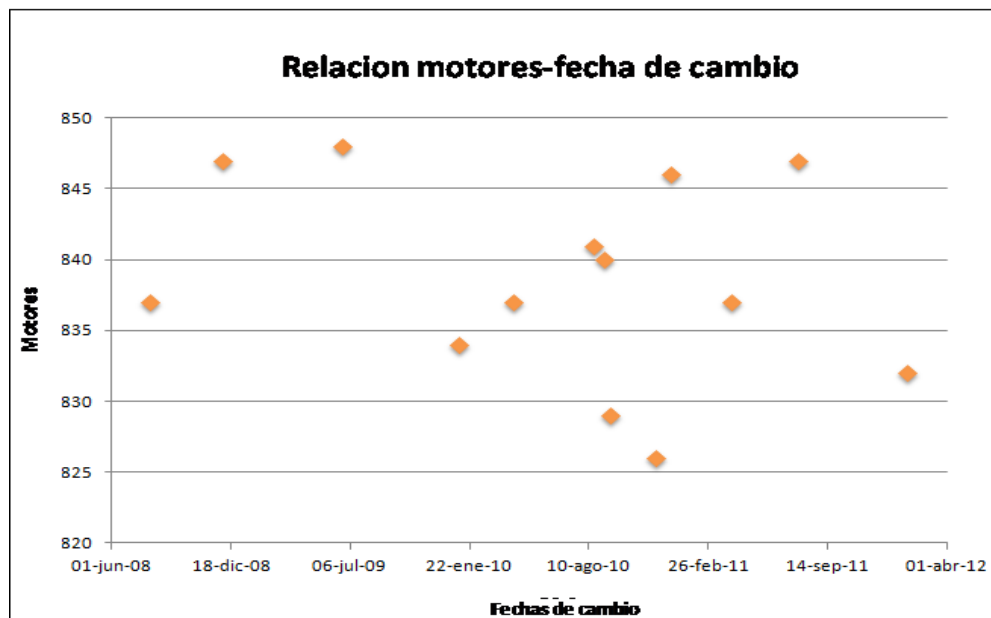


Figura 48 Relación motores-fecha de cambio

Los motores no cuentan con escobilla de carga a tierra le hace pequeños orificios a los rodamientos, esto sucedía mucho en el motor 847 otra causa de daño que se observó era por sobre carga esto se producía debido a que cada vez que se realizaba el mantenimiento a máquina parada, al reiniciar producción después del paro se tenía este problema.

CONCLUSIONES

Se revisó el comportamiento de motores de CD con carga *in situ*, se vieron las condiciones normales de operación en cada parte del motor que se decidió estudiar entre ellas estaba el conmutador, las escobillas y acoplamientos; con esto logramos ver que al estar realizado continuamente la toma de las termografías a los motores se podía detectar las fallas antes de que estas pudieran causar un daño mayor al motor que requiriera cambiarlo.

Al tener este comportamiento completo se pudo tener la valoración de los motores para determinar los puntos calientes y críticos en cada uno de los casos.

Pudiendo observar de esta forma como es que se comportaban los motores en condiciones normales y en condiciones de falla, al tener estos comportamientos se podrían predecir en algunas de las fallas ya que se presenta similitud en las imagen sin necesidad de realizar otro tipo de pruebas. Es importante mencionar que en algunos casos se realizar otras pruebas tanto mecánicas como electricas para poder comprobar el resultado obtenido y ver las diferencias a su vez que se presentan en las mediciones realizadas al motor.

Gracias a esto se logró ahorrar ya que el cambio de un motor por alguna de esta fallas va de entre los \$970 y los \$96,225 pesos, este costo es mucho mejor al adquirir una cámara termografía y tomar cursos de este tema para la operación de la misma.

Logramos cumplir con todos los objetivos que teníamos pensados además de poder tener los parámetros para realizar el estudio cada vez que sea necesario.

REFERENCIAS

- Academy of infrared thermography, level1 infrared (2001)
- Adams, A., Nelson R., Bell D. & Egoavil, C (2000). Use of Infrared Thermographic Calorimetry to Determine energy Expenditure in Preterm Infants. *Journal for Clinical Nutrition*, 71(4), 969- 977
- ALAVA ingenieros, Inspecciones termográficas en instalaciones eléctricas
- Armesto et al, Calibration and verification of thermographic cameras for geometric measurements (2011).
- Avila E, Ruben. Fundamentos de mantenimiento. Guías económicas, técnicas y administrativas. México Limusa Noriega Editores, 1995
- Balageas, Termografía infrarroja: una técnica multifacética para la evaluación no destructiva (2007).
- Balageas D L, Boscher D M., Déom A A, J Fournier, G Gardette, 'Application de la thermographie infrarouge passive et stimulée à la mesure des flux thermiques en soufflerie', *La Recherche Aérospatiale*, N°1991-4, pp 51-72, 1991.
- Bashir, T. et al ,Evaluation of Induction Motor Groundwall Insulation using Infrared Thermography, (2007),
- Carlomagno G M, Berardi P G, 'Unsteady thermography in non destructive testing', *Proceedings 3rd Biannual Information Exchange*, St Louis, USA, pp 33-39, 1976
- Benítez Angel Luis ,Inspección de líneas aéreas de alta tensión, 2008.
- EmadSharifi-Ghazvini ,Analysis of Electrical and Thermal Stresses in the Stress Relief System of InverterFed Medium Voltage Induction Motors, (2010)
- Epperly , et al ,A tool for reliability and safety: predict and prevent equipment failures with thermography, 1997
- García Noriega José Antonio, Vitoria Magado Teo, Mantenimiento predictivo de subestaciones eléctricas basado en termografía de infrarrojos.

Mantenimiento: ingeniería industrial y de edificios, ISSN 0214-4344, N° 155, 2002.

- Gaussorgues, G. La Thermographie Infrarouge. Ed. Lavoisier, Paris (1984)
- Hudson, B ,HV Motor Condition Monitoring-the end User's View, (1999).
- Incopera, F Dewitt,D .Fundamentos de transferencia de calor , Cuarta edición Prentice Hall, 1999.
- ISO, Supervisión de condiciones y diagnóstico de máquinas, Termografía 18434-1:2008
- M. Thomas Timothy, On-Line and Off-Line Testing of Electric Motors.
- Marnettin y Vavilov, IR thermographic detection and characterization of hidden corrosion in metals: General analysis (2010)
- Martínez Tormos, Amen Wonsang, Diagnóstico de motores Diésel, 2002.
- Ministerio de Ciencia y Tecnología, Verificación de las instalaciones eléctricas (2003).
- Mitchell et.al.I.,Predictive maintenance programevolution-lessons,(1995),
- N. Wurzbach Richard .The roles of vibration analysis and infrared thermography in monitoring air handling equipment, (2003)
- Orlove, G.L. “Infrared Imaging and Radiometry”. Inframetrics, Inc. North Billerica USA, (1992).
- Palomo, La humedad como causa de patologías en monumentos, 1996.
- Pistono, Aplicaciones estructurales y en edificaciones, 2004.
- Pratesh Jayaswal, ,Machine Fault Signature Analysis, 2008
- Rahman et al, Thermographic study of energetic installations (2005).
- Rubio,Fransisco ,Una introducción al estudio de la temperatura y la transferencia de calor. Primera Edision, Editorial Limusa, 1987.
- Schadenverhutung ,Thermography in Electrical Installations, 2004.
- SIMA, Mantenimiento Preventivo.
- Soergel Sussan, Analysis of Induction Motor Predictive Maintenance Techniques,1993.
- VDS, Thermography in Electrical Installations 2004.

- Zorzin, Diagnóstico como son la termografía en enfermedades reumáticas,

Anexo 1

(ESCOBILLAS)

Escobillas

Las escobillas están divididas en cinco grupos, que corresponden a un modo de fabricación específico.

- a) ESCOBILLAS CARTOGRÁFICAS: se fabrican a partir de mezclas de polvo de carbón, de grafito natural y de grafito artificiales triturados, tamizados y aglomerados se utilizan cuando se quiere tener un buen poder de conmutación, generalmente pulidoras con una caída de tensión media al estar en contacto son resistentes a las cargas variables y a las altas temperaturas.
- b) ESCOBILLAS ELECTROGRAFÍTICAS Fabricadas con polvos de carbono y de coque, son sometidas a otros tratamientos térmicos y en particular a un tratamiento a alta temperatura (superior a 2,500 °C) para transformar el carbono amorfo de base en grafito artificial. Escobillas con caída media de tensión al contacto y frotamiento bajo o medio, es decir, con pérdidas reducidas por lo que se adaptan especialmente a las velocidades altas (≤ 50 m/seg).
- c) ESCOBILLAS GRAFÍTICAS BLANDAS El componente de base es el grafito natural purificado o el grafito artificial previamente triturado y luego mezclado eventualmente con componentes suplementarios en cantidades definidas, aglomerado con aglomerantes adecuados, y cocido para coquizar el aglutinante. Escobillas blandas, plásticas, que amortiguan de manera muy eficaz choques y vibraciones mecánicas; generalmente son pulidoras.
- d) ESCOBILLAS METÁLICAS (CG - MC - CA) Se mezclan, en las proporciones adecuadas, polvos de grafito natural purificado y de cobre, agregando eventualmente polvos de otros metales. La mezcla se comprime

en la prensa y se cuece en atmósfera y a la temperatura apropiada para dar al aglomerado la solidez y la cohesión deseadas. También pertenecen al grupo de escobillas metálicas las escobillas que se impregnan bajo presión con cobre fundido puro o mezclado (bronce). Escobillas pesadas o muy pesadas, con frotamiento bajo y muy baja caída de tensión al contacto, por lo que funcionan con pérdidas muy reducidas

- e) **ESCOBILLAS RESINOGRAFÍTICAS** Se tritura grafito natural o artificial con o sin carga y se aglomera con una resina termo-endurecible, por ejemplo de tipo resina fenólica. Se comprime la mezcla en una prensa y se polimeriza a la temperatura adecuada. Escobillas con elevada resistencia mecánica y eléctrica, con gran poder de conmutación, generalmente pulidoras, con alta caída de tensión al contacto, es decir, con pérdidas elevadas. Pueden funcionar con muy baja densidad de corriente.

Anexo 2

(PROCEDIMIENTOS APARTE DEL USO DE LA CÁMARA
TERMOGRAFÍA)

Mantenimiento preventivo maquina parada

Entre los mantenimientos que se les da a los motores para un adecuado funcionamiento se encuentra el mantenimiento preventivo con maquina parada, para poder llevar a cabo este mantenimiento se debe desenergizar el motor, además de cerrar las compuertas de la ventilación forzada al motor, ya que se tiene esto se puede retirar las tapas laterales y el ducto de ventilación forzada. Se limpia el interior del motor usando aire comprimido en ambas direcciones.

Como se había mencionado anteriormente en esta tesis es importante revisar el tamaño de las escobillas, ya que éstas tienen cierto tiempo de vida útil y no conocemos hasta qué punto de las mismas se encuentran las trencillas si la escobilla que se utilizará hasta este punto causaría muchos problemas en el motor, entonces si el desgaste de las escobillas es mayor o igual a la mitad de la misma se deben reemplazar , las nuevas escobillas deberán ser asentadas en el conmutador utilizando una lija de madera, una vez asentadas las escobillas se limpiara el conmutador con aire comprimido y un trapo industrial o manta de cielo, se debe verificara las escobillas con biseles para ver que no se hayan colocado al revés en el porta escobilla asegurándote a su vez de que el porta escobilla funcione correctamente (partes móviles, articulaciones, dedos de presión, estado inferior de las cargas, resortes y tensores estén correctos). La distancia a la que deben estar el porta escobillas del conmutador es de 2 a 3 mm.

Se debe verificar que el conmutador no este ovalado o desgastada la superficie además de que no tenga marcas de chisporroteo si es así se debe reemplazar el motor en el menor tiempo posible para evitar un daño mayor en el conmutador.

La numeración de las escobillas será como se muestra a continuación, viendo el motor de la parte posterior del motor , figura 49

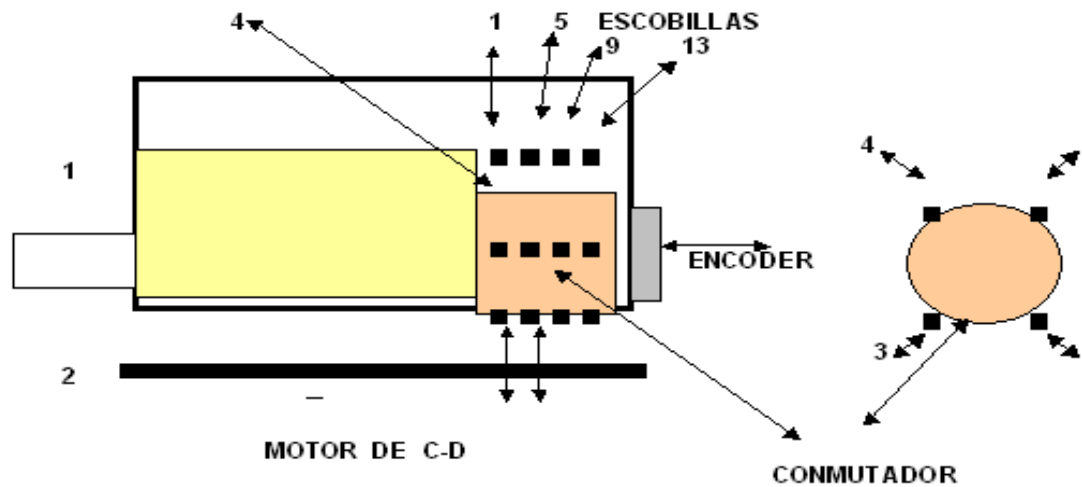


Figura 49 Motor de CD

Posteriormente se debe destapar la caja de conexión del motor para verificar que no existan daños en los cables tanto en el tubo de acometida o al interior del motor, además de revisar el encintado de las conexiones que no presenten calentamiento o cables recalentados.

Se revisa también la caja de conexión del encoder en esta parte es importante revisar que no existan cables dañados, conexiones. Verificar físicamente el cople del encoder, verificar las conexiones de las escobillas a los porta escobillas, la posición de las escobillas y los opresores de escobillas además de las escobillas de tierra de ambos lados.

Una vez que se concluye estos puntos se vuelve a colora las tapas laterales y el ducto de ventilación; abriendo nuevamente la ventilación forzada, se cierra el termo magnético, estando listo el equipo para volver a energizarse.

A su vez se tomar la temperatura en los cuatro puntos cardinales del motor y registrar la mayor. Si tiene una temperatura mayor a los 80°C verificar la causa

del calentamiento, se requiere también conocer la temperatura ambiente del área para poder hacer la comparativa entre las temperaturas.

Se revisa la instalación eléctrica

- Bien: Si la instalación está bien soportada, no tenga fuera de lugar, quebrado o dañado el tubo licuatite, caja de conexiones sellada y condulet con tapas.
- Mal: Si el tubo licuatite está fuera de lugar, quebrado o abierto, no selle con la caja de conexiones, falten tapas a los condulet.

Para la ventilación

- Bien: Si existe flujo de aire suficiente proveniente del ventilador
- Mal: En caso de existir bajo flujo de aire por deterioro del ventilador o este obstruida la ventilación.

Se revisa que todas las partes se encuentren selladas

- Bien: Sí la tapa o caja de conexiones están bien selladas así como el tubo licuatite o conduit.
- Mal: Si las tapas, caja de conexiones están flojos, quebrados o les faltan tornillos a las tapas.

Se revisa que el encoder tenga la grasa suficiente para esto se debe destapar el lateral del encoder

- Bien: Sí no tiene grasa en su interior destapar tapa lateral de encoder
- Mal: Si tiene grasa en su interior destapar tapa lateral de encoder, y realizar limpieza con trapo y confinarlo a residuos peligrosos.

También en este mantenimiento se revisa el estado de las escobillas

- Bien: si no se ven zafadas las trencillas, requemadas o dañado el resorte del tensor, si la escobilla tiene buen tamaño.
- Mal: Si cualquiera de las anteriores está mal.

Por último se revisa si el motor tiene o no chisporroteo

Anexo 3

(INFORMACION DE LA CAMARA TERMOGRAFICA)

Especificaciones

	Fluke Ti25	Fluke Ti10
Prescripciones de la termografía		
Campo de visión (FOV)	33° horizontal x 17° vertical	
Campo de visión instantáneo (IPOV)	2,5 mrad	
Distancia focal mínima	15 cm	
Sensibilidad térmica (NETD)	< 0,1 °C a 30 °C (100 mK)	< 0,2 °C a 30 °C (200 mK)
Escala mínima (Auto/Manual)	5 °C/2,5 °C	10 °C/5 °C
Enfoque	Manual	
Tamaño del detector	160 x 120	
Prescripciones de las imágenes visibles		
Distancia focal mínima	46 cm	
Modos de funcionamiento en pantalla	Imagen en imagen (el usuario puede seleccionar el nivel de fusión entre mínimo, medio y máximo) y pantalla completa de infrarrojos (el usuario puede seleccionar el nivel de fusión entre mínimo, medio y máximo)	Imagen en imagen y pantalla completa de infrarrojos
Cámara (de luz visible)	640 x 480 píxeles a todo color	
Medida de la temperatura		
Rango de temperatura	De -20 °C a 350 °C, 2 rangos	De -20 °C a +250 °C
Precisión	± 2 °C o 2% (la mayor de ambas)	± 5 °C ó 5% (la mayor de ambas)
Modos de medida	Punto central y marcadores de frío y de calor	Punto central
Corrección de emisividad en pantalla	Si	No
Presentación de la imagen		
Pantalla digital	Pantalla LCD (640x480) VGA panorámica en color de 4,1 cm (1,6")	
Retroiluminación de pantalla	Seleccionable brillo o auto	
Paletas de color	Hierro (rainbow), azul-rojo, alto contraste, ámbar, metal caliente, gris	Hierro (rainbow), azul-rojo, alto contraste, gris
Almacenamiento de imágenes y datos		
Totalmente radiométrica	Si	
Soporte de almacenamiento	La tarjeta SD 32G es capaz de almacenar hasta 3.000 imágenes infrarrojas jpeg o bien 1.200 imágenes B+Frame .E2	
Formatos de archivo compatibles	Exportable a JPEG, BMP, GIF, PNG, TIFF, WMF, EXIF y EMP	
"Grabador de notas de voz (notaciones de voz)"	Si	No
Software	SmartView: software completo de análisis y generación de informes incluido	
Controles y ajustes		
Controles de configuración	Fecha/hora, °C/°F, idioma, emisividad, puntos fríos y calientes en pantalla	Fecha/hora, °C/°F, idioma
Selección de idioma	Inglés, alemán, francés, español, portugués, italiano, sueco, finés, ruso, checo, polaco, húngaro, chino simplificado, chino tradicional, coreano, japonés	
Controles de imagen	Nueva escala automática y manual	
Indicadores en pantalla	Estado de la batería, reloj en tiempo real y temperatura en el punto central, indicación de rango y escala, y niveles de alarma de temperaturas alta y baja	
Alimentación		
Tipo de batería	Batería interna recargable (incluida)	
Tiempo de funcionamiento de cada batería	De 3 a 4 horas de funcionamiento continuo	
Carga de batería	*2 horas con cargador CA o con cargador CC para coche (la batería se carga mientras está en funcionamiento)*	
Funcionamiento CA	Adaptador/cargador de CA de 110/230 V CA, 50/60 Hz	
Ahorro de energía	Modos "Aparado" y "En espera" automáticos (especificados por el usuario)	
Diseño ambiental y mecánico		
Temperatura de trabajo	-10 °C a +50 °C	
Temperatura de almacenamiento	-20 °C a +50 °C	
Humedad relativa	Del 10% al 90% sin condensación, en funcionamiento y almacenamiento	
Resistente al agua y al polvo	IP54	
Prueba de caída desde dos metros	Si	
Funda protectora para objetivos	Si	
Peso (incluyendo la batería)	1,2 kg	
Tamaño (LxAxP)	267 mm x 127 mm x 152 mm	
Otras especificaciones		
Garantía	2 años	
EN 61010-1 2ª edición y EN61326-1	Si	