



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA**

TEMA:

**Diagnóstico de Fallas en Máquinas Eléctricas de la Planta
BALMISA por análisis de Termografía**

AUTOR:

Tapia Montero, Gino Omar

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniero en Eléctrico Mecánica con mención en gestión
empresarial industrial**

TUTORA:

Ing. Ruilova Aguirre, María Luzmila

Guayaquil - Ecuador

2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

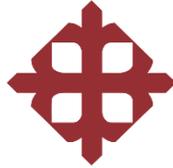
Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Tapia Montero, Gino Omar**, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero **Eléctrico-Mecánica con mención en gestión empresarial industrial**.

TUTORA

Ing. Ruilova Aguirre, María Luzmila

DIRECTOR DE LA CARRERA

Msc. Heras Sánchez, Miguel Armando



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Tapia Montero, Gino Omar**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Diagnóstico de Fallas en Máquinas Eléctricas de la Planta BALMISA por análisis de Termografía**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánica con mención en gestión empresarial industrial ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

EL AUTOR

Tapia Montero, Gino Omar



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Tapia Montero, Gino Omar**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diagnóstico de Fallas en Máquinas Eléctricas de la Planta BALMISA por análisis de Termografía**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

EL AUTOR

Tapia Montero, Gino Omar



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Manuel de Jesús Romero Paz Msc.

DECANO DE LA CARRERA

Ing. PHILCO ASQUI LUIS ORLANDO Msc.

COORDINADOR DE TITULACION

Ing. Ruilova Aguirre María Luzmila

OPONENTE

Reporte Urkund

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

TEMA:
Diagnóstico de Fallas en Máquinas Eléctricas de la Planta BALMISA por análisis de Termografía

AUTOR: Tapia Montero, Gino Omar

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánica

TUTORA:
Ing. Rullover Aguirre, María Luzmila

Guayaquil - Ecuador

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

Reporte Urkund del trabajo de titulación en ingeniería Eléctrico-Mecánica denominado: **Diagnóstico de Fallas en Máquinas Eléctricas de la Planta BALMISA por análisis de Termografía**, del estudiante **Tapia Montero, Gino Omar**, se encuentra al 4% de coincidencias.

Atentamente

Msc. Orlando Philco A.

Revisor

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres Gino Tapia y Sandra Montero, quienes siempre me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi carrera universitaria.

A mis hermanas y a todos quienes han sido parte de todo este proceso de aprendizaje, gracias por acompañarme en la culminación y grata satisfacción del logro obtenido, en una de mis importantes metas planteadas en mi vida.

El Autor

Tapia Montero, Gino Omar

Agradecimiento

El esfuerzo, sus enseñanzas y el amor brindado cada día, me han hecho concluir a satisfacción esta importante etapa de mi vida, son reconocimientos invaluable que me hacen expresar mi profundo agradecimiento a mis padres.

A mis maestros y a mi tutor de tesis, muchas gracias por todo el conocimiento brindado, gracias a ello he podido culminar con éxito mi carrera universitaria.

El Autor

Tapia Montero, Gino Omar

ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras	XII
Índice de Tablas.....	XV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT.....	XVII
CAPÍTULO 1	2
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	2
1.1 Introducción	2
1.2 Justificación	2
1.3 Planteamiento del Problema.....	3
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Metodología de investigación.....	3
CAPÍTULO 2.....	5
MOTOR ELÉCTRICO	5
2.1. Parámetros del motor eléctrico	5
2.2 Tipos de motores eléctricos	6
2.3 Partes de un motor eléctrico:	7
2.4 Motores eléctricos de corriente alterna.....	8
2.4.1 Motores Asíncronos.....	8
2.4.2 Motores Sincrónicos	10

2.4.3 Diferencias entre un motor síncrono y asíncrono	12
2.5 Fallas eléctricas en motores de inducción trifásicos	13
2.5.1 El desbalance de tensión.....	14
2.5.1.1 Efectos por reducción del voltaje.....	16
2.5.1.2 Efectos por aumento del voltaje	17
2.5.2 Desbalance de frecuencia	17
2.5.2.1 Efectos por reducción de la frecuencia	17
2.5.2.2 Efectos por aumento de la frecuencia	18
2.5.3 Excentricidad	20
CAPÍTULO 3:.....	24
LA TERMOGRAFÍA	24
3.1 Fundamentos de luz infrarrojos.....	24
3.1.1 Espectroscopía de infrarrojo	26
3.2 Termómetros infrarrojos.....	28
3.3 Escáneres de línea	29
3.4 Imagen infrarroja.....	29
3.5 La termográfica en procesos industriales	29
3.5.1 Detección de conexiones eléctricas sueltas o con corrosión.	30
3.5.2 Detección de desequilibrios y sobrecargas eléctricas.	32
3.5.3 Inspección de motores eléctricos.....	33
3.6 Características de cámara termográfica	35
3.7 Análisis a partir de una misma Imagen térmica	43

3.7.1 Compensación de la imagen térmica.....	45
3.7.2 Perfil de temperatura	46
3.8 Errores del termógrafo	47
3.8.1 Condiciones de seguridad	49
3.9 Normativa para levantar diagnóstico termográfico.....	50
3.9.1 Inspección termográfica a estructuras mecánicas y eléctricas	51
3.10 Proceso de fabricación de alimento balanceado.....	53
3.11 Reportes de fallas en motores eléctricos de la planta BALMISA	57
3.11.1 Motor de Mezcladora averiado	57
3.11.4 Motor de zaranda averiado	59
CAPÍTULO 4:.....	61
ANÁLISIS TERMOGRÁFICO.....	61
4.1 Máquinas para Balanceado	61
4.2 Inspección a tableros eléctricos	63
4.3.1 Motor Banda transportadora #1	64
4.3.2 Motor Banda transportadora #2	65
4.3.3 Motor de la Mezcladora	66
4.3.4 Motor de Peletizadora.....	67
3.3.5 Motor de zaranda.....	68
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES.....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

ANEXO 1: Modelo de informe termográfico a instalación eléctrica.....	75
----------------------------------------------------------------------	----

Índice de Figuras

CAPÍTULO 2.

Figura 2. 1 Motor Eléctrico	5
Figura 2. 2: Motor Asíncrono.....	8
Figura 2. 3 Partes de un motor asíncrono.....	9
Figura 2. 4 Motor síncrono	11
Figura 2. 5 Esquema de conexiones del motor asíncrono	12
Figura 2. 6 Características del motor síncrono	13
Figura 2. 7 Devanado dañado por desbalance de tensión.....	15
Figura 2. 8 Devanado dañado debido a la pérdida de una fase	16
Figura 2. 9 Par constante al variar la frecuencia y el voltaje	20
Figura 2. 10 Motor sin excentricidad (lado izquierdo) y motor con excentricidad estática	21
Figura 2. 11 Motor con excentricidad dinámica.....	21

CAPÍTULO 3.

Figura 3. 1 Espectro de luz visible	24
Figura 3. 2 Espectro electromagnético	25
Figura 3. 3 Espectrómetro portátil.....	26
Figura 3. 4 Operación de termómetro infrarrojo	28
Figura 3. 5 Imagen térmica con software de análisis y valoración	29
Figura 3. 6 Imágenes térmicas en infraestructura de industria típica.....	31
Figura 3. 7 Diagnóstico termográfico de problemas eléctricos y mecánicos	32
Figura 3. 8 Inspección termográfica a tablero eléctrico.....	33

Figura 3. 9 Diagnostico termográfico a motor eléctrico	34
Figura 3. 10 Termografía por diversos aparatos portátiles	34
Figura 3. 11 visualización de dos resoluciones en cámara termográfica	36
Figura 3. 12 Ejemplo de 2 tipos de sensibilidad en cámaras termográficas	37
Figura 3. 13 Reflejos del ambiente exterior que afectan calidad de imagen	38
Figura 3. 14 Ejemplo de ajuste y corrección en imágenes.....	39
Figura 3. 15 Se obtiene una clara visión general (ejemplo: instalaciones de alta tensión).	39
Figura 3. 16 Ejemplo de fusión térmica (imagen central)	40
Figura 3. 17 Cámara FLIR T620 conectada con medidor de temperatura...	41
Figura 3. 18 Conexión de pinza amperimétrica con cámara FLIR T620	41
Figura 3. 19 Modelo de informe termográfico	43
Figura 3. 20 Imagen infrarroja de filtraciones de aire	44
Figura 3. 21 Perfil de temperatura	46
Figura 3. 22 Representación de distribución de temperaturas en el suelo radiante de un edificio, en función de la longitud.	47
Figura 3. 23 Inspección a estructura mecánica	52
Figura 3. 24 Ejemplo de problema del rodamiento de un motor eléctrico	53
Figura 3. 25 Esquema de planta BALMISA	54
Figura 3. 26 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de Balanceado en BALMISA	55
Figura 3. 27 Reporte fotográfico y de medición de picos de tensión en motor de mezcladora	57

Figura 3. 28 Encoder de peletizadora	58
Figura 3. 29 Termograma de motor de peletizadora	58
Figura 3. 30 Motor de bomba molino	59
Figura 3. 31 Estator de motor de zaranda averiado	60
Figura 3. 32 Termograma de motor de zaranda con excesiva temperatura en chapas	60
CAPÍTULO 4.	
Figura 4. 1 Tolva y mezcladora	61
Figura 4. 2 Proceso zarandeo y molido de materia prima	62
Figura 4. 3 Motor Toshiba 10 HP en proceso de mezclado	62
Figura 4. 4 Etapa de peletizado y envasado	63
Figura 4. 5 Centro de carga o panel de breakers	64
Figura 4. 5 Motor de bandas transportadoras	64
Figura 4. 6 Termograma	65
Figura 4. 7 Motor de banda transportadora #2	65
Figura 4. 8 Termograma	66
Figura 4. 9 Motor de la mezcladora	66
Figura 4. 10 Termograma	67
Figura 4. 11 Motor de peletizadora	67
Figura 4. 12 Termograma	68
Figura 4. 13 Motor para zarandeo	69
Figura 4. 14 Termograma	69

Índice de Tablas

CAPÍTULO 2.

Tabla 2. 1 Porcentaje de falla en partes del motor de inducción..... 14

Tabla 2. 2. Cuadro de fallas comunes de motores de inducción 22

CAPÍTULO 3.

Tabla 3. 1 Criterio y normativa para diagnóstico termográfico según NETA 50

Tabla 3. 2 Materia prima para balanceado de aves y cerdos 54

Tabla 3. 3 Resumen de procesos básicos en fabricación del balanceado... 56

CAPÍTULO 4.

Tabla 4. 1 Diagnóstico de la severidad de la caja de breaker motor 5 kW .. 64

RESUMEN

El presente trabajo de titulación propone el uso de la termografía en un programa de mantenimiento predictivo para la planta BALMISA de la ciudad de Milagro, la cual permitirá monitorear la eficiencia térmica de máquinas eléctricas que dependen de la transferencia o retención de calor; equipo eléctrico; y otros parámetros que mejorarán tanto la confiabilidad como la eficiencia de los sistemas de la planta. La metodología empleada es descriptiva por cuanto detalla el método de análisis de sistema eléctrico y diagnóstico de fallos de motores a través del análisis de imágenes termográficas, emplea el método empírico por el manejo de equipamiento termográfico. Como resultado del trabajo se plantea un plan de mantenimiento predictivo apoyado con la técnica de diagnóstico por termografía.

PALABRAS CLAVES: ESPECTROMETRÍA INFRARROJA, TERMOGRAFÍA. SISTEMA ELÉCTRICO, MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

ABSTRACT

The present titration work proposes the use of thermography in a predictive maintenance program at the BALMISA plant in the city of Milagro, which will allow monitoring the thermal efficiency of electric machines that depend on the transfer or retention of heat; electric equipment; and other parameters that will improve both the reliability and efficiency of the plant's systems. The methodology used is descriptive in that it details the method of analyzing the electrical system and diagnosing motor failures through the analysis of thermographic images, using the empirical method for the handling of thermographic equipment. As a result of the work, a predictive maintenance plan is proposed supported by the thermography diagnostic technique.

KEYWORDS: INFRARED SPECTROMETRY, THERMOGRAPHY. ELECTRICAL SYSTEM, PREDICTIVE MAINTENANCE.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1 Introducción

El proceso de mantenimiento en la planta BALMISA no es organizado y planificado por lo cual no se alcanza la optimización del proceso de balanceados para pollos. La inclusión de la termografía en un programa de mantenimiento predictivo le permitirá a la planta de balanceados monitorear la eficiencia térmica de los sistemas de procesos críticos que dependen de la transferencia o retención de calor; equipo eléctrico; y otros parámetros que mejorarán tanto la confiabilidad como la eficiencia de los sistemas de la planta. También se puede usar para detectar problemas en una variedad de sistemas y equipos de planta, incluidos equipos de conmutación eléctricos, cajas de engranajes, tableros de interruptores, motores y sistemas de proceso que dependen de la retención de calor.

A través del análisis termográfico se manifiestan las condiciones de funcionamiento a través de la temperatura superficial, que dará una estimación aproximada de la temperatura interna de máquinas eléctricas fijas y giratorias. Así como de infraestructura eléctrica de baja y media tensión.

1.2 Justificación

Las tareas que incluyen el método de diagnóstico termográfico infrarrojo pueden establecer o mostrar puntos críticos de temperatura superficial de infraestructura eléctrica y de las partes internas de motores, de tal manera que la maquina o las partes sometidas a demasiado esfuerzo mecánico, térmico y eléctrico puede ser intercedido para el adecuado mantenimiento. Este aspecto técnico economiza dinero, esfuerzo y tiempo al proceso productivo de la planta BALMISA.

1.3 Planteamiento del Problema

Baja disponibilidad de máquinas por proceso de elaboración de balanceados lo cual provoca continuas paralizaciones del proceso productivo de la planta BALMISA de la ciudad de Milagro.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar el diagnóstico de fallas en máquinas eléctricas de la Planta BALMISA por análisis de termografía con el fin de optimizar el mantenimiento predictivo de la planta.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Estudiar la operación del motor eléctrico.
2. Describir el proceso de espectrometría aplicado en máquinas eléctricas.
3. Valorar mediante diagnóstico termográfico el estado de motores eléctricos de la planta BALMISA de la ciudad de Milagro.

1.5 Metodología de investigación

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

Método descriptivo; Por cuanto se describen características de los motores eléctricos que se utilizan en procesos industriales, así como de la espectroscopia infrarroja se está usando para análisis de máquinas eléctrica en la planta BALMIS.A de la ciudad de Milagro

Empírico: Por cuanto se maneja un equipo termográfico y se realiza el procedimiento al sistema eléctrico y motores de la planta BALMISA como alternativa de diagnóstico para un mantenimiento eficiente de motores eléctricos.

Analítico; Por cuanto aporta con la evaluación de fallas mediante el diagnóstico termográfico en motores eléctricos, línea de transporte mecánico, tableros eléctricos de la planta BALMISA.

CAPÍTULO 2

MOTOR ELÉCTRICO

Es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Este proceso se cumple por medio de la operación de los campos magnéticos que generan las bobinas que están dentro del motor. Pues, los motores eléctricos funcionan cuando la electricidad y el magnetismo se unen en una sola fuerza, a esto se le denomina fuerza electromagnética (fem). Para una mayor comprensión, es necesario mencionar que el 'motor magnético', funciona de manera autónoma, sin ninguna fuente de alimentación sino por pura inercia; mientras que el 'motor eléctrico' funciona mediante una fuente de alimentación que tiene, llamada electricidad.

Sin embargo, cuando se introduce una corriente eléctrica en un campo magnético, se genera una fem. Debido a que el campo magnético tiene polaridades dobles, cada extremo de los cables se mueve en una dirección diferente. Esto crea un movimiento de giro.

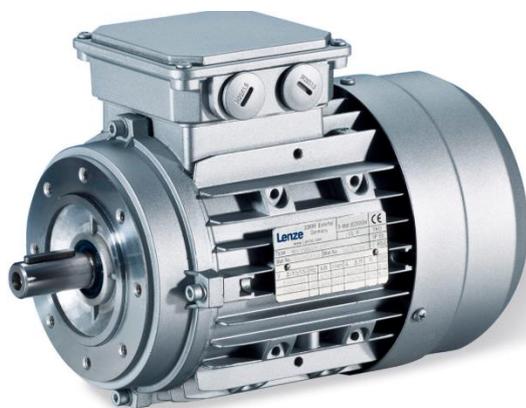


Figura 2. 1 Motor Eléctrico

Fuente: (Grupo Gaes, 2017)

2.1. Parámetros del motor eléctrico

Primeramente, se define la potencia de un motor eléctrico, viene dado por el caballo de fuerza (HP) o Kilowatt, unidades de medidas que cuantifican la cantidad de trabajo que dicha máquina eléctrica es capaz de efectuar en un

periodo específico de tiempo. De tal manera luego se tiene dos factores que determinan la potencia mecánica en los motores, estos son: *el par y la velocidad de rotación*.

El par, que es la capacidad de un elemento giratorio para superar la resistencia al giro, se controla agregando varios bucles a las armaduras y el campo magnético es producido por un electroimán. Este diseño permite girar el rotor mediante una simple fuerza electromecánica. Hay muy pocas piezas que realmente experimentan desgaste y, con estos dos factores combinados, es posible que los motores eléctricos sigan funcionando durante un tiempo largo y que exhiban muy poco desgaste.

2.2 Tipos de motores eléctricos

Hoy en día, hay varios tipos diferentes de motores eléctricos en el mercado. En primer lugar, se pueden diferenciar si utilizan la alimentación de CA o CC (corriente alterna o corriente continua) como medio para activar el motor. Los motores eléctricos de CA se accionan mediante corriente alterna, por ejemplo, el motor síncrono, que siempre funciona a velocidad síncrona. Aquí el rotor es un electroimán que está bloqueado magnéticamente con el campo magnético giratorio del estator y gira con él. La velocidad de estas máquinas varía variando la frecuencia (f) y el número de polos (P).

Los motores de corriente continua se desarrollaron primero y tienen ciertas ventajas y desventajas. Cada tipo de motor funciona de manera diferente, pero todos utilizan la potencia del campo electromagnético. Se describe principios básicos de los campos electromagnéticos en los motores antes de poder pasar a los diferentes tipos de motores.

Los motores eléctricos de CA utilizan un bobinado secundario y primario (imán), el primario está conectado a la red eléctrica de CA (o directamente a un generador) y está energizado. El secundario recibe energía del primario sin tocarlo directamente. Esto se hace utilizando los fenómenos complejos conocidos como inducción.

Los motores de inducción tratan sobre la interacción del campo magnético y las corrientes de circulación, de modo que el rotor arranca y sigue girando. Los motores de inducción, también conocidos como motores asíncronos, funcionan a una velocidad un poco menor que la velocidad síncrona. Existen otros tipos de motores eléctricos, como servomotores con características especiales como alto par en un diseño compacto o altas características dinámicas, que se han desarrollado de acuerdo con las necesidades de la industria.

2.3 Partes de un motor eléctrico:

Hay muchos tipos de motores eléctricos, pero en general tienen partes similares. Cada motor tiene un estator, que puede ser un imán permanente

La parte estacionaria de un motor eléctrico se llama el estator. El estator contará con imanes o devanados permanentes, dependiendo de la tecnología del motor. Los devanados resultarán familiares para cualquier persona con experiencia en otros componentes eléctricos. Normalmente son bobinados simples de alambre alrededor de un núcleo de hierro magnético. Cuando una corriente pasa a través de estos devanados, generan un campo magnético.

El rotor es la parte que realmente convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Estos vienen en varios diseños. Uno de los avances más importantes en el diseño de motores eléctricos fue encontrar una forma en que el rotor pudiera funcionar continuamente, proporcionando un par ininterrumpido a todo lo que estaba siendo accionado por el motor eléctrico.

Los motores eléctricos de hoy son capaces de producir una cantidad increíble de par. Mientras tanto, el conmutador es un dispositivo que se utiliza para cambiar la entrada del motor eléctrico.

El rotor se encuentra en el medio (la mayor parte del tiempo) y está sujeto al campo magnético creado por el estator. El rotor gira cuando sus polos son atraídos y repelidos por los polos en el estator

2.4 Motores eléctricos de corriente alterna

Básicamente, cualquier generador eléctrico puede funcionar como un motor eléctrico, porque su principio de construcción y funcionamiento son los mismos. El principio de funcionamiento se basa en la inducción mutua entre los devanados del estator y del rotor. La principal diferencia es que el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica, mientras que el motor la convierte a la inversa.

No obstante, existe dos tipos principales de motores de CA: motores asíncronos y síncronos, los cuales se detallan a continuación:

2.4.1 Motores Asíncronos

Un motor asíncrono, también conocido como motor de inducción, es el motor más utilizado en la industria. Son los más económicos de construir, no requiere de mucho mantenimiento y son los más confiables para las aplicaciones industriales. Existen dos tipos, según que el rotor sea bobinado (motor de anillos rozantes) o en cortocircuito (motor de jaula de ardilla). Estos últimos mencionados son los más conocidos y usados en la industria, porque no requiere de mucho mantenimiento al carecer de anillos rozantes o escobillas que estén sujetas a permanente desgaste. (Tolocka, 2014).

En la figura 2.2 se puede apreciar un motor asíncrono trifásico.



Figura 2. 2: Motor Asíncrono

Fuente: (Tolocka, 2014)

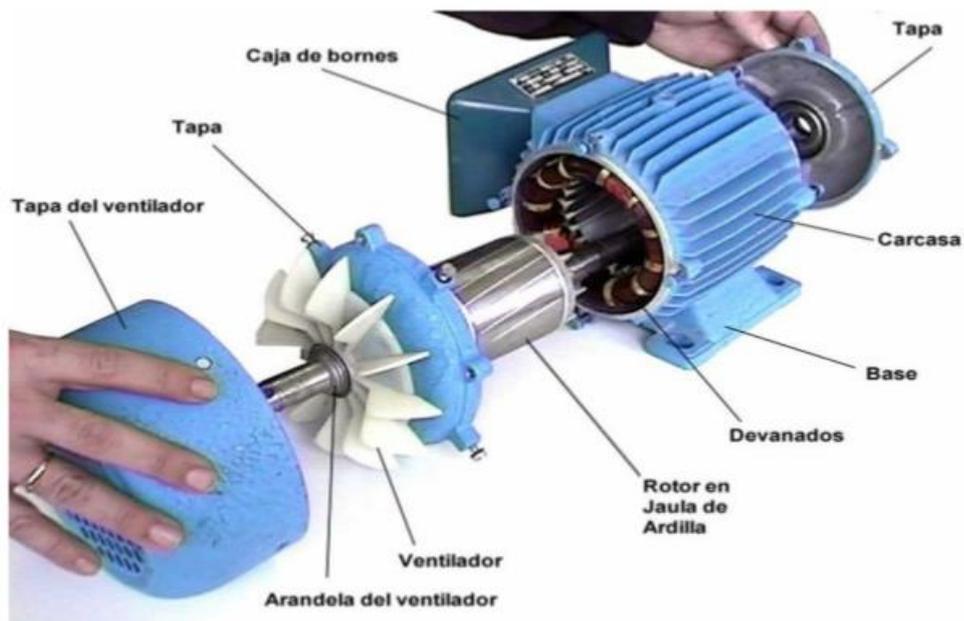


Figura 2. 3 Partes de un motor asíncono

Fuente: (Muñoz, 2013)

Su principio de funcionamiento es simple y se basa en la ley de Faraday. La alimentación de CA está conectada al devanado del estator y crea un campo magnético giratorio (RMF). El flujo alterno (líneas de campo magnético) gira en velocidad síncrona, lo que depende de la frecuencia de voltaje de suministro:

$$n_s = 60 \frac{f}{p}$$

Donde f = frecuencia y p = número de polos.

La FEM se induce en los devanados del rotor de acuerdo con la ley de Faraday. Los devanados del rotor están cortocircuitados, lo que permite el flujo de corriente. La corriente a través de los devanados del rotor produce la fuerza (par) que causa el movimiento del rotor (rotación). Esta rotación y el RMF tienen el mismo curso. (Osmanbasic, 2017)

Sin embargo, el rotor acelera a una velocidad que siempre es menor que la velocidad sincrónica de RMF. Si el rotor alcanza la velocidad síncrona, las

líneas magnéticas (flujo) no entrecruzarán los devanados del rotor y no se inducirá el EMF. Por lo tanto, la corriente no fluirá a través de los devanados del rotor, y la fuerza que gira el rotor no se producirá.

El rotor disminuirá la velocidad, pero no se detendrá.

Cuando la velocidad del rotor es más baja que la velocidad síncrona, las líneas magnéticas intersecan el devanado del rotor, lo que significa que se induce el EMF y el rotor gira a la velocidad correspondiente. La velocidad del rotor es aproximadamente cercana a la velocidad síncrona pero nunca igual. Por eso se llama motor asíncrono.

La diferencia entre la velocidad síncrona (n_s) y la velocidad del rotor (n) es la velocidad relativa o el deslizamiento:

$$s(\%) = \frac{(n_s - n)}{n_s} 100$$

La velocidad relativa en la práctica tiene un valor bajo: 3 a 5 por ciento (motores de tamaño pequeño, <20 kW), 1 a 1.5 por ciento (motores de tamaño mediano, <500 kW) y 0.5 a 1 por ciento (motores de gran tamaño, > 500 kW).

Es útil tener en cuenta que se necesita un mínimo de dos corrientes de desplazamiento de fase para generar el RMF del estator. La corriente trifásica (fase desplazada de 120° entre sí) genera un RMF más uniforme que las corrientes de dos fases.

Este es el tipo más común de motor, debido a su bajo costo, fácil mantenimiento, robustez, sobrecarga y amplio rango de velocidad de rotación. (Osmanbasic, 2017)

2.4.2 Motores Síncrónicos

Son máquinas síncronas que se usan para convertir la potencia eléctrica en potencia mecánica de rotación. Pues, su velocidad de giro es constante y

depende de la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que esté conectada. Asimismo, este tipo de motor es capaz de trabajar simultáneamente como generador, y como, de hecho, el motor. Su dispositivo es similar a un generador síncrono. Un rasgo particular del motor es la frecuencia inalterable de rotación giratoria de la carga. En la figura 2.4 se puede ver un motor síncrono.

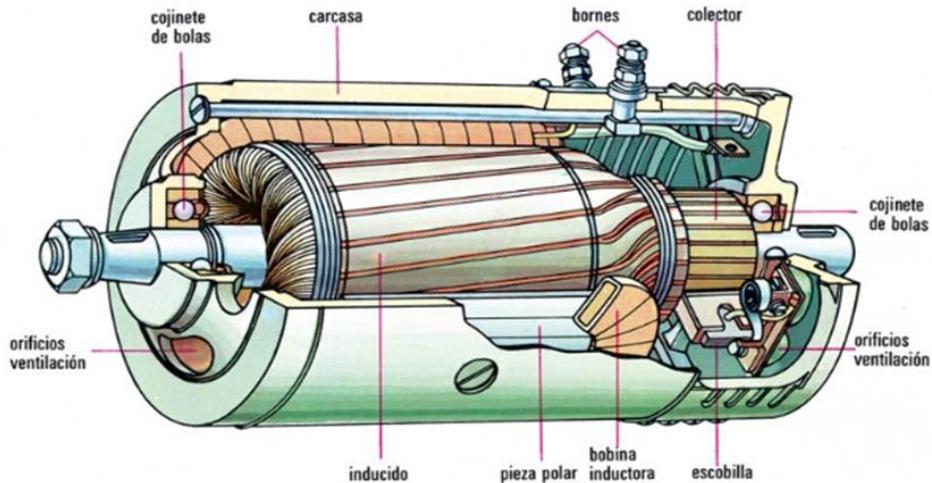


Figura 2. 4 Motor síncrono

Fuente: (Nextews, 2015)

El rotor gira a una velocidad denominada “de sincronismo”. La construcción de un motor síncrono es similar a la de un motor de inducción. Las corrientes del estator producen el RMS, que gira en velocidad síncrona (n_s). El rotor gira junto con RMS en igual velocidad ($n = n_s$) y el motor está sincronizado. El motor síncrono produce una velocidad constante, que siempre es igual a la velocidad síncrona.

En este caso, el RMS gira a alta velocidad y el rotor tiene una gran masa e inercia. Los polos del campo magnético del estator y el rotor no se sincronizan fácilmente. En consecuencia, el rotor debe arrancarse y acelerarse a la velocidad síncrona con la ayuda de una fuerza externa, después de lo cual puede girar con su propio par. El rotor de un motor síncrono puede arrancarse de las siguientes maneras:

- Conexión del otro motor auxiliar al eje del rotor.

- Arranque asíncrono por conductores de jaula de ardilla incrustados (aplicación en grandes motores industriales)
- Inicio sincrónico mediante el uso de frecuencia variable (aumentando la frecuencia de cero a la frecuencia de ejecución final)

Estos son más eficientes que los motores de inducción en aplicaciones de motores industriales grandes. Los motores síncronos de baja potencia se utilizan en aplicaciones de robótica y servosistemas donde se requiere una alta precisión y un control preciso. En la figura 2.5 se puede apreciar las conexiones del motor síncrono.

Se llaman síncronos ya que giran a velocidad proporcional a la frecuencia de su red de alimentación.

El campo magnético giratorio creado al energizar los arrollamientos del estator, reacciona con el campo magnético fijo que posee el rotor, dando lugar al movimiento. Por el tipo de rotor esta máquina se puede utilizar también como generador eléctrico. Puede conectarse en configuración delta

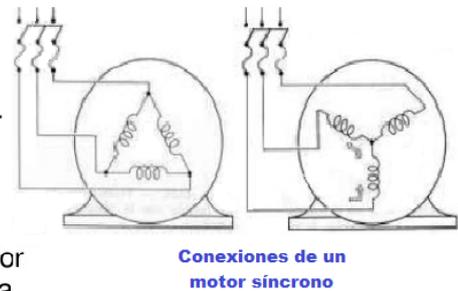


Figura 2. 5 Esquema de conexiones del motor asíncrono

Fuente: El autor

Sin embargo, sus desventajas son: la compleja regulación de la velocidad de rotación, la dependencia no lineal del par del eje respecto de la velocidad de rotación y los problemas durante el arranque.

2.4.3 Diferencias entre un motor síncrono y asíncrono

La diferencia entre el trabajo de los motores está en el rotor. En un tipo síncrono, consiste en un imán permanente o eléctrico. Debido a la atracción de polos opuestos, el campo giratorio del estator también atrae un rotor magnético. Su velocidad es la misma. De ahí el nombre; síncrono.

Regulación de velocidad	Constante
Control de velocidad	Ninguna, excepto motores especiales diseñados para dos velocidades fijas.
Par de arranque	40% para baja velocidad a 160% para medias velocidades 80% factor de potencia. Diseños especiales desarrollan altos torques.
Aplicaciones	Velocidad constante, conexión directa a máquinas de baja velocidad y cuando el factor de corrección de potencia se requiere



Figura 2. 6 Características del motor síncrono

Fuente: (Nextews, 2015)

Los motores asíncronos, a su vez, son simples y fiables, pero su desventaja es la dificultad en el ajuste de la velocidad de rotación. Para invertir el motor asíncrono trifásico (es decir, cambiando la dirección de su giro en la dirección opuesta), se cambia la disposición de las dos fases o dos hilos lineales que se aproximan al devanado del estator. (Traxco, 2016)

2.5 Fallas eléctricas en motores de inducción trifásicos

Peralta (2009) indica al respecto, que la mayoría de fallas en motores eléctricos son predecibles, prevenibles, repetibles y en la mayoría de los casos, reparables. El detectar fallas eléctricas en una máquina rotatoria permite evaluar su condición y su eficiencia de funcionamiento ya que en la mayoría de los casos los desperfectos conducen a un consumo mayor de energía eléctrica y al desmejoramiento de la potencia reactiva, provocando un bajo factor de potencia, el cual es penalizado por las empresas distribuidoras de energía eléctrica (Peralta, 2009).

En un estudio en el año 2000 del Instituto de investigación para la energía eléctrica (EPRI Electrical Power Research Institute) y la General Motors en

Estados Unidos, enfatizaron valores porcentuales de causas de fallas en motores de inducción, véase la tabla 2.1

Tabla 2. 1 Porcentaje de falla en partes del motor de inducción

COJINETES	41%	ESTATOR	37%	ROTOR	10%
Cojinetes de rodamiento	16%	Aislamiento a tierra	23%	Jaula	5%
Cojinetes de fricción	8%	Aislamiento entre espiras	4%	Eje	2%
Empaquetaduras	6%	Tirantes	3%	Núcleo magnético	1%
Cojinetes de empuje	5%	Cuñas	1%		
Lubricación	3%	Carcasa	1%		
		Núcleo magnético	1%		
Otros	3%	Otros	4%	Otras	2%

Nota: EPRI, 2000

2.5.1 El desbalance de tensión

Es la “condición para la cual las tres tensiones de un sistema trifásico difieren en magnitud y/o no están desfasadas $2\pi/3$ radianes entre sí. A sí mismo, define la magnitud del desbalance como “la máxima desviación de la magnitud de tensión de cada una de las tres fases con respecto a la magnitud promedio del sistema trifásico, dividida por la magnitud promedio y al ángulo de fase del desbalance como “la máxima desviación de la diferencia de ángulos de fases entre las tres tensiones del sistema, dividida entre $2\pi/3$ radianes (Peralta, 2009).

Cuando los voltajes de línea aplicados a un motor no están balanceados, es decir, se encuentran desequilibrados, se desarrollan corrientes desbalanceadas en los devanados del estator, las cuales se les conoce como corrientes de secuencia negativa, reduciendo el torque del motor. (Peralta, 2009)

Estas corrientes producen dos efectos importantes, aumentan la temperatura en el devanado dañando su aislamiento y aumentan su vibración.

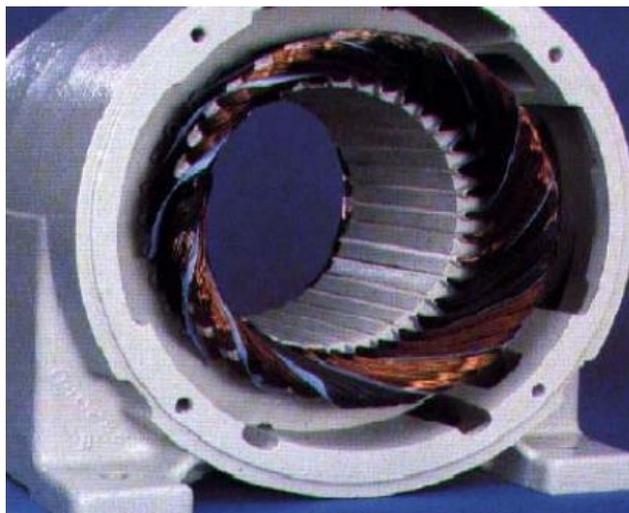


Figura 2. 7 Devanado dañado por desbalance de tensión

Fuente: (Peralta, 2009)

Un desbalance en la tensión del 1% puede producir diferencias del 6% al 10% en la corriente. Se puede decir entonces, que el desequilibrio en las tensiones de las tres fases es una de las mayores causas de avería en motores de inducción. Es importante destacar que un motor debe entregar una cantidad fija de energía mecánica y por consecuencia esta energía debe provenir de un sistema eléctrico. Así, una reducción de tensión debe necesariamente acompañarse de un incremento en la corriente para entregar relativamente la misma potencia (Peralta, 2009).

Se tiene entonces que desbalances de voltaje o una operación en donde se haya perdido una de las fases que alimenta al motor trifásico como se muestra en la figura 2.8, pueden ocasionar calentamientos excesivos que terminarán por generar una falla. Otro aspecto importante es el fenómeno que ocurre en el par de rotación del motor de inducción, ya que este es directamente proporcional al cuadrado del valor de la tensión de alimentación

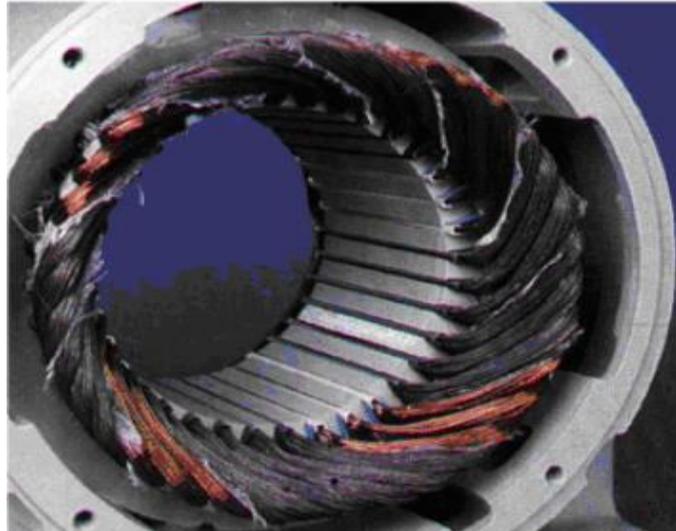


Figura 2. 8 Devanado dañado debido a la pérdida de una fase

Fuente: (Peralta, 2009)

2.5.1.1 Efectos por reducción del voltaje

Los resultados de un voltaje inferior al valor de placa son como sigue:

- El deslizamiento del motor se incrementa al debilitarse el campo magnético, por lo cual la velocidad de operación desciende ligeramente.
- Hay una disminución en el flujo magnético.
- Disminuye la corriente magnetizante.
- El motor debe desarrollar un par ligeramente mayor para compensar la disminución de su velocidad.
- El par de arranque del motor disminuye en forma proporcional al cuadrado de la relación de voltajes.
- El par máximo que el motor puede desarrollar disminuye también en la misma proporción
- El factor de potencia mejora ligeramente como consecuencia de una menor corriente magnetizante.
- Las pérdidas totales se incrementan ligeramente, haciendo que la eficiencia se reduzca.

2.5.1.2 Efectos por aumento del voltaje

Los efectos derivados de un sobre voltaje (o sea, un valor de tensión superior al nominal) son:

- La velocidad síncrona del motor, que es función del número de polos y de la frecuencia, no se ve afectada, pero sí se reduce el deslizamiento del motor, lo cual se traduce en una velocidad de operación mayor.
- Hay un incremento en el flujo magnético.
- Se eleva la corriente magnetizante.
- El par desarrollado a plena carga es ligeramente menor.
- El par de arranque del motor se incrementa en forma proporcional al cuadrado del aumento de voltaje.
- El par máximo se incrementa también en la misma proporción.
- El factor de potencia disminuye un poco, debido a la mayor corriente magnetizante.
- Por el contrario, la eficiencia tiende a ser ligeramente más elevada.
- La elevación de temperatura a plena carga tendería a ser menor. (Peralta, 2009).

2.5.2 Desbalance de frecuencia

Se encuentran efectos por reducción y aumento de la frecuencia.

2.5.2.1 Efectos por reducción de la frecuencia

Varias de las características del motor de inducción se ven afectadas directamente por las variaciones de voltaje y de frecuencia. Se examinarán en primer lugar los efectos de una reducción de frecuencia, como ocurriría por ejemplo al operar un motor de 60 Hz a 50 Hz (lo cual estaría fuera de lo previsto por las normas). Se tendría entonces que:

- La velocidad del motor se reduce en forma proporcional a la reducción de la frecuencia.

- El flujo y, por tanto, la densidad de flujo en el circuito magnético del motor, se incrementan, por ser inversamente proporcionales a la frecuencia.
- La corriente magnetizante debe aumentar al incrementarse el flujo.
- El par que debe desarrollar el motor es más alto debido a la reducción de la velocidad.
- Se incrementa el par de arranque del motor.
- Se eleva asimismo el valor del par máximo
- El factor de potencia desciende en la mayor parte de los casos.
- Normalmente, también la eficiencia tiende a disminuir.
- La temperatura de operación se eleva por un incremento en las pérdidas acompañado al mismo tiempo de un descenso en la capacidad de enfriamiento del sistema de ventilación.

2.5.2.2 Efectos por aumento de la frecuencia

Si a diferencia de como se hizo en párrafos anteriores, se trabaja con una frecuencia de alimentación mayor que la nominal, los efectos serán como sigue:

- Un aumento en la velocidad de operación.
- Reducción en el flujo y en la densidad de flujo resultante en las diversas secciones del circuito magnético.
- Menor corriente magnetizante.
- La mayor velocidad hace que se reduzca el par que debe desarrollar el motor para dar la misma potencia.
- El par de arranque del motor disminuye en la práctica en proporción directamente inversa al cuadrado de la relación de frecuencias.
- El par máximo que puede desarrollar el motor disminuye también en la misma proporción.
- El factor de potencia tiende a mejorar ligeramente.

- La eficiencia tiende también a incrementarse.
- La elevación de temperatura normalmente se reduce como consecuencia de menores pérdidas y una mayor eficacia del sistema de ventilación.

El cambio de la frecuencia tiene efectos contrarios al de los voltajes, es decir, un aumento de frecuencia equivale en cierto modo a una disminución de voltaje. Esto es importante, pues las normas no son muy explícitas al respecto, y sólo se mencionan en ellas porcentajes por encima o por debajo del valor nominal. De este modo, por ejemplo, si se tiene que incrementar la frecuencia en un 5 %, y el voltaje también debe elevarse en el mismo valor, el efecto de ambos cambios será acumulativo.

Pero si la variación de voltaje fuera hacia abajo, tendería a contrarrestar el cambio en la frecuencia. En realidad, el funcionamiento de muchos sistemas de control se basa en la premisa de mantener baja la relación de voltaje sobre frecuencia, con lo cual resulta posible arrancar el motor a muy baja frecuencia y bajo voltaje, y ambas magnitudes se incrementan en forma gradual hasta los valores nominales, o incluso un poco mayores. (Peralta, 2009).

En la figura 2.9 se muestra la curva de par constante, la cual se crea variando el voltaje y la frecuencia en forma conjunta puede obtenerse una característica de par constante. Se aprecia que la línea pasaría por el origen de no ser por la caída I_R que ocurre en el motor.

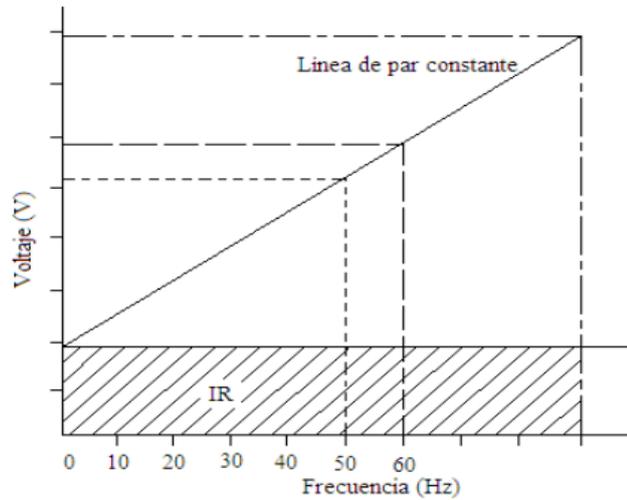


Figura 2. 9 Par constante al variar la frecuencia y el voltaje

Fuente: (Peralta, 2009)

2.5.3 Excentricidad

Se conoce por excentricidad a una desviación considerable en la circunferencia de una porción, que, para el presente trabajo, sería el rotor. A simple vista se consideraría este fenómeno como una causa de un defecto de fábrica, del constante uso o algún golpe en su instalación o en su manipulación (Peralta, 2009). La excentricidad causa una fuerza radial sobre el rotor. Si la excentricidad es estática la fuerza es constante y en una dirección única. En cambio, si la falla es dinámica la fuerza gira a la velocidad de rotación del rotor.

Esta fuerza es llamada UMP (Unbalanced Magnetic Pull), la misma tiende a agravar la falla. Desde el punto de vista mecánico la falla provoca vibraciones en determinadas frecuencias. El efecto de retroalimentación que tiene esta falla puede derivar en que el estator y el rotor se rocen en caso de no ser detectada a tiempo (Burgueño, Mercadante, & Núñez, 2017).

En el rotor existen tres categorías:

- Excentricidad estática
- Excentricidad dinámica
- Excentricidad mixta

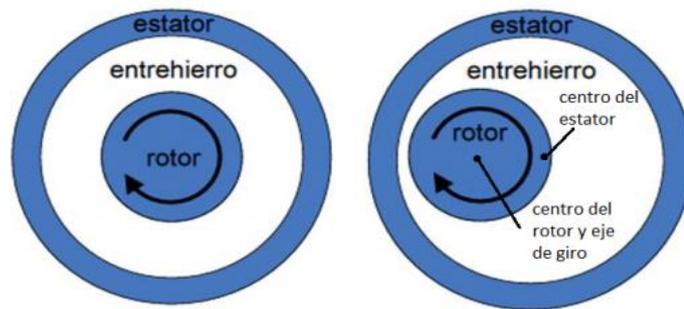


Figura 2. 10 Motor sin excentricidad (lado izquierdo) y motor con excentricidad estática

Fuente: (Burgueño, Mercadante, & Núñez, 2017)

El rotor de un motor debe estar centrado con respecto al estator, de donde existe un espacio entre este denominado entrehierro, si este no está bien distribuido en los 360° del motor se producen campos magnéticos desiguales. El efecto adverso que provocan estos campos magnéticos desiguales que generan fallas en el aislamiento y fallas en los rodamientos.

En la excentricidad dinámica, falla el eje de giro del rotor coincide con el centro geométrico del estator, pero no con el del rotor. La figura 2.11 representa dicha situación.

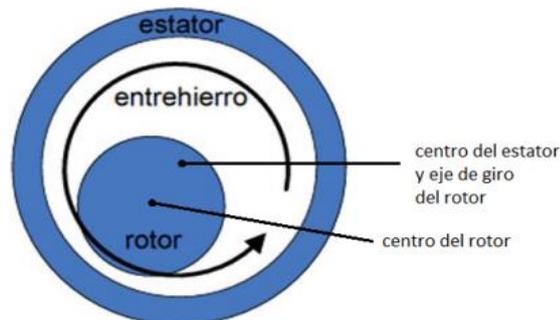


Figura 2. 11 Motor con excentricidad dinámica

Fuente: (Burgueño, Mercadante, & Núñez, 2017)

En la excentricidad mixta se presenta la combinación de las dos anteriores. El eje de giro del rotor no coincide con el centro geométrico del rotor ni con el del estator. Aparte de problemas causados por la calidad de energía (entre ellos armónicos etc.), existe también fallas por aislamiento. Se consideran básicamente tres clases de sistemas de aislamiento, dependiendo de la temperatura máxima de operación:

- Aislamiento clase B, temperatura máxima 130°C
- Aislamiento clase F, Temperatura máxima 155°C
- Aislamiento clase H, temperatura máxima 180°C

Con este aspecto a tomar en cuenta se pudiera lograr una duración o vida útil normal del motor de inducción.

En la tabla 2.2 se muestra un cuadro de probables fallas básicas del motor de inducción empleado en procesos industriales.

Tabla 2. 2. Cuadro de fallas comunes de motores de inducción

PROBLEMA	POSIBLES CAUSAS	CORRECCIÓN
El motor no arranca.	Generalmente, problema de la línea. Funcionamiento con una sola fase en el arrancador. Baja tensión. Carga excesiva.	Controle la fuente de alimentación. ¡NO realice los controles con el motor activado! Verifique sobrecargas, controles y fusibles. Controle la tensión y compárela con la capacidad nominal de la placa de identificación. Controle la tensión en los terminales del motor. Compárela con la placa de identificación. Desconecte el motor de la carga para comprobar si arranca sin carga. Reduzca la carga o reemplace el motor por una unidad de mayor capacidad.
Zumbido excesivo.	Alta tensión. Rotor desbalanceado. Desgaste excesivo de los cojinetes de manguito.	Controle la tensión de entrada. Controle que las conexiones sean correctas. Balancee el rotor. Reemplace los cojinetes. Realice un control para determinar la causa del desgaste y reemplace según sea necesario. Controle la alineación.
Chasquidos regulares.	Materia extraña en el entrehierro.	Quite la materia extraña.
Golpes rápidos.	Cojinete antifricción defectuoso o suciedad en el lubricante.	Reemplace el cojinete, limpie las cavidades de engrase y renueve el lubricante.
Vibración.	Desalineación en el acoplamiento o las patas. Acumulación de suciedad en el ventilador. Vibración en la máquina accionada. Frecuencia natural del sistema (resonancia).	Realinee el motor y el equipo accionado. Limpie el motor. Ponga en funcionamiento el motor desconectado de la carga accionada y controle la vibración. Elimine la fuente del equipo accionado. Modifique la rigidez de la estructura de la base.
Vibración después de reparar el motor.	Rotor no balanceado; pesas de balanceo de los ventiladores desplazadas en el rotor.	Balancee el rotor.
Sobrecalentamiento del motor. (Controle con el termopar o a través del método de resistencia, no se fie solamente del tacto).	Sobrecarga. Funcionamiento con una sola fase. Suciedad en el motor. Tensión desequilibrada. Fricción del rotor sobre el estator.	Mida la carga y compárela con la capacidad nominal de la placa de identificación. Controle si hay fricción excesiva en el motor o la transmisión completa. Reduzca la carga o reemplace el motor por una unidad de mayor capacidad. Controle la corriente en todas las fases. Controle el flujo de aire. Controle los filtros, si están instalados. Limpie el motor. Controle la tensión en todas las fases. Controle el entrehierro. Repare el motor según sea necesario.

PROBLEMA	POSIBLES CAUSAS	CORRECCIÓN
Sobrecalentamiento del motor	Devanados del estator abiertos. Recirculación de aire. Sobretensión / baja tensión. Conexión a tierra. Conexiones eléctricas inadecuadas. Tubos del intercambiador de calor bloqueados. Tubos del intercambiador de calor flojos.	Desconecte el motor de la carga. Controle los amperios en ralentí para verificar el equilibrio en las tres fases. Controle la resistencia del estator en las tres fases para verificar el equilibrio. Controle que no haya obstrucciones en la entrada y la salida de aire. Controle la temperatura de la entrada de aire. Controle la tensión y compárela con la placa de capacidad nominal. Localice la falla con una lámpara de prueba o un comprobador de aislamiento y repárela. Vuelva a controlar las conexiones eléctricas. Limpie los tubos, si están instalados. Si están instalados, gire los tubos para expandir el diámetro interno de los tubos usando la herramienta de expansión adecuada.
Polvo fino debajo del acoplamiento con amortiguadores o pasadores de caucho.	Desalineación.	Realinee el motor y el equipo accionado. Inspeccione el acoplamiento.
Sobrecalentamiento de los cojinetes.	Nivel de aceite demasiado alto o demasiado bajo (cojinete de manguito). Desalineación. Tensión excesiva en la transmisión por correas. Empuje final excesivo. Demasiada grasa (cojinetes de bolas o de rodillos). Anillo de aceite pegajoso (cojinete de manguito).	Corrija el nivel de aceite. Realinee el motor y el equipo accionado. Reduzca la tensión al punto adecuado. Reduzca el empuje. Vuelva a controlar el montaje y la alineación. Disminuya el suministro al punto especificado por el fabricante. Limpie, repare o reemplace. Vuelva a controlar el montaje.
Fugas de aceite o uso excesivo de aceite.	Piezas no selladas correctamente. Orificios de retorno de aceite obstruidos en los sellos de aceite.	Selle los tapones y las conexiones de los tubos. Selle la línea de división del alojamiento de cojinete. Selle la unión del sello de aceite. Desmantele y limpie los sellos de aceite.
Fluctuación excesiva del nivel de aceite.	Alta presión o vacío en la cavidad del cojinete.	Mida la presión o el vacío con un manómetro Controle si hay obstrucciones en los orificios de ventilación. Controle que haya uniformidad en el espacio del sello de aceite.

Nota: Manual de Motores y generadores de inducción: (Siemens, 2010)

CAPÍTULO 3: LA TERMOGRAFÍA

La termografía es una técnica de mantenimiento predictivo para monitorear el estado de la maquinaria, las estructuras y los sistemas de la planta, no solo los equipos eléctricos. Utiliza instrumentos para leer las emisiones de energía infrarroja (temperatura de la superficie) para determinar las condiciones de operación. Al detectar anomalías térmicas (áreas más calientes o más frías de lo que deberían ser), un técnico experimentado puede localizar y definir una multitud de problemas incipientes dentro de la planta. La tecnología infrarroja funciona según el principio de que los objetos que tienen una temperatura por encima del cero absoluto emiten energía o radiación.

3.1 Fundamentos de luz infrarrojos

La longitud de onda de la radiación infrarroja es más larga que la de la luz visible, pero más corta que las microondas. Vea la Figura 3.1. La radiación infrarroja se puede sentir, pero no se puede ver. Cada objeto emite radiación infrarroja.

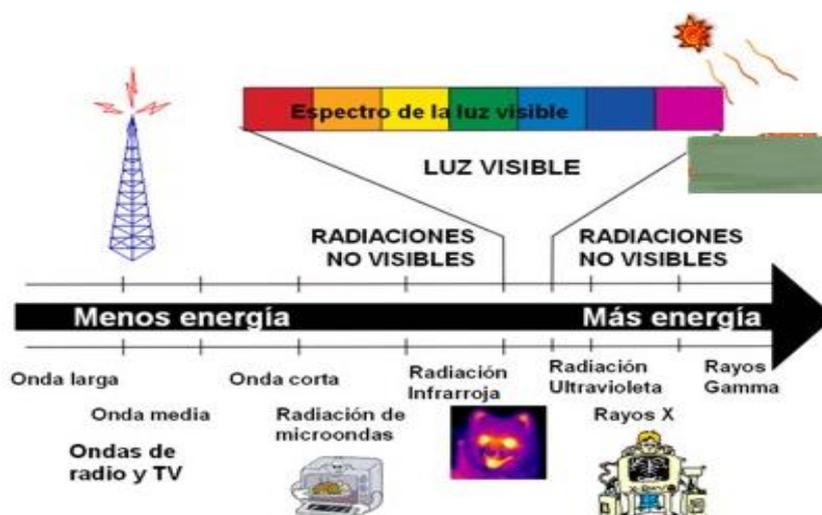


Figura 3. 1 Espectro de luz visible

Fuente: (Ecured, s.f.)

La intensidad depende de la temperatura y una propiedad de la superficie del material llamada emisividad. Las cámaras de infrarrojos detectan la energía infrarroja que emite un objeto y la reproducen como una imagen surrealista donde las áreas calientes aparecen brillantes y las frías aparecen oscuras.

La radiación infrarroja se encuentra entre la luz visible y las ondas de radio del espectro electromagnético. La radiación infrarroja (IR) tiene longitudes de onda entre 1 milímetro y 750 nanómetros. La longitud de onda de la luz roja tiene 700 nanómetros (o 7 000 Å). La radiación infrarroja oscila con frecuencias entre 300 Giga Hertz (GHz ó 10⁹ Hertz) y 400 Tera Hertz (THz ó 10¹² Hertz) (Ventanas al Universo, 2005). En la figura 3.2 se muestra el espectro electromagnético.

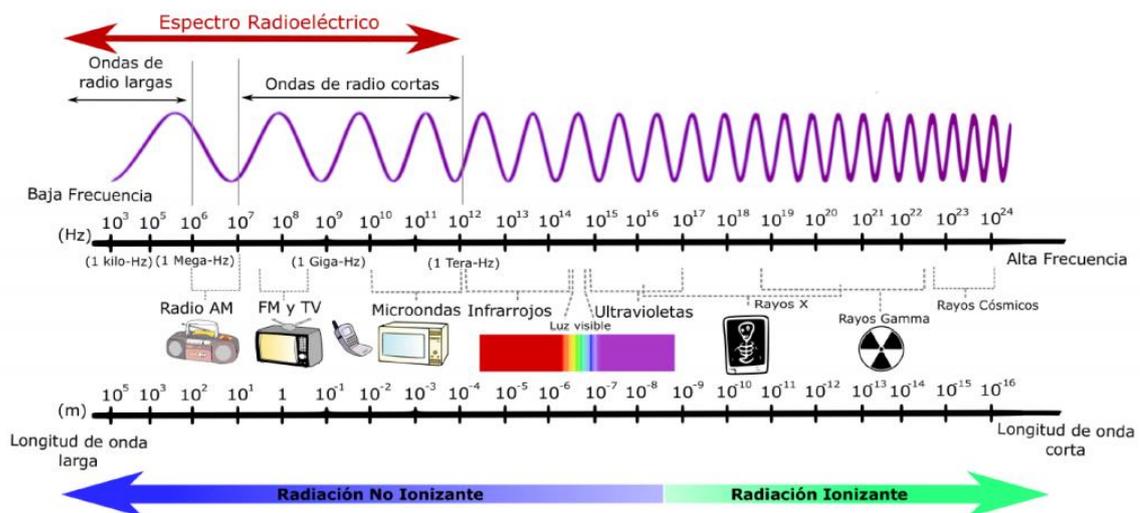


Figura 3. 2 Espectro electromagnético

Fuente: (Inarquia, 2018)

El espectro infrarrojo se puede subdividir en infrarrojo lejano (1 mm a 10 μ m longitud de onda), infrarrojo medio (10 a 2.5 μ m longitud de onda), y casi infrarrojo (2 500 a 750 nm longitud de onda). La porción del IR lejano que incluye las longitudes de onda entre 100 y 1 000 μ m, es algunas veces conocida como infrarrojo extremo. (Ventanas al Universo, 2005).

La radiación infrarroja es una forma de energía emitida. Las emisiones infrarrojas son invisibles sin instrumentación especial. La intensidad de la

radiación infrarroja de un objeto es una función de la temperatura de su superficie.

3.1.1 Espectroscopia de infrarrojo

Es la rama de la espectroscopia que trata con la parte infrarroja del espectro electromagnético. Esta cubre un conjunto de técnicas, siendo la más común una forma de espectroscopia de absorción. Así como otras técnicas espectroscópicas, puede usarse para identificar un compuesto e investigar la composición de una muestra. Esta se puede dividir según el tipo de radiación que se analiza, en: Espectroscopia del Infrarrojo cercano, Espectroscopia del infrarrojo medio, Espectroscopia del infrarrojo lejano. (Ecured, s.f.).

La espectroscopia infrarroja es ampliamente usada en investigación y en la industria como una simple y confiable práctica para realizar mediciones, control de calidad y mediciones dinámicas. Los instrumentos son en la actualidad pequeños y pueden transportarse fácilmente, incluso en su uso para ensayos en terreno.

Un espectrómetro (también llamado espectroscopio o espectrógrafo) es un instrumento óptico que se usa para medir las propiedades de la luz sobre una porción específica del espectro electromagnético.



Figura 3. 3 Espectrómetro portátil

Fuente: (ITALTEC, 2015)

Su utilidad es realizar análisis espectroscópicos para identificar materiales. La variable medida es generalmente la intensidad de la luz, pero también podría ser, por ejemplo, el estado de polarización. Las máquinas modernas de investigación pueden tomar mediciones infrarrojas a lo largo de todo el rango de interés con una frecuencia de hasta 32 veces por segundo. Esto puede realizarse mientras se realizan mediciones simultáneas usando otras técnicas.

Sin embargo, medir la temperatura con métodos infrarrojos es complicado, ya que se pueden detectar tres fuentes de energía térmica de cualquier objeto: la energía emitida desde el objeto en sí; energía reflejada desde el objeto; Y la energía transmitida por el objeto. Sólo la energía emitida es importante en un programa de mantenimiento predictivo. Las energías reflejadas y transmitidas distorsionan los datos infrarrojos en bruto. Por lo tanto, deben eliminarse de los datos adquiridos antes de poder realizar un análisis significativo.

Además de la energía reflejada y transmitida, el usuario de técnicas termográficas debe considerar la atmósfera entre el objeto y el instrumento de medición. El vapor de agua y otros gases absorben la radiación infrarroja. El polvo en el aire, algunas luces y otras variables pueden distorsionar las mediciones de radiación infrarroja. Debido a que el ambiente atmosférico está cambiando constantemente, el uso de técnicas termográficas requiere un cuidado extremo cada vez que se adquieren los datos.

La mayoría de los sistemas o instrumentos de monitoreo infrarrojo usan filtros para eliminar los efectos negativos de la atenuación atmosférica. Sin embargo, el usuario debe reconocer los factores específicos que afectarán la precisión de los datos infrarrojos y aplicar los filtros correctos u otros métodos de acondicionamiento de señales.

Se utilizan tres tipos generales de instrumentos para mantenimiento predictivo: termómetros infrarrojos o radiómetros de punto, escáneres de línea y sistemas de imágenes.

3.2 Termómetros infrarrojos

Los termómetros infrarrojos o los radiómetros de punto proporcionan la temperatura real de la superficie en un solo punto relativamente pequeño en una máquina o superficie. Los termómetros infrarrojos de punto de uso están disponibles comercialmente y son relativamente económicos. Ciertos termómetros operan en un rango de temperatura de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El termómetro infrarrojo dispone de una resolución óptica de 50 : 1 lo que le permite una medición de temperatura precisa y sin contacto de superficies muy pequeñas. Así pues, con este termómetro infrarrojo puede por ejemplo efectuar mediciones en calderas, sistemas de ventilación o climatización sin que la temperatura ambiental o superficies colindantes tengan influencia en el valor de medición de tuberías.



Figura 3. 4 Operación de termómetro infrarrojo

Fuente: (PCE, s.f.)

Dentro de un programa de mantenimiento predictivo, el termómetro infrarrojo de punto de uso se puede utilizar junto con muchos instrumentos de vibración basados en microprocesadores para monitorear la temperatura en puntos críticos en la maquinaria o equipo de la planta. Esta técnica se usa normalmente para monitorear las temperaturas de los cojinetes, las temperaturas del bobinado del motor, las verificaciones puntuales de las temperaturas de las tuberías del proceso y aplicaciones similares. Se limita a que la temperatura representa un solo punto en la máquina o estructura. Sin

embargo, cuando se utiliza junto con los datos de vibración, los datos de infrarrojos en el punto de uso pueden ser una herramienta valiosa.

3.3 Escáneres de línea

Los escáneres de línea proporcionan un escaneo dimensional único o una línea de radiación comparativa. Si bien este tipo de instrumento proporciona un campo de visión algo más grande (el área de la superficie de la máquina), su uso en aplicaciones de mantenimiento predictivo es limitado.

3.4 Imagen infrarroja

A diferencia de otras técnicas de infrarrojos, las imágenes térmicas o infrarrojas proporcionan los medios para escanear las emisiones infrarrojas de máquinas, procesos o equipos completos en muy poco tiempo. La mayoría de los sistemas de imágenes funcionan como una cámara de video. El usuario puede ver el perfil de emisión térmica de un área amplia simplemente mirando a través de la óptica del instrumento.

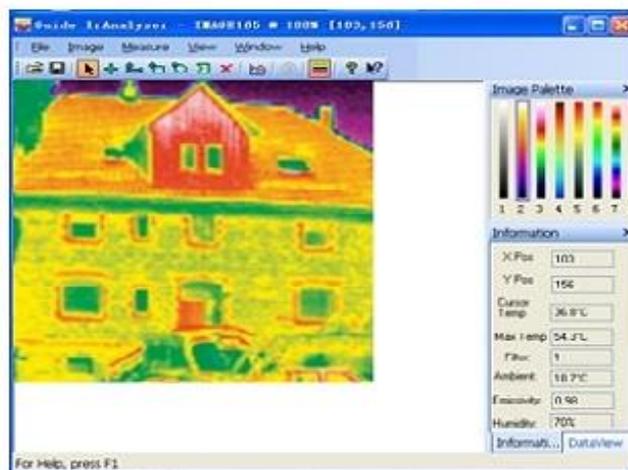


Figura 3. 5 Imagen térmica con software de análisis y valoración

Fuente: (Blog monitoreo, s.f.)

3.5 La termografía en procesos industriales

La gran mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial ya sea de tipo mecánico, eléctrico y de fabricación - están precedidos por cambios de

temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistema de Termovisión por Infrarrojos. La implementación de programas de inspecciones termográficas como mantenimiento predictivo en instalaciones, maquinaria, cuadros eléctricos, etc es posible minimizar el riesgo de un fallo de equipos y sus consecuencias, a la vez que también ofrece una herramienta para el control de calidad de las reparaciones efectuadas. (Palacios, 2015).

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

- Método de análisis sin detención de procesos productivos, ahorra gastos.
- Baja peligrosidad para el operario por evitar la necesidad de contacto con el equipo.
- Determinación exacta de puntos deficientes en una línea de proceso.
- Reduce el tiempo de reparación por la localización precisa del fallo.
- Facilita informes muy precisos al personal de mantenimiento.
- Ayuda al seguimiento de las reparaciones previas.
- Protección contra los inconvenientes producidos por el fallo inesperado de algún elemento, al detectarlo antes de que se produzca. (Palacios, 2015).

3.5.1 Detección de conexiones eléctricas sueltas o con corrosión.

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

La termografía es excelente para la detección y solución de deterioros en conexiones de sistemas eléctricos que se hayan aflojado, apretado en exceso o con corrosión mediante la comparación de temperaturas de las conexiones

de cuadros eléctricos. (Palacios, 2015). En muchas industrias, los sistemas mecánicos son la columna vertebral de las operaciones.

Los datos de termografía pueden ser una fuente valiosa de información complementaria para los estudios de vibración efectuados en la verificación técnica de equipos mecánicos.

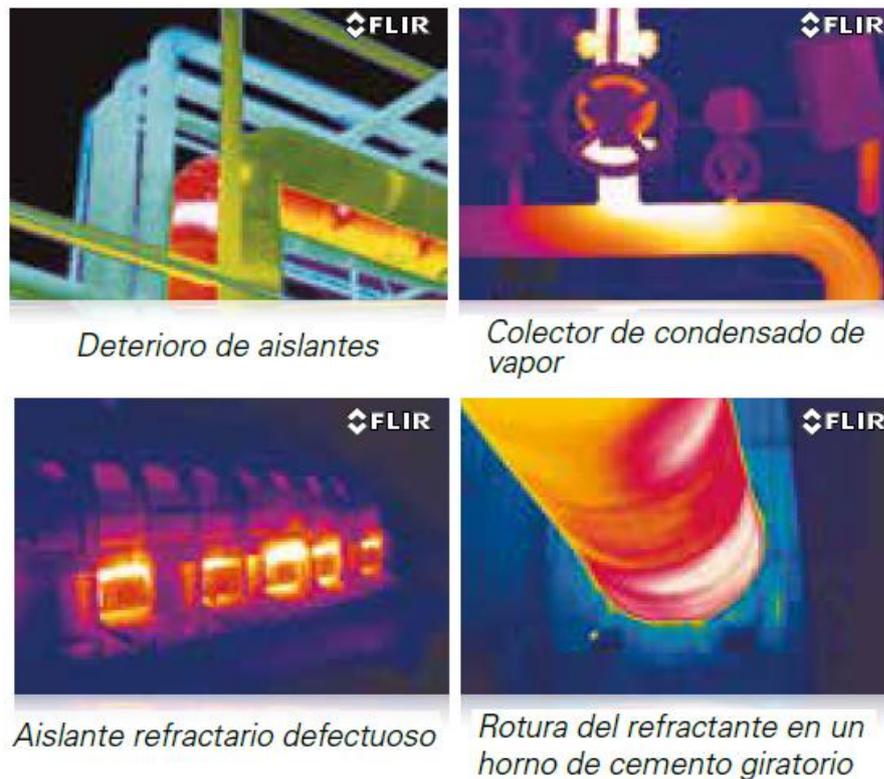


Figura 3. 6 Imágenes térmicas en infraestructura de industria típica

Fuente: (Palacios, 2015)

Se busca temperaturas superiores a las demás, ya que las conexiones sobrecalentadas, por estar sueltas o por la corrosión puede resultar en un fallo en el sistema y debería por lo tanto corregirse. De acuerdo con las especificaciones de la NETA (International Electrical Testing Association), si la diferencia de temperatura entre componentes similares bajo cargas similares supera los 15°C, deben llevarse a cabo reparaciones de forma inmediata.

Asimismo, esta asociación recomienda que se lleva a cabo la misma medida cuando la diferencia de temperatura de un componente y del aire supere los 40°C. Una vez detectada una conexión sobrecalentada, éstas deberían desmontarse, limpiarse, repararse y volverlas a ajustar (Palacios, 2015).

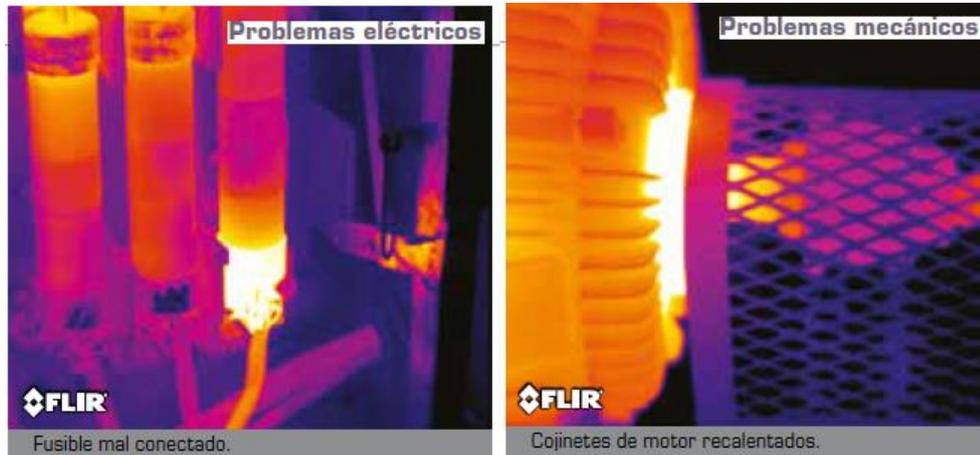


Figura 3. 7 Diagnóstico termográfico de problemas eléctricos y mecánicos

Fuente: (Palacios, 2015)

3.5.2 Detección de desequilibrios y sobrecargas eléctricas.

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

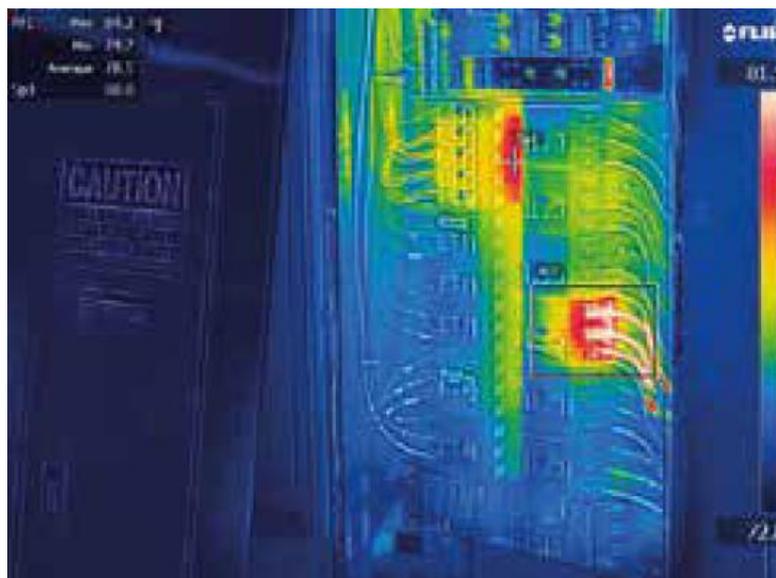


Figura 3. 8 Inspección termográfica a tablero eléctrico

Fuente: (Palacios, 2015)

Para detectar estas sobrecargas, en el caso de que se produzca un desequilibrio en la carga, las fases con la mayor carga tendrán mayores temperaturas debido al exceso de calor generado. En cualquier caso, habría que realizar la medida de la carga eléctrica para corroborar el diagnóstico del problema. De acuerdo con las especificaciones de la NETA (International Electrical Testing Association), si la diferencia de temperatura entre componentes similares bajo cargas similares supera los 15°C, deben llevarse a cabo reparaciones de forma inmediata. Asimismo, esta asociación recomienda que se lleva a cabo la misma medida cuando la diferencia de temperatura de un componente y del aire supere los 40°C (Palacios, 2015).

3.5.3 Inspección de motores eléctricos.

Las imágenes térmicas de los motores eléctricos muestran sus condiciones de funcionamiento a través de la temperatura de superficie. Lo ideal sería realizar comprobaciones de los motores cuando estuvieran trabajando bajo condiciones normales de funcionamiento.

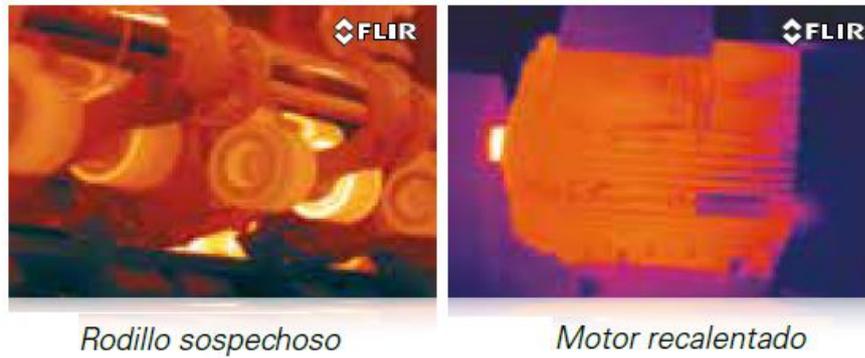


Figura 3. 9 Diagnostico termográfico a motor eléctrico

Fuente: (Palacios, 2015)

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



Figura 3. 10 Termografía por diversos aparatos portátiles

Fuente: Fluke, 2017

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

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

Un sobrecalentamiento en un motor puede deberse a: flujo de aire insuficiente, desequilibrio de tensión de sobrecarga, fallo inminente de un rodamiento, fallo del aislamiento, mala alineación del eje, (Palacios, 2015).

3.6 Características de cámara termográfica

El fabricante FLIR (2017) indica que existen básicamente cinco requisitos esenciales que se deben evaluar al ponderar una combinación apropiada de la cámara termográfica, el software y la formación:

1. Calidad de la imagen
2. Sensibilidad térmica
3. Precisión
4. Funciones de la cámara
5. Software

1. Calidad de la imagen.- La calidad de la imagen o resolución de la cámara es un factor importante. Los modelos básicos más económicos tienen una resolución de 60 x 60 píxeles, mientras que los modelos avanzados de alta gama tienen una resolución de 640 x 480 píxeles. Las cámaras termográficas con una resolución de 320 x 240 o 640 x 480 píxeles ofrecen una calidad de imagen superior. Para inspecciones más avanzadas, la resolución de 640 x 480 píxeles se está convirtiendo en la referencia para los termógrafos profesionales (Preditec, 2017).

Una cámara con 640 x 480 píxeles tiene 307.200 puntos de medición en una imagen, cuatro veces más que una cámara con 320 x 240 píxeles y 76.800 puntos de medición. No solo mejora la precisión de la medición, sino que

también existe una gran diferencia en la calidad de la imagen. Una alta resolución ayuda a ver, medir e interpretar con mayor precisión.

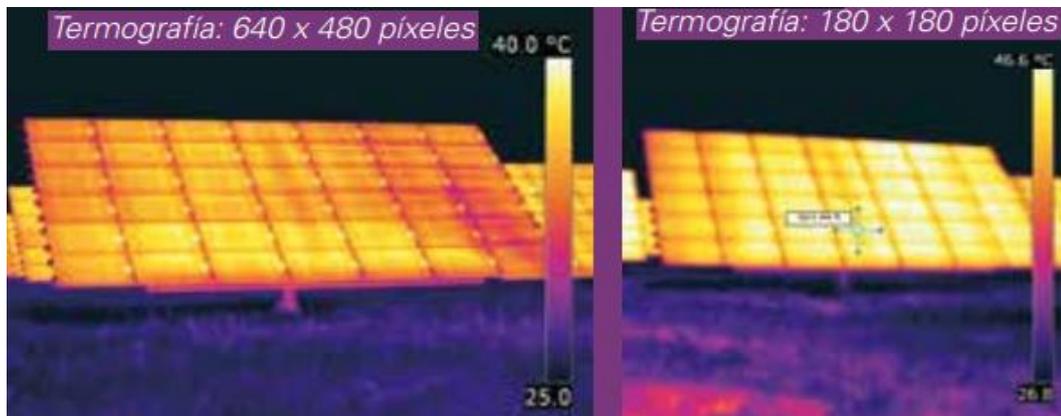


Figura 3. 11 visualización de dos resoluciones en cámara termográfica

Fuente: (Preditec, 2017)

Las cámaras de alta resolución muestran pequeños detalles incluso en observaciones a larga distancia. Comparada con una cámara de calidad de imagen inferior, puede ver una zona mayor sin perder información térmica. Mediante una cámara de 640 x 480 píxeles equipada con una lente de 45 grados, es posible inspeccionar un área de alrededor de 4 m x 3 m a 5 metros de distancia con solo una imagen. Para inspeccionar la misma instalación con una cámara de 320 x 240 píxeles con una lente también de 45 grados, se necesitarían cuatro imágenes a la mitad de distancia. Esto no solo aumenta la eficiencia sobre el terreno, sino que la menor cantidad de imágenes que se toman ahorra tiempo en la fase de documentación. (Preditec, 2017).

2. Sensibilidad térmica.- La sensibilidad térmica define la magnitud de una diferencia de temperatura que la cámara puede detectar. Mientras mejor sea la sensibilidad térmica, menor será la diferencia de temperatura mínima que la cámara termográfica puede captar y mostrar. Por lo general, la sensibilidad térmica se describe en °C o mK. Las cámaras termográficas más avanzadas para aplicaciones en edificios tendrán una sensibilidad térmica de 0,03 °C (30 mK).

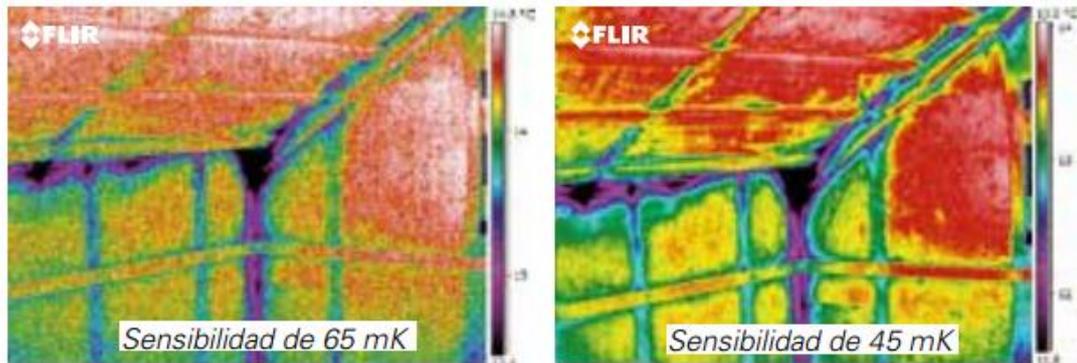


Figura 3. 12 Ejemplo de 2 tipos de sensibilidad en cámaras termográficas

Fuente: (Preditec, 2017)

La capacidad de detectar estas diferencias de temperatura en minutos es importante en la mayoría de las aplicaciones termográficas. Una alta sensibilidad de la cámara es particularmente importante en aplicaciones de construcción, en las que las diferencias de temperatura suelen ser bajas. Se necesita una mayor sensibilidad para capturar imágenes más detalladas y, por tanto, un mejor diagnóstico para acciones ulteriores. Cuanto mayor sea la sensibilidad, mejor será la cámara para capturar los detalles de imagen más precisos, incluso diferencias de baja temperatura.

3. Precisión. - Todas las mediciones pueden presentar errores y, desafortunadamente, las mediciones de temperatura con termografía no son una excepción. Aquí es donde la precisión termográfica entra en escena. En los documentos técnicos de la cámara termográfica, la precisión se expresa en porcentajes y en grados centígrados. Este es el margen de error en el que operará la cámara. La temperatura medida puede variar desde la temperatura real al porcentaje mencionado o la temperatura absoluta, la que sea mayor. El estándar del sector actual para la precisión es de $\pm 2\%$ / $\pm 2^\circ\text{C}$. Las cámaras termográficas más avanzadas de FLIR Systems obtienen una puntuación aún mejor: $\pm 1\%$ / $\pm 1^\circ\text{C}$. (Preditec, 2017).

4. Funciones de la cámara (emisividad y temperatura aparente reflejada) .- La emisividad del objeto es un parámetro muy importante que se debe tener en cuenta. Todas las cámaras termográficas de FLIR para aplicaciones de

construcción permiten al operador definir la emisividad y la temperatura aparente reflejada. La capacidad de definir la temperatura aparente reflejada y la emisividad marca una gran diferencia. Al adquirir una cámara termográfica es recomendable que se asegure de que estas funciones están incluidas.

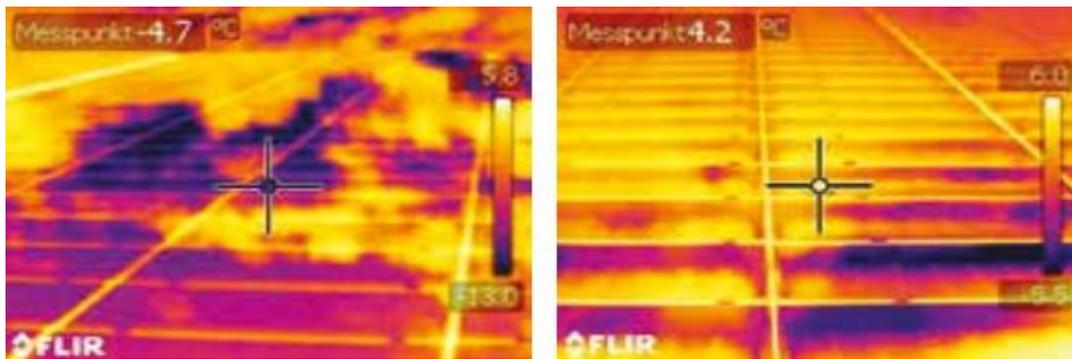


Figura 3. 13 Reflejos del ambiente exterior que afectan calidad de imagen

Fuente: (Preditec, 2017)

La cámara termográfica muestra la termografía, incluyendo los reflejos provocados por la nube. A la hora de realizar mediciones de la reflexión, la temperatura aparecerá como una mezcla de la temperatura del panel y de la temperatura aparente reflejada de la nube. A continuación, se detallan otras características

Intervalo y corrección de niveles manual.- Otra importante función de la cámara es la opción de definir manualmente el intervalo y el nivel de las termografías mostradas. Sin esta función, la cámara mostrará de forma automática todas las temperaturas entre la temperatura máxima y la mínima de la escena. Sin embargo, en ocasiones, el operador solo está interesado en una pequeña parte de esa escala de temperaturas. (Preditec, 2017).

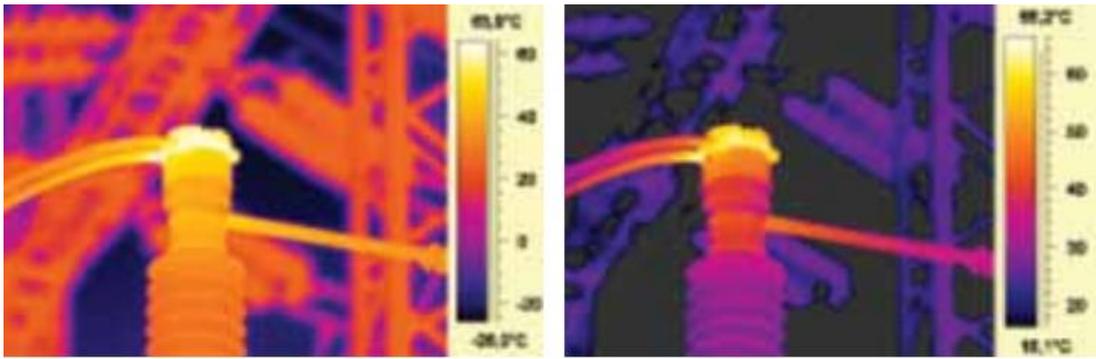


Figura 3. 14 Ejemplo de ajuste y corrección en imágenes

Fuente: (Preditec, 2017)

En la figura 3.14, se muestra el ejemplo de tomas termográficas de en línea de transmisión en un poste en un día (12°C) un poco frío. Dos versiones de la misma imagen: ajustada automáticamente (izquierda) y ajustada térmicamente en el componente (derecha). El intervalo de la imagen ajustada automáticamente es demasiado amplio.

Imagen en imagen; Mediante la función Imagen-en-imagen, el operador puede combinar imágenes de la cámara digital y la cámara termográfica. La imagen combinada muestra un recuadro sobre la foto digital con una sección de la termografía que se puede desplazar y cambiar de tamaño. Esto permite al operador localizar mejor los problemas.



Figura 3. 15 Se obtiene una clara visión general (ejemplo: instalaciones de alta tensión).

Fuente: (Preditec, 2017)

Fusión térmica; Esta función permite al operador combinar sin problemas dos imágenes definiendo parámetros de temperatura dentro

de los que se muestran datos térmicos y fuera de los cuales se muestra la foto digital. Esto ayuda a aislar los problemas y a realizar reparaciones más eficientes.

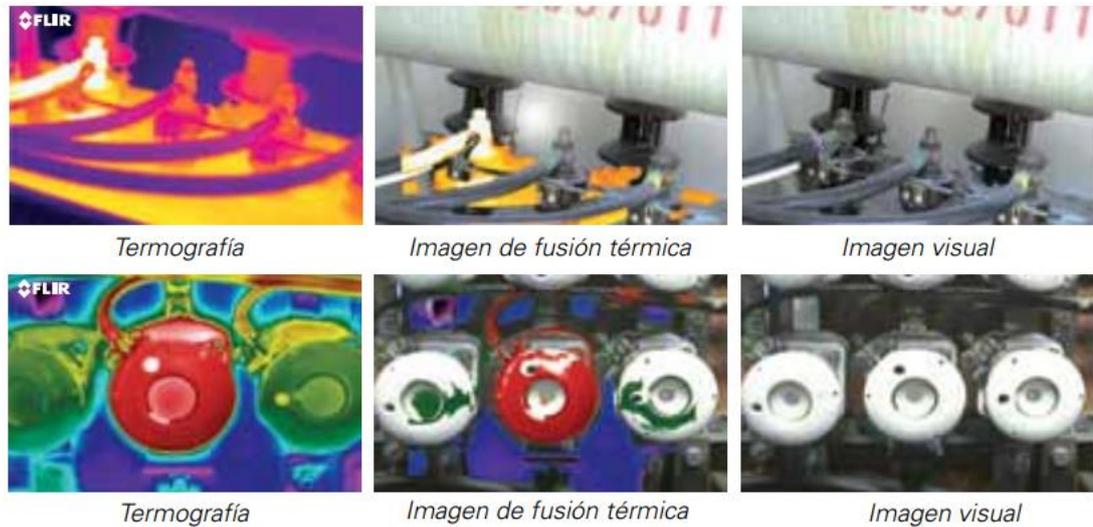


Figura 3. 16 Ejemplo de fusión térmica (imagen central)

Fuente: (Preditec, 2017)

Puntero láser; Algunas cámaras termográficas cuentan con un puntero láser integrado. Hay varias razones por las que esta característica es importante. El puntero láser permite ver con precisión hacia donde enfoca la lente de la cámara termográfica. Con solo pulsar un botón, la posición del láser le permitirá ver exactamente hacia donde enfoca la cámara termográfica, lo que le permite identificar fácilmente el objetivo de medición sin tener que hacer conjeturas. (Preditec, 2017)

Compatibilidad con herramientas de medición y de prueba externas; En ocasiones, la temperatura sola le proporciona muy poca información sobre el equipo. Para obtener una imagen completa, muchos inspectores de edificios utilizan sensores externos, como medidores de humedad. Los valores del medidor de humedad se anotan y, posteriormente, el inspector copiará los valores anotados en su informe. Este método no es eficiente y es susceptible de presentar errores humanos.



Figura 3. 17 Cámara FLIR T620 conectada con medidor de temperatura

Fuente: (Preditec, 2017)

Mediante la conectividad Bluetooth MeterLink hace que la cámara reciba datos automáticamente desde un medidor tipo pinza amperimétrica, véase la figura



Figura 3. 18 Conexión de pinza amperimétrica con cámara FLIR T620

Fuente: (Preditec, 2017)

5. Software.- Tras realizar la inspección, es probable que tenga que presentar los resultados de la misma a sus compañeros o clientes. El análisis de termografías y la creación de informes de inspección completos son tareas importantes. Es recomendable que se asegure de que su cámara termográfica incluye un paquete de software básico que le permita hacerlo.

La mayoría del software incluido en cámaras termográficas le permitirá hacer informes y análisis básicos.

Se incluirán herramientas para realizar mediciones de la temperatura en un solo punto u otro tipo de mediciones básicas. Si necesita más opciones de análisis e informes, el fabricante de la cámara termográfica debe ofrecer un paquete de software más avanzado (Preditec, 2017). Entre las funciones que se incluyen en este paquete deben estar las siguientes:

- Diseño flexible de página de informes para informes personalizados
- Herramientas potentes para análisis de temperatura: medición de varios puntos, áreas y diferencias de temperatura
- Fusión triple de Imagen en imagen (se puede mover, cambiar de tamaño, escalar)
- Funcionalidad de tendencias
- Creación de fórmulas mediante valores de medición termográficos
- Reproducción de secuencias radiométricas directamente en el informe
- Función de búsqueda para encontrar rápidamente imágenes para su informe

5. Análisis y creación de informes Cuando se hayan inspeccionado todas las habitaciones, será el momento de volver a la oficina para realizar el análisis de las imágenes y resumir las conclusiones en un informe.

Los aspectos recomendados por los niveles o grados pueden ser acompañados con colores (que indiquen alerta) que recuerden esa gravedad (rojo podría ser grado 1, amarillos podría ser grado 2 y verde grado 3).

El análisis cuantitativo: determina la temperatura o temperaturas de las partes de la imagen térmica que interesan para, a partir de éstas, extraer las conclusiones sobre las anomalías detectadas y las soluciones a adoptar.

En la figura 3.20 se podría hacer un análisis simplemente cualitativo, poniendo de manifiesto que existen infiltraciones de aire. Sin embargo, el cliente ha pedido que se cuantifiquen esas pérdidas, para aquello se necesitan conocer algunos datos como la temperatura exterior e interior y la superficie por donde entra aire.

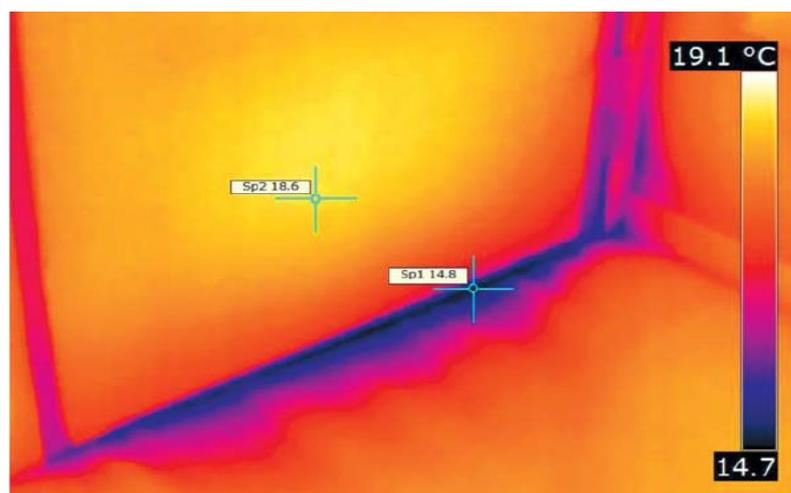


Figura 3. 20 Imagen infrarroja de filtraciones de aire

Fuente: (AETIR, 2011)

Este análisis se realiza con temperaturas reales, con compensación de los parámetros de objeto de emisividad y temperatura aparente reflejada.

De los resultados obtenidos se podrán sacar distintas conclusiones y saber si es relevante o no, si hay que actuar o no, en función de los criterios de clasificación de fallos antes mencionados, propios o publicados por algún organismo o asociación relevante.

También hay que tener y usar datos de referencia, es decir, datos históricos que permiten saber si una temperatura es elevada o baja para un mismo componente, y cuánto lo es respecto al mismo componente en estado normal.

Este método, como se ha dicho antes, no es más complejo ni más sencillo. Podría haber equivocaciones en las conclusiones, a pesar de haberse realizado bien la compensación y haber obtenido datos reales de temperaturas, o por el contrario, sin compensar, se puede decir al cliente que tiene un problema donde no lo tiene.

3.7.1 Compensación de la imagen térmica

La compensación de la imagen se puede hacer, bien durante la inspección (in situ, sobre la cámara) o con los programas de tratamiento de imágenes en la oficina. Todas las cámaras infrarrojas van a permitir modificar los “parámetros de objeto”, temperatura aparente reflejada, emisividad, distancia, temperatura exterior y humedad relativa. Esto permite pasar de temperatura aparente a temperatura real (AETIR, 2011).

Conviene en este punto, explicar los efectos que tiene la emisividad sobre la imagen térmica:

- * Si se mide un cuerpo de alta emisividad, la temperatura aparente del cuerpo es cercana a su temperatura real. Se ve la realidad.
- * Si se mide un cuerpo de baja emisividad, la temperatura aparente del cuerpo es cercana a las temperaturas aparentes de los cuerpos cercanos. Se ve la realidad y seguramente no se pueda medir o será francamente difícil (AETIR, 2011).

Además de poder modificar en los parámetros de objeto la emisividad, se puede usar un truco para medir sin compensar, se puede pintar o cubrir la superficie que se quiere medir con algo de emisividad conocida, alta y constante. Por ejemplo, se puede colocar un trozo de cinta aislante (emisividad de 0,95) sobre la superficie de una tubería de cobre, la cinta se

calentará a la temperatura del cobre y del líquido que circula por él, entonces se podrán hacer mediciones de temperatura sobre esta cinta. (AETIR, 2011).

3.7.2 Perfil de temperatura

Esta herramienta visualiza la temperatura a lo largo de una línea recta trazada sobre la imagen. El resultado es una gráfica, con la temperatura en uno de los ejes, el de la X, y la distancia en el eje Y. (AETIR, 2011).

En la figura 3.21 se emplea la termografía para ver la temperatura de las fases de un contactor eléctrico y evaluar así un posible sobrecalentamiento, terminales mal apretados, etc.

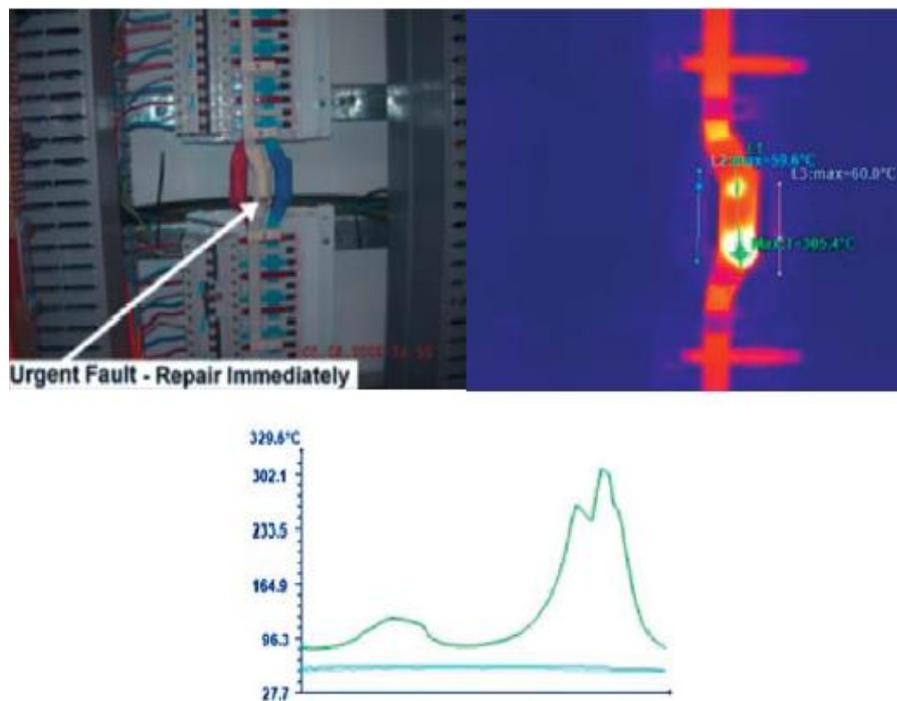


Figura 3. 21 Perfil de temperatura

Fuente: (AETIR, 2011)

En una aplicación diversa la figura 3.22, se muestra la representación de distribución de temperaturas del suelo de un edificio.

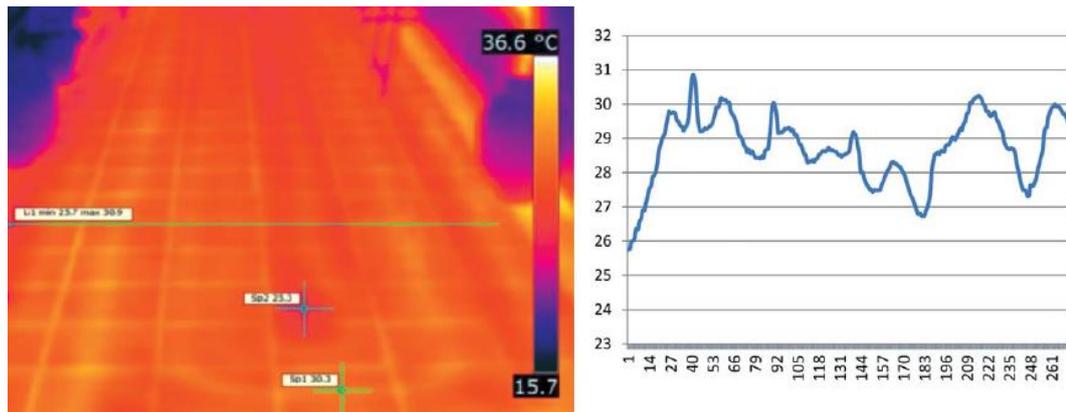


Figura 3. 22 Representación de distribución de temperaturas en el suelo radiante de un edificio, en función de la longitud.

Fuente: (AETIR, 2011)

La figura 3.22 corresponde al suelo radiante de un edificio y sobre la imagen se ha trazado una línea recta perpendicular a los tubos de suelo radiante, se ha exportado a excel y el resultado (figura 3.22, lado derecho) muestra las distintas temperaturas (eje de las Y) que alcanza el agua caliente durante el recorrido por la tubería (eje de las X). (AETIR, 2011).

Para un buen procedimiento en el diagnóstico por termografía hay que evitar cometer errores, como los siguientes:

3.8 Errores del termógrafo

1. Conocimientos teóricos: no hay que caer en el error de pensar que la termografía consiste en encender una cámara, apuntar y disparar.

Se debe saber manejar conceptos de transferencia de calor, materiales y sus propiedades, la atmósfera y su influencia y un sinnúmero de variables que afectan el trabajo. En resumen, capacitación de la técnica.

2. La cámara y su uso: no todas las cámaras termográficas son válidas para todas las tareas. El detector infrarrojo de la cámara es sensible a una determinada franja del espectro electromagnético, incluso dentro del Infrarrojo, lo cual afectará al cuerpo que se está midiendo.

Existen dos tipos de cámaras, de onda larga y de onda corta, en función de las necesidades, se adquirirá un equipo y otro.

3. Resolución y óptica: en esto influye el diseño del detector, el número de píxeles que genera la imagen y la calidad de la óptica y su fabricación y montaje. El mercado da la posibilidad de cambiar ópticas sin cambiar de cámara. (AETIR, 2011).

4. Rango de temperatura: ya mencionado anteriormente, una selección apropiada del rango es fundamental para detectar toda la información posible de la imagen.

5. Toma de la imagen: el ángulo con que se toma la imagen, el enfoque, la posición respecto al objeto, los reflejos, etc., son fundamentales para el diagnóstico. Incluso tomar varias imágenes desde distintos ángulos ayudará a diagnosticar el problema. Una vez que se abandone el lugar de la inspección, quizás no se vuelva.

6. Si la inspección abarca bastantes elementos muy parecidos entre sí, hay que identificarlos bien y no olvidar tomar las imágenes visuales de los mismos. (AETIR, 2011).

7. Punto frío y punto caliente: las anomalías no tienen por qué conllevar una temperatura alta, no siempre hay que buscar el punto caliente. No siempre los colores identifican el problema, la imagen hay que analizarla en conjunto.

8. El informe: toda la información que se saque de la imagen analizada formará parte del informe. No hay que precipitarse a la hora de escribir las impresiones. Hay que dejar claro el alcance del informe y no retrasarse más de 3 o 4 días en la elaboración del mismo (dependiendo también del alcance de la inspección). Si el trabajo de campo ha consistido en averiguar por qué una bomba circuladora de agua se calienta y se demora en elaborar el informe con las conclusiones más de una semana, es probable que cuando se entregue ya esté la bomba quemada y el circuito parado. (AETIR, 2011).

9. Un informe puede constar de:

- * Listado de equipos, máquinas etc., inspeccionadas
- * Alcance de la inspección mencionando si es necesario lo que, no incluye para no dar lugar a equívocos.
- * Fecha, hora y lugar de la inspección.
- * Equipo utilizado, fecha de la última calibración, así como el resto de material utilizado.
- * Procedimiento de análisis y método (cualitativo o cuantitativo)
- * Datos obtenidos
- * Resultados, recomendaciones y conclusiones

3.8.1 Condiciones de seguridad

El equipo utilizado en la inspección por termografía infrarroja generalmente está energizado. Por este motivo, se debe prestar atención a la seguridad. Se deben seguir estas reglas de seguridad al realizar inspecciones por infrarrojos.

Se deben seguir las reglas de seguridad de la planta.

Debido a que el uso adecuado de los sistemas de imágenes infrarrojas requiere que el técnico use un visor similar a una cámara de video para ver la maquinaria que se va a escanear, él o ella no pueden ver el entorno. Por lo tanto, además del técnico, se requiere una segunda persona de seguridad para garantizar la finalización segura.

Notifique al personal del área antes de escanear.

Se debe asignar un electricista calificado para abrir y cerrar los paneles eléctricos. Cuando sea seguro y posible, el equipo a escanear debe estar en línea y bajo carga normal con una línea de visión clara.

Cuando se usa correctamente, la termografía es una herramienta valiosa de mantenimiento predictivo y confiabilidad. Sin embargo, los beneficios derivados son directamente proporcionales a la forma en que se usa ampliamente. Si se limita a las encuestas anuales o las inspecciones trimestrales de los sistemas eléctricos, los beneficios resultantes serán limitados.

Cuando se usa para monitorear procesos críticos o sistemas de producción regularmente donde la temperatura de la superficie o la distribución de la temperatura indican confiabilidad o condiciones de operación, la termografía puede producir beneficios sustanciales.

3.9 Normativa para levantar diagnóstico termográfico

Para la determinación del posible mal ejercicio del diagnóstico termográfico, se puede optar por el criterio especificado de la NETA (International Electrical Testing Association), es decir, si la diferencia de temperatura entre componentes similares bajo cargas similares supera los 15°C, se detectará una posible futura avería (Palacios, 2015).

Si la comparación no fuera posible, esta asociación recomienda que se determine lo mismo cuando la diferencia de temperatura de un componente y del aire supere los 40°C. En función de estas diferencias de temperaturas se clasificará la posible futura avería y se determinará la actuación a realizar y su urgencia, realizando las oportunas recomendaciones (Palacios, 2015). Esta clasificación se la muestra en la tabla 3.1

Tabla 3. 1 Criterio y normativa para diagnóstico termográfico según NETA

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

Donde:

T_{PC} : temperatura punto caliente.

T_{AMB} : temperatura ambiente.

T_{REF} : temperatura punto de referencia de otro componente similar bajo cargas similares.

DIF_{SIM} : diferencia temperatura punto caliente con temperatura con punto similar.

DIF_{AMB} : diferencia temperatura punto caliente con temperatura ambiente.

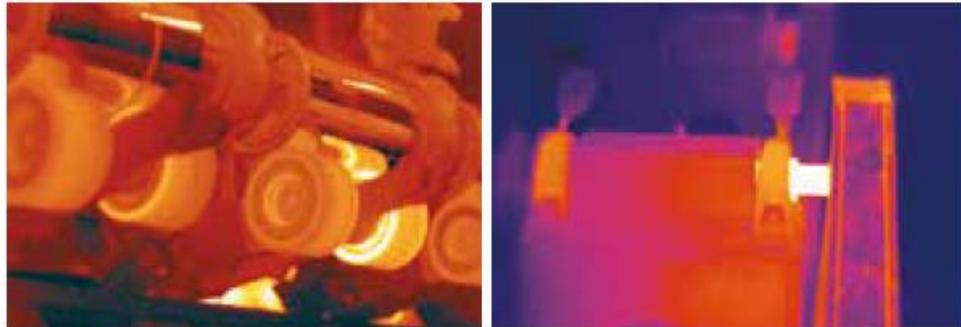
Bajo estos parámetros generales, se puede efectuar el diagnóstico termográfico y evaluar puntos calientes o temperatura en superficies de infraestructuras mecánicas, eléctricas, máquinas eléctricas, etc.

3.9.1 Inspección termográfica a estructuras mecánicas y eléctricas

En muchas industrias, los sistemas mecánicos sirven como la columna vertebral de operaciones. Los datos térmicos recogidos con una cámara de imagen térmica pueden ser una fuente de información complementaria a la vibración.

Los sistemas mecánicos se calentarán si hay una desalineación en algún punto en el sistema.

Las cintas transportadoras son un buen ejemplo. Si un rodillo está desgastado, se lo visualiza claramente en la imagen térmica para que pueda ser reemplazada. Típicamente, cuando los componentes mecánicos se desgastan y son menos eficientes, el calor disipado aumentará. En consecuencia, la temperatura de los equipos o los sistemas defectuosos aumentarán rápidamente y se podría detectar diferentes fallas.



Termografía a rodillo (derecha) se aprecia rodamiento sobrecalentado

Figura 3. 23 Inspección a estructura mecánica

Fuente: (AETIR, 2011)

En las instalaciones mecánicas se evalúan sistemas de climatización, protección contra incendios, se analiza el estado de los componentes, posibles obstrucciones en cualquier válvula, depósitos de sedimentos en tuberías provenientes de restos de soldaduras, etc.

Otros aspectos de inspección termográfica incluyen a motores eléctricos. Las fallas del motor, como el desgaste por contacto con la escobilla y los cortocircuitos de la armadura, generalmente producen un exceso de calor antes de la falla, pero no se detectan con el análisis de vibración, ya que a menudo causa poca o ninguna vibración adicional. Por consiguiente, la imagen térmica ofrece una visión general completa y le permite comparar la temperatura de diferentes motores.

Otros sistemas mecánicos monitoreados con cámaras de imagen térmica incluyen acoplamientos, cajas de engranajes, cojinetes, bombas, compresores, correas, sopladores y sistemas de transporte.

Ejemplos de fallas mecánicas que pueden detectarse con imágenes térmicas son:

- Problemas de lubricación.
- Desalineaciones
- Motores sobrecalentados.
- Rodillos sospechosos
- Bombas sobrecargadas
- Ejes del motor sobrecalentados.
- Rodamientos en caliente



Figura 3. 24 Ejemplo de problema del rodamiento de un motor eléctrico

Fuente: (AETIR, 2011)

Estos y otros problemas pueden detectarse en una etapa temprana con una cámara de imagen térmica. Esto ayudará a evitar daños costosos y garantizar la continuidad de la producción

3.10 Proceso de fabricación de alimento balanceado

La Planta BALMISA, elabora alimento balanceado (pellets) para aves y cerdos se encuentra en el kilómetro 8 de la vía Milagro- Mariscal Sucre, creada en el 2014, cuenta con una producción anual de 9000 sacos de 40 Kilogramos. Sus clientes mayormente son personas que se dedican a la avicultura y porcicultura (en Mariscal Sucre y recintos aledaños).

La figura 3.25 muestra el esquema en bloque de áreas funcionales de la planta.

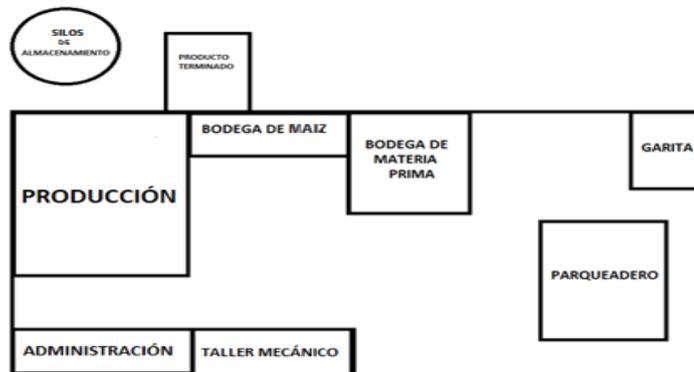


Figura 3. 25 Esquema de planta BALMISA

Fuente: El autor

El detalle de materias primas para elaborar balanceado, se muestra en la tabla 3.2

Tabla 3. 2 Materia prima para balanceado de aves y cerdos

MATERIA PRIMA	ORIGEN	APORTE
aceite de palma	vegetal	Energía
azufre	mineral	Azufre
carbonato de calcio	mineral	Calcio
cloruro de potasio	mineral	potasio
destilado de maíz	vegetal	proteína
forraje de maíz	vegetal	proteína
fosfato monodicalcico	mineral	fosforo y Ca
frijol soya extruido	vegetal	energía
grasa sobrepasante	industria	energía
harina de arroz	vegetal	energía
harina de maíz	vegetal	energía
harina de maíz alta en fibra	vegetal	energía y fibra
harina de pescado	animal	Proteína
harina de trigo de 3ra	vegetal	Energía
leche en polvo	animal	Proteína
maíz amarillo	vegetal	Energía
maíz extruido	vegetal	Energía
melaza	vegetal	Palatibilidad
sal de mar	mineral	Sodio
sal extra seca	mineral	Sodio
salvado de trigo	vegetal	Fibra
semilla de algodón	vegetal	Energía
suero	animal	Proteína
torta de palmiste	vegetal	Proteína
torta de soya	vegetal	Proteína
trigo forrajero	vegetal	Proteína
urea	mineral	Proteína

Nota: (Nutritional biotechnology in the food industries, 2003)

Se describe el proceso de fabricación de balanceado en BALMISA.

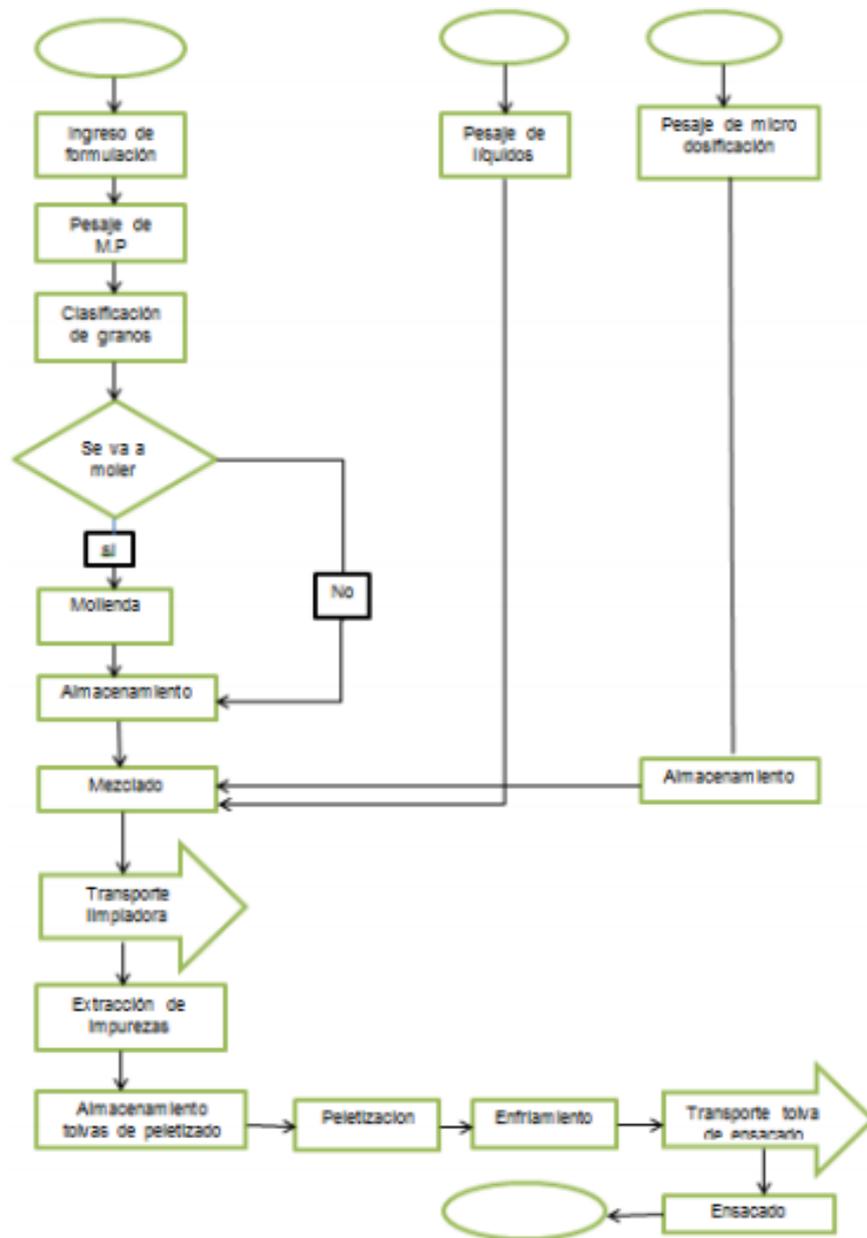


Figura 3. 26 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de Balanceado en BALMISA

Fuente: el autor

Cabe indicar que el Ingreso de formulación: es confidencial, y el personal de área de producción, debe vigilar que el personal utilice la fórmula del producto y que cuente con la cantidad exacta de las materias primas que se encuentran en tolvas o en silos. En la tabla 3.3 se resume procesos del diagrama de flujo de fabricación de alimento balanceado.

Tabla 3. 3 Resumen de procesos básicos en fabricación del balanceado

Fase	Breve Descripción	Observaciones
Recepción de Materia Prima	Las distintas materias primas que llegarían a la planta serían mediante camiones o sacos (maíz, harinas y demás materia prima).	El número de total de materia prima está relacionado con la fórmula que utiliza.
Almacenamiento	Luego de la recepción viene el almacenamiento dentro del galpón, o en el caso de maíz en los silos, los mismos que el cliente ya los compró e instaló con anticipación.	2 Silos ya instalados para el almacenamiento de maíz y tolva para almacenar harinas, etc.
Dosificación Manual	Algunas de las materias primas o vitaminas o micro ingredientes se pesan en balanzas de manera manual y luego las mismas son introducidas a la mezcladora.	El transporte luego de proceder a dosificar de manera manual es mediante balde.
Molienda	Es el primer procesamiento que sufren las materias primas, en la elaboración del alimento balanceado. Con el molino se pretende conseguir la granulometría adecuada de las partículas en tamaño.	Existen materias primas que por su presentación no se pueden agregar al molino.
Adición de Líquidos	Los líquidos en su mayoría agua es agregada mediante pequeños tubos impulsados mediante bombas.	
Mezclado	Es aquí donde se mezcla el producto molido con agua, vitaminas y demás líquidos.	Tiempo aproximado de mezclado: 5-6 minutos.
Despacho al granel	Luego de que el producto salga mezclado se transporta a las tolvas de despacho al granel para expender a los camiones graneleros que transportan el producto a las granjas (aves, cerdos) alrededores del cliente.	

Nota: elaborado por el autor

3.11 Reportes de fallas en motores eléctricos de la planta BALMISA

Se describe imágenes y descripción de fallo por problemas de la calidad de la energía eléctrica en la planta BALMISA. Desde el 2017 la planta ha tenido que cambiar o reponer 2 motores de 10 HP y uno de 25 HP.

3.11.1 Motor de Mezcladora averiado

Durante el mantenimiento se evidencia descomposición de la grasa ocasionada por el efecto de la distorsión armónica de Corriente $THD_{current}$ donde su efecto es la secuencia inversa e incremento de la temperatura además de las pérdidas Joule razón por la cual se solicita aumentar la frecuencia de reengrase de los elementos rodantes.



	Aplicaciones Especiales	Sistema General	Sistema Dedicado
THD de Voltaje	3%	5%	10%

Para un armónico individual el límite es 3% (Sistema General).

Nota: Si el voltaje es >600 VAC y <69 kVAC, el límite de THD es 5%.

Figura 3. 27 Reporte fotográfico y de medición de picos de tensión en motor de mezcladora

Fuente: el autor

Se indica que el reporte de falla lo efectuó una empresa contratada, la cual determinó que la causa del deterioro de rodamientos se debe por sobrecalentamiento del motor, y que las medidas de corriente y voltaje han presentado picos, evidenciándose la presencia de armónicos 5 y 7. Los mismos que son un peligro para la operación del motor.

3.11.2 Encoder y Motor de peletizadora averiados

Se muestra el estado defectuoso del motor de peletizadora además se evidencia que el encoder presenta vibración.

Se presenta constantes paralizaciones. Véase la figura 3.28 el encoder



Figura 3. 28 Encoder de peletizadora

Fuente: el autor

Este motor actualmente no está operativo, ha sido cambiado. En la figura 3,29 se muestra averías por falta de mantenimiento y mala calidad de energía eléctrica.

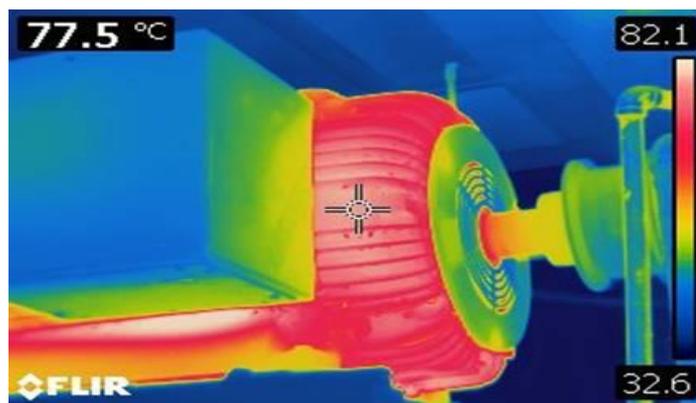


Figura 3. 29 Termograma de motor de peletizadora

Fuente: el autor

Se realiza medición de Shaft Voltaje en el eje del motor reliance Baldor de 25 Hp donde se evidencia voltajes entre 1200 y 2500 mili voltios, voltaje que se

encuentra fuera de la norma MG1 donde se establece que el máximo voltaje que puede soportar un rodamiento debe ser 300 mili voltios. A demás se muestra en la imagen térmica que actualmente que él motor se encuentra trabajando a 42 Hz, lo cual ocasiona un sobrecalentamiento del mismo por la falta de ventilación.

3.11.3 Motor Bomba de molino averiado

El Motor presentó degradación de grasa de elementos rodantes ocasionado por la circulación de corrientes parasitas. Además, presenta desgaste de los cojinetes. Véase en la figura 3.30 el motor de bomba que fue afectado por falta de mantenimiento y mala calidad de la energía en la planta.



Figura 3. 30 Motor de bomba molino

Fuente: el autor

3.11.4 Motor de zaranda averiado

El motor de la zaranda presentaba incremento en el desbalance resistivo y degradación por recalentamiento en la parte interna de las bobinas efecto que se evidencia en la RTG (resistencia a Tierra) y el Índice de Polaridad IP en la figura 3.31 se muestra el daño en estator del motor.



Figura 3. 31 Estator de motor de zaranda averiado

Fuente: el autor

En la figura 3.32 se muestra el termograma del motor de zaranda el cual tenía las chapas con alta temperatura, el motor luego entro a reparación.

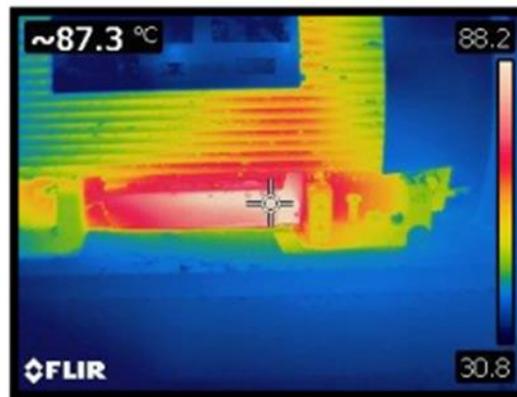


Figura 3. 32 Termograma de motor de zaranda con excesiva temperatura en chapas

Fuente: el autor

En la figura 3.32 se muestra daño por chapas abiertas, en el rotor las amplitudes se han elevado ocasionando incremento en la temperatura externa del motor por perdida de torque e incremento en la carga, se debe resaltar que el equipo se encuentra en condición de falla seria donde se necesita realizar el cambio del rotor o motor.

En el siguiente capítulo, se detalla la inspección termográfica en la planta BALMISA.

CAPÍTULO 4:

ANÁLISIS TERMOGRÁFICO

4.1 Máquinas para Balanceado

En la tolva se encuentran la fórmula con cantidad verificada por el personal del proceso, en la mezcladora se encuentra operando un motor asíncrono trifásico de 25 HP, además 2 metros de sinfín, el motor sinfín es de 10 HP.



Figura 4. 1 Tolva y mezcladora

Fuente: el autor

Algunas de las materias primas o vitaminas o micro ingredientes se pesan en balanzas de manera manual y luego las mismas son introducidas a la mezcladora. En la etapa de zarandeo existe un mecanismo que consta de un eje de 2 metros y coladores especiales, este sistema es útil para obtener polvos y partículas pequeñas tiene un sistema de transporte hacia un tanque donde es agregada una fórmula líquida y posteriormente se dirige a la etapa de mezclado. Es aquí donde se mezcla el producto molido con agua, vitaminas y demás líquidos.



Figura 4. 2 Proceso zarandeo y molido de materia prima

Fuente: el autor

El movimiento del sistema de mezclado se obtiene por el vaivén de dos cilindros los cuales son impulsados por 2 motores de 10 HP controlados por un accionamiento de velocidad variable.



Figura 4. 3 Motor Toshiba 10 HP en proceso de mezclado

Fuente: el autor

La etapa de peletización se compone del alimentador, la cámara de acondicionamiento o preacondicionamiento, y la misma peletizadora con sus otros componentes los rodillos, motor 25 HP y carcasa.



Figura 4. 4 Etapa de peletizado y envasado

Fuente: el autor

Luego de que el producto salga en pellets, se transporta a las tolvas de envasado al granel para ser llenado en sacos de 40 kilos y 20 kilos.

4.2 Inspección a tableros eléctricos

La inspección termográfica se efectuó un día laborable mientras se fabricaba el balanceado. Este procedimiento lo realiza una persona calificada (curso de termógrafo 1), una vez calibrado el equipo y de seguir pasos para obtener termogramas con puntos calientes de superficie del motor eléctrico, bombas, compresores etc, se deberá luego generar los reportes de los hallazgos y anomalías encontradas. En el anexo 1 se muestra un modelo de reporte de diagnóstico termográfico.

El centro de carga, principal tiene disyuntores o breakers de diferente capacidad (amperios) los cuales efectúan la operación de protección para sobrecargas de tensión. Véase la figura 4.5

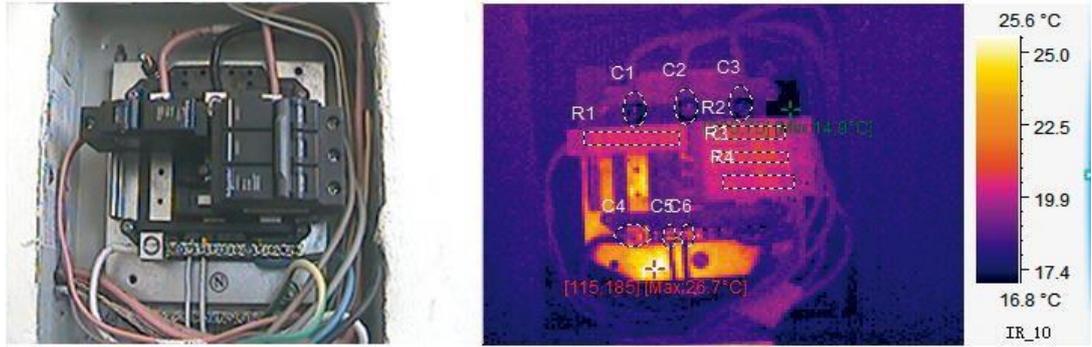


Figura 4. 5 Centro de carga o panel de breakers

Fuente. Autor

En la tabla 4.4 se muestran valores por el diagnóstico termográfico de la caja de breaker que deriva a protecciones, guardamotor del motor asíncrono trifásico de 1,2 kW.

Tabla 4. 1 Diagnóstico de la severidad de la caja de breaker motor 5 kW

Elemento	T(máx)	ΔT	Severidad
Breaker 20C QOvs 240V	20.9°C	1.8°C	Baja
Breaker 32C QOvs 240/415V	21.0°C	1.9°C	Baja

Fuente: Autor

A continuación, se detalla levantamiento termográfico a máquinas eléctricas rotatorias

4.3.1 Motor Banda transportadora #1



Localización	Bandas transportadoras
Equipo	Motor 10HP

Figura 4. 6 Motor de bandas transportadoras

Fuente. El autor

Diagnóstico por imágenes termograma

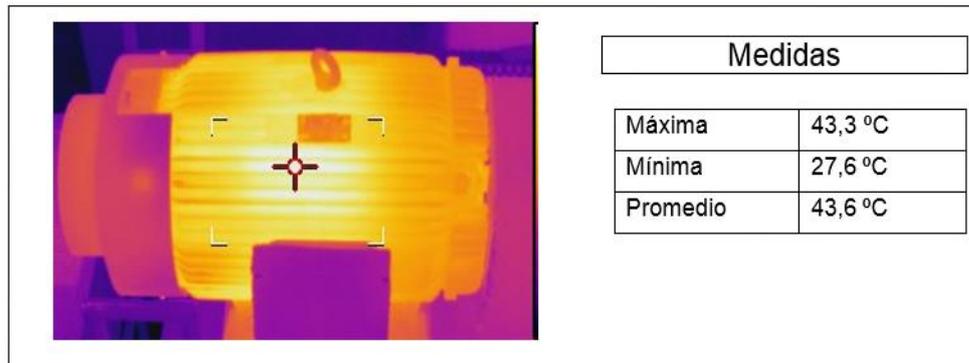


Figura 4. 7 Termograma

Fuente. El autor

Análisis:

- Localización de la falla: Núcleo del motor se observa más temperatura
- Clasificación del problema: Intermedio
- Causas del problema: Posible recalentamiento del motor, balanceo dinámico.
- Recomendaciones: efectuar un mantenimiento preventivo con respectivas pruebas, balanceo dinámico.

4.3.2 Motor Banda transportadora #2



Localización	Bandas transportadoras
Equipo	Motor 10 HP

Figura 4. 8 Motor de banda transportadora #2

Fuente. El autor

Diagnóstico por imágenes termograma

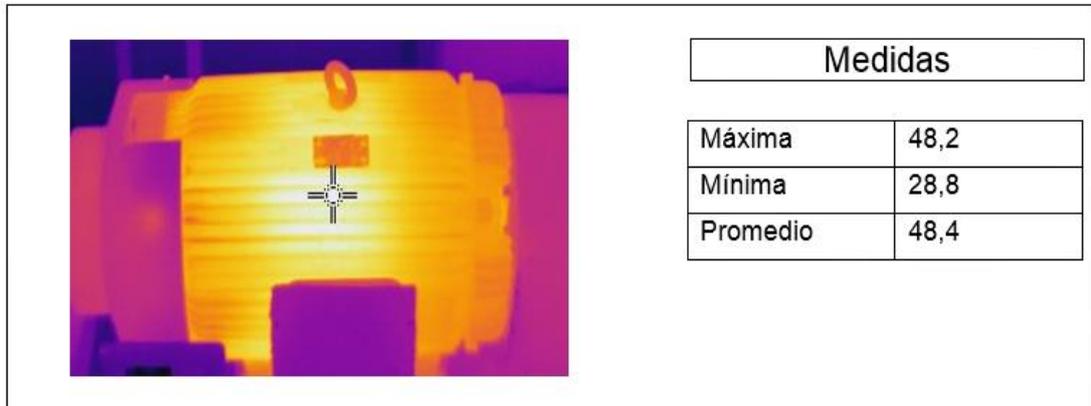


Figura 4. 9 Termograma

Fuente. El autor

Análisis:

Se observa que el motor está trabajando el vacío y la temperatura sigue ascendiendo. Pues, en la anterior figura se apreció que el motor estaba trabajando con carga y a bajas revoluciones. Por tanto, sigue mostrando el aumento de temperatura, esto puede producir un recalentamiento en el bobinado y por ello se recomienda que sea haga un mantenimiento predictivo con las siguientes pruebas: Prueba de estator y balanceo dinámico.

4.3.3 Motor de la Mezcladora



Localización	Motor 25 HP
Equipo	Mezcladora

Figura 4. 10 Motor de la mezcladora

Fuente. El autor

Diagnóstico por imágenes de termograma

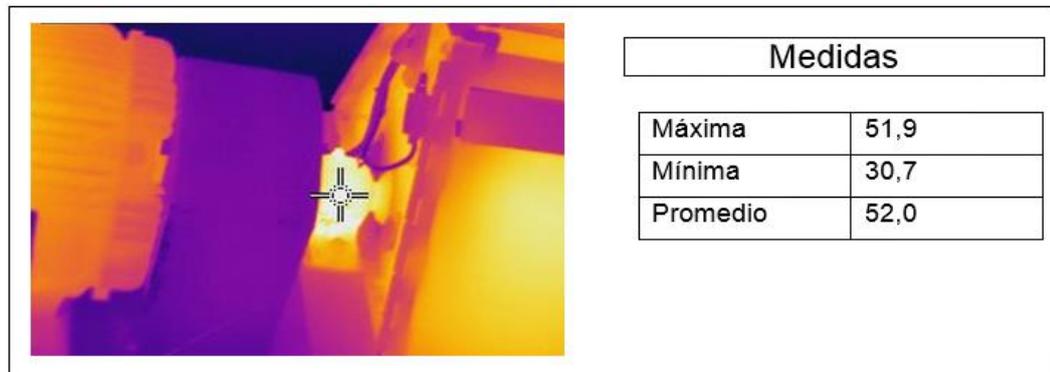


Figura 4. 11 Termograma

Fuente. El autor

Análisis:

- Localización de la falla: motor de mezcladora
- Clasificación del problema: Ligero
- Causas del problema: Verificación de alineación
- Recomendaciones: Verificación de alineación y engrasar la chumacera.

4.3.4 Motor de Peletizadora



Localización	Producción
Equipo	Peletizadora

Figura 4. 12 Motor de peletizadora

Fuente: El autor

Diagnóstico por imágenes de termograma

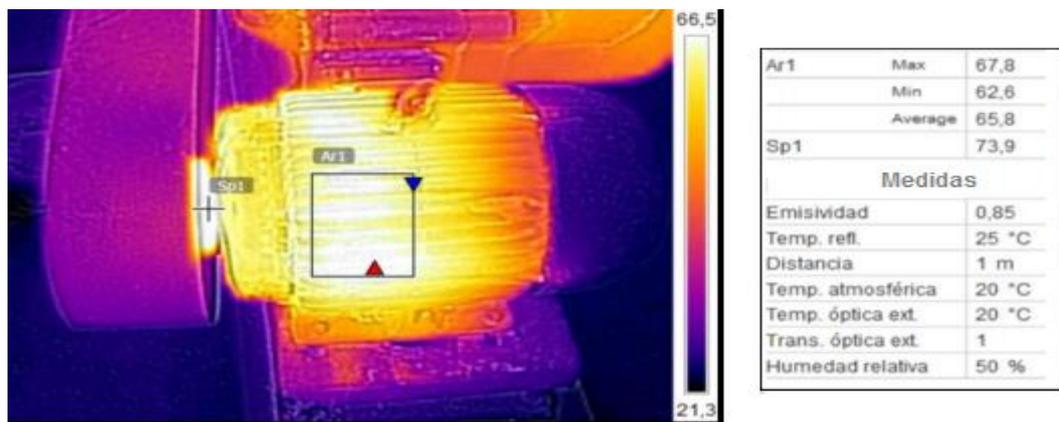


Figura 4. 13 Termograma

Fuente: El autor

Análisis

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

3.3.5 Motor de zaranda

El motor de la zaranda tiene año y medio instalado su potencia es de 25 HP y debido a que la energía de la planta presenta distorsiones de armónicos, el motor sufre calentamientos, el personal que realiza mantenimiento está pendiente de sus horas de trabajo.

En la figura 4.13 y 4.14 se muestra imagen del equipo y de su termograma respectivo.



Localización	Exteriores
Equipo	Zaranda

Figura 4. 14 Motor para zarandeo

Fuente: El autor

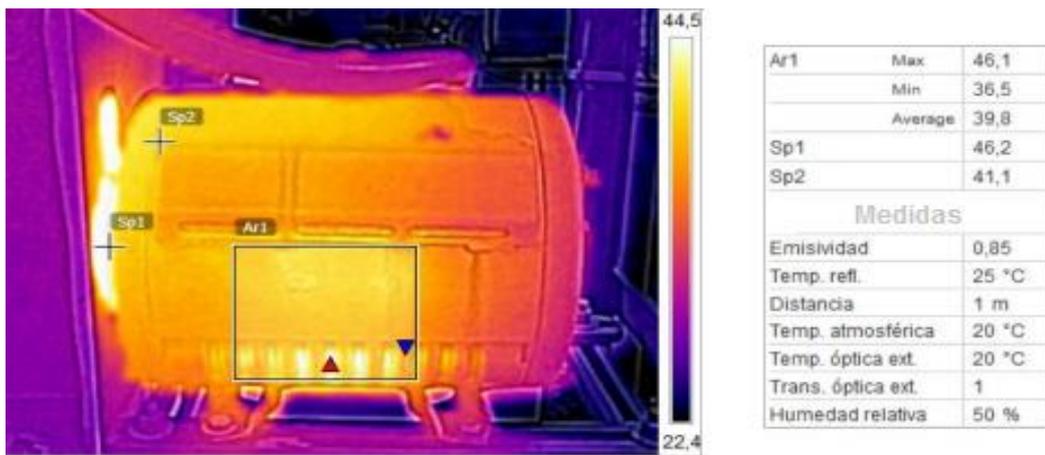


Figura 4. 15 Termograma

Fuente: El autor

Diagnóstico

En el análisis termográfico motor de la zaranda, tiene como aspecto que, el punto Sp1, muestra alta temperatura en referencia a la temperatura del resto del motor se concluye que es producto de un des alineamiento o por causas de un reajuste de bandas. En este lugar de trabajo del motor existe un

acrecentamiento de temperatura la cual sobrepasa la temperatura ambiente, por lo que se recomienda seguir el mantenimiento programado por la planta.

Se concluye que la termografía infrarroja se puede utilizar no solo para equipos eléctricos, sino también para detectar problemas mecánicos, estructurales u otros. Por lo tanto, el escaneo IR se recomienda como un procedimiento de mantenimiento programado regularmente para:

- Crear un patrón de línea base de motor para futuras comparaciones.
- Examinar si el motor está funcionando dentro del rango de temperatura nominal.
- Descubrir problemas de rodamientos, acoplamientos o conexiones.
- Detectar problemas de flujo de aire/enfriamiento.
- Verificar estado de correas, poleas y rodamientos en líneas transportadoras.

CONCLUSIONES

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

La termografía infrarroja es una herramienta que se ha utilizado cada vez más para el mantenimiento preventivo de sistemas mecánicos y eléctricos a lo largo del tiempo. Aprovecha las propiedades de la radiación infrarroja para extraer conclusiones útiles para el estado del equipo bajo prueba

El diagnóstico por termografía a motores eléctrico en la planta BALMISA, indica que apenas un motor eléctrico de 10 HP tiende a incremento de temperatura, hay un 70% de posibilidad de que suceda un desperfecto en el aislamiento por transferencia de calor.

Una conexión floja puede influir en elevar la temperatura y reducir la vida útil de los componentes y aislamientos de rodamientos de motores eléctricos, otro problema es la carga desigual de las anomalías resultantes de la fase o la interferencia a la red. Es decir, la calidad deficiente de la energía tiene efecto en las máquinas eléctricas de la planta.

La termografía aplicada a conocer operación de máquinas eléctricas de la planta BALMISA permite ahorrar esfuerzo y dinero en planes de mantenimiento correctivo.

El motor de la mezcladora debe tener un seguimiento para evitar se averíe ya que su temperatura superficial supera los 51,9° C.

Los estudios demuestran que un trabajo de reparación planificado toma solo una fracción del tiempo necesario para un trabajo no planificado.

RECOMENDACIONES

El escaneo infrarrojo se recomienda como un procedimiento de mantenimiento regular en todas las industrias.

Se recomienda que el plan de mantenimiento predictivo se apoye en equipos tecnológicos y software de mantenimiento para gestión de reportes, históricos de máquinas eléctrica, con el fin de solucionar fallas por:

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

Las imágenes térmicas o Termograma deben ser efectuadas por personal calificado. El manejo de equipos termográficos es una inversión no tan económica.

Se recomienda para un eficiente mantenimiento predictivo en el área de aplicaciones eléctricas, el análisis de vibraciones y las pruebas de ultrasonido pues pueden detectar signos de falla tempranos y ayudan a validar o complementar las imágenes térmicas.

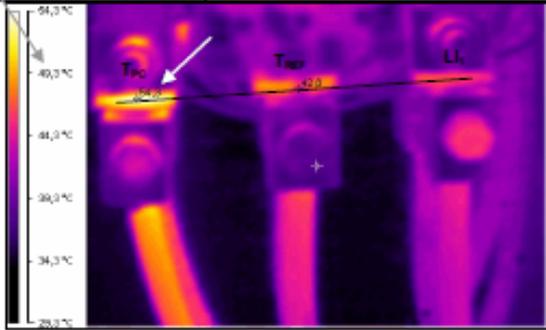
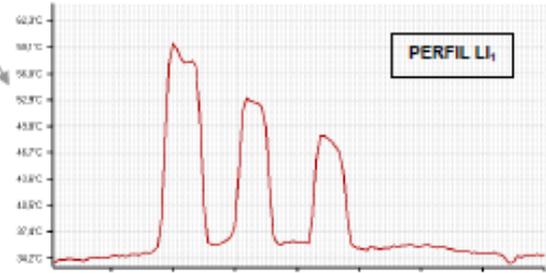
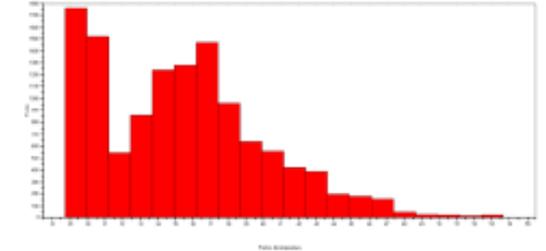
Se recomienda alcanzar valores que representan 50% menos por los costos de mantenimiento. Las fallas inesperadas deberían reducirse en un 55% menos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AETIR. (2011). *Guía de la termografía infrarroja*. Obtenido de Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética: <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015258.pdf>
- Blog monitoreo. (s.f.). *Termografía Infrarroja*. Obtenido de <https://monitoreocondicion.es.tl/Termograf%EDa-Infrarroja.htm>
- Burgueño, A., Mercadante, C., & Núñez, B. (2017). *Detección de excentricidad en máquinas de inducción*. Obtenido de <https://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2017/BMN17/BMN17.pdf>
- Ecured. (s.f.). *Espectro Infrarojo*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Espectro_infrarrojo#Espectroscop.C3.ADa_del_Infrarrojo_lejano
- Grupo Gaes. (2017). *Motores eléctricos*. Obtenido de <http://www.grupogaes.com/productos/motor-reductor/motores-electricos>
- Inarquia. (2018). *Calefacción por Infrarrojos*. Obtenido de <https://inarquia.es/calefaccion-infrarrojos-dudas-opiniones>
- ITALTEC. (2015). *Espectrómetro XRF portátil para elementos ligeros*. Obtenido de <http://italtec.es/analizzatore-xrf-portatile-per-elementi-leggeri/>
- Muñoz, J. (2013). *Máquinas Eléctricas Asíncronas*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/jorgemunozv/maquinas-asincronas>
- Nextews. (2015). Obtenido de <http://es.nextews.com/ff54229a/>
- Osmanbasic, E. (2017). *Motor Asíncronos y Síncronos*. Obtenido de <https://www.engineering.com/ElectronicsDesign/ElectronicsDesignArticles/ArticleID/15848/Three-Phase-Electric-Power-Explained.aspx>

- Palacios, J. (2015). *Análisis Termográfico*. Obtenido de <https://www.juanpalacios.es/wp-content/uploads/2015/12/servicio-analisis-termografico.pdf>
- PCE. (s.f.). *Termómetro infrarrojo PCE-IR 425*. Obtenido de <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-temperatura/termometro-infrarrojo-pce-ir425.htm>
- Peralta, G. (2009). *DIAGNOSTICO DE FALLAS EN MOTORES DE INDUCCIÓN*. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3559/Peralta%20Nu%C3%B1ez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Preditec. (2017). *Gúia de termografía para mantenimiento predictivo*. Obtenido de Cámara termográfica FLIR Serie E: <http://www.preditec.com/rep/63f6/pdf/374902/21/guia-para-el-mantenimiento-predictivo-por-inspeccion-termografica---pdf-2-mb?d=1>
- Siemens. (2010). *Motores/generadores de inducción*. Obtenido de Instalación, funcionamiento y mantenimiento .
- Tolocka. (2014). *Funcionamiento del motor asíncrono trifásico*. Obtenido de <http://www.profetolocka.com.ar/2014/10/23/motores-de-induccion-trifasicos-funcionamiento/>
- Traxco. (2016). *Problemas en motores eléctricos*. Obtenido de <https://www.traxco.es/problemas-de-motores-electricos/>
- Ventanas al Universo. (2005). *Radiación Infrarroja* . Obtenido de https://www.windows2universe.org/physical_science/magnetism/em_infrared.html&lang=sp

ANEXO 1: Modelo de informe termográfico a instalación eléctrica

SECCIÓN	EQUIPO	UBICACIÓN	
Lanzamiento	Armario 1	Fase L1 Seccionador	
FALLO			
Sobrecalentamiento cable fase			
HORA - FECHA	23:30:58		MEDIDAS
<p>Se utiliza para comparar las temperaturas de una línea que define una zona similar o comparable</p> 	Emisividad	0,9	
	Distancia	1 m	
	T _{MEDIA}	36,0°C	
	T _{MAX}	54,3°C	
	T _{MIN}	29,3°C	
	T _{AMB}	29,5°C	
	T _{PC}	54,3°C	
	T _{REF}	42,8°C	
T _{MED_{L1}}	39,22°C		
<p>Histograma puntos / temperatura</p> 			
	<p>ANALISTA</p> 		
<p>Calculado según lo explicado en el apartado 4</p> 	CÁLCULOS		ACCIÓN
	DIF _{SIM}	11,5°C	Probable Deficiencia
DIF _{AMB}	24,8°C	Deficiencia	
RECOMENDACIONES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Desconectar e inspeccionar áreas de contacto. 2. Limpiar conexiones y piezas de contacto. 3. Cambiar el tramo de conductor y demás piezas defectuosas. 4. Reconectar con ajuste de cargas adecuado. 			

Se adopta el criterio resultante más desfavorable



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Tapia Montero, Gino Omar** con C.C: # **0927737452** autor del trabajo de titulación: **Diagnóstico de Fallas en Máquinas Eléctricas de la Planta BALMISA por análisis de Termografía**, previo a la obtención del Título de **Ingeniero Eléctrico Mecánica** con mención en gestión empresarial industrial en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 14 Marzo del 2019

Tapia Montero, Gino Omar

C.C: 0927737452



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Diagnóstico de Fallas en Máquinas Eléctricas de la Planta BALMISA. por análisis de Termografía		
AUTOR(ES)	Tapia Montero, Gino Omar		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Luzmila Ruilova Aguirre		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Eléctrico-Mecánica		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico-Mecánica con mención en gestión empresarial industrial		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	14 de marzo del 2019	No. DE PÁGINAS:	92
ÁREAS TEMÁTICAS:	Máquinas eléctricas, Mantenimiento eléctrico, Mediciones eléctricas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Espectrometría Infrarroja, Termografía. Sistema Eléctrico, Mantenimiento Predictivo.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
El presente trabajo de titulación propone el uso de la termografía en un programa de mantenimiento predictivo para la planta BALMISA de la ciudad de Milagro, la cual permitirá monitorear la eficiencia térmica de máquinas eléctricas que dependen de la transferencia o retención de calor; equipo eléctrico; y otros parámetros que mejorarán tanto la confiabilidad como la eficiencia de los sistemas de la planta. La metodología empleada es descriptiva por cuanto detalla el método de análisis de sistema eléctrico y diagnóstico de fallos de motores a través del análisis de imágenes termográficas, emplea el método empírico por el manejo de equipamiento termográfico. Como resultado del trabajo se plantea un plan de mantenimiento predictivo apoyado con la técnica de diagnóstico por termografía.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTORES:	Teléfono: +593-4- (registrar teléfonos)	E-mail: (registrar los emails)	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Orlando Philco Asqui		
	Teléfono: +593-980960875		
	E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			