



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TEMA:

**Análisis termográfico del sistema de accionamiento eléctrico
en la avícola INAVISA, en la ciudad de Manta**

AUTOR:

Izquierdo Sócola, Ismael Alex

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniero Eléctrico-Mecánico con mención en Gestión
Empresarial Industrial**

TUTOR:

Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael

Guayaquil - Ecuador

15 de marzo 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 **Izquierdo Sócola, Ismael Alex**, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico-Mecánico con Mención en Gestión Empresarial Industrial.

TUTOR

Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael

DIRECTOR DE LA CARRERA

MSc. Heras Sánchez, Miguel Armando

15 de marzo 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Izquierdo Sócola, Ismael Alex**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Análisis termográfico del sistema de accionamiento eléctrico en la avícola INAVISA, en la ciudad de Manta**, 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.

15 marzo 2019

EL AUTOR

Izquierdo Sócola, Ismael Alex



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Izquierdo Sócola, Ismael Alex**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Análisis termográfico del sistema de accionamiento eléctrico en la avícola INAVISA, en la ciudad de Manta**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

EL AUTOR

Izquierdo Sócola, Ismael Alex

REPORTE URKUND

The screenshot displays the URKUND web interface. The main content area shows the following information:

- Documento:** TESIS FINAL-ALEX IZQUIERDO-18 FEB[1474].doc (D48132111)
- Presentado:** 2019-02-20 09:28 (-05:00)
- Presentado por:** orlandophilco_7@hotmail.com
- Recibido:** orlando.philco.ucsg@analysis.urkund.com
- Mensaje:** Fwd: TESIS ISMAEL IZQUIERDO [Mostrar el mensaje completo](#)

A yellow highlight indicates that 1% of the 43 pages are composed of text present in 1 source. To the right, a table titled 'Lista de fuentes' shows the following data:

Bloques	Porcentaje
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRIC...	100%
Estudio termográfico y análisis preventivo del sistema eléctrico y motores eléctricos en la proc...	75%
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRIC...	78%
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRIC...	68%
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRIC...	100%
Justificación	89%

Below the report, the document's metadata is displayed:

- INSTITUCIÓN:** FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
- CARRERA:** CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA
- TEMA:** Análisis termográfico del sistema de accionamiento eléctrico en la avícola INAVISA, en la ciudad de Manta
- AUTOR:** Izquierdo Sócola, Ismael Alex
- Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:** Ingeniero Eléctrico-
- Mención:** Mecánico con mención en Gestión Empresarial Industrial

Reporte Urkund del trabajo de titulación de Ingeniería Eléctrico-Mecánica, denominado: **Análisis termográfico del sistema de accionamiento eléctrico en la avícola INAVISA, en la ciudad de Manta**, del estudiante **Izquierdo Sócola, Ismael Alex** el cual está al 1% de coincidencias.

Atentamente,

Ing. Orlando Philco Asqui, MSc.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme permitido concretar y así culminar este trabajo de investigación. Al mismo tiempo, agradezco a mi querida familia por el apoyo incondicional y la comprensión, que sin su ayuda no hubiese podido tal vez, concretar este tan anhelado de graduarme como profesional.

A mi querida madre, por estar siempre presente, apoyándome directa e indirectamente y por haberse encomendado a Dios siempre, que me iluminara con su sabiduría y fortaleza.

Agradezco nuevamente a mi esposa, por la comprensión y apoyo incondicional, ya que he dedicado mucho tiempo a la elaboración de este trabajo, que sin su apoyo no hubiese podido lograr.

Asimismo, agradezco a mis profesores quienes me motivaron en todo el proceso.

Finalmente, agradezco a todas las personas que de una forma u otra estuvieron presentes, motivándome para lograr mi meta.

ISMAEL ALEX IZQUIERDO SÓCOLA

DEDICATORIA

Este Trabajo de Titulación, dedico de manera muy especial, a mi querida esposa **Johanna Jessenia Celi Delgado**, por su apoyo y comprensión constante para culminar la carrera y por ser el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional. Pues, sentó en mí, la base de responsabilidad y deseos de superación y su gran corazón me llevan a admirarla cada día más.

Gracias a Dios, por los logros alcanzados y por haber puesto en mi camino a ésta gran mujer.

ISMAEL ALEX IZQUIERDO SÓCOLA



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 O DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Orlando Philco Asqui, MSc.

COORDINADOR DE TITULACIÓN

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, MSc.

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	5
Índice de Figuras.....	XI
Índice de Tablas.....	XIV
RESÚMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
CAPÍTULO 1	2
GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN	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
MOTORES ELÉCTRICOS EN LA INDUSTRIA	5
2.1 El motor eléctrico.....	5
2.1.1 Potencia y par de un motor eléctrico.....	6
2.2 Clasificación de los motores eléctricos.....	6
2.2.1 Motores eléctricos DC.....	8
2.2.2 Motores eléctricos AC.....	13
2.2.2.1 Motores de inducción (<i>induction motors</i>).....	17
2.2.3 Motores Asíncronos	18
2.2.3.1 Clasificación de los Motores Asíncronos	18

2.2.3.2 Características de operación de los motores asíncronos:.....	20
2.2.4 Motores Síncronos.....	25
2.2.4.1 Características de operación de los motores síncronos.....	25
2.3 Motores de Doble Voltaje	25
2.4 Placa de un motor típico.....	29
CAPÍTULO III:.....	35
APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA.....	35
3.1 Espectro electromagnético	35
3.1.1 Distribución de energía	36
3.1.2 Emisividad	36
3.1.2.1 Valores de emisividad	37
3.1.2.2 Efectos de la emisividad.....	38
3.2 Imágenes térmicas	40
3.2.1 Cámaras térmicas en aplicaciones de mantenimiento predictivo	40
3.2.2 Fallas en Instalaciones Eléctricas.....	42
3.2.2.1 Incremento de resistividad por malos contactos	43
3.2.2.2 Perturbaciones debido a armónicos en el sistema eléctrico..	45
3.2.2.3 Normativa de termografía de tableros eléctricos.....	48
3.2.3 Inspección de equipos mecánicos	50
3.3 Producto comercial INAVISA.....	52
3.3.1 Granja de crianza de aves.....	54
CAPÍTULO 4:.....	56
ANÁLISIS TERMOGRÁFICO.....	56
4.1 Descripción de equipos mecánicos	56
4.2 Dispositivos mando, control y seguridad.	58

4.3 Diagnóstico termográfico de sistemas mecánicos y eléctricos.....	60
4.3.1 Análisis termográfico en la caja de breakers.	60
4.3.2 Análisis termográfico en elementos de seguridad.	61
4.3.3 Análisis termográfico de elementos de control.	63
4.3.4 Análisis termográfico de elementos de protección.....	65
4.3.5 Análisis Termográfico de Guarda Motor	66
4.4 Inspección Termográfico	67
4.4.1 Tablero Eléctrico para Zaranda	67
4.4.2 Tablero Eléctrico para Parapelles.....	69
4.4.3 Banco de Transformadores para Avícola.....	70
4.4.5 Tablero Eléctrico Compresor #1-100 Hp.....	73
4.4.6 Tablero Eléctrico Equipo # 1	75
Conclusiones.....	77
Recomendaciones.....	78
Bibliografía	79

Índice de Figuras

CAPÍTULO 2

Figura 2. 1 Motor eléctrico trifásico	6
Figura 2. 2 Clasificación de motores eléctricos DC según NEMA.....	7
Figura 2. 3 Partes principales de un motor DC	10
Figura 2. 4 Esquema de montaje general de un motor DC.....	10
Figura 2. 5 Partes del rotor de un motor DC	11
Figura 2. 6 Clasificación de motores eléctricos AC, según NEMA.....	14
Figura 2. 7 Partes del rotor de un motor AC	14
Figura 2. 8 Acoplamiento de estator en motor AC trifásico de inducción.....	15
Figura 2. 9 Rotor de un motor AC trifásico de inducción jaula de Ardilla	15
Figura 2. 10 Constitución de un motor de jaula de ardilla.	19
Figura 2. 11 Resumen de partes principales del motor asíncrono	20
Figura 2. 12 Detalle de operación de un motor asíncrono	22
Figura 2. 13 Tipo de conexión para arranque y sentido de giro para un motor asíncrono	23
Figura 2. 14 Métodos para arrancar un motor	23
Figura 2. 15 Curvas de operación y arranques estándares	24
Figura 2. 16 Variadores de velocidad	24
Figura 2. 17 Motor monofásico de doble voltaje conectado a 115 V y 230 V.....	26
Figura 2. 18 Motor trifásico de una tensión y doble tensión conectado en estrella.	27
Figura 2. 19 Motor trifásico de 2 voltajes conectado en estrella y conectado a 230 V y 460 V	27
Figura 2. 20 Motor trifásico conectado a delta tensión y doble tensión.....	28

Figura 2. 21 Motor trifásico de doble voltaje conectado a delta a 230 V y 460 V	28
---	----

Figura 2. 22 Placa de identificación de un motor eléctrico trifásico.....	29
---	----

CAPÍTULO 3

Figura 3. 1 Región infrarroja del espectro electromagnético.....	35
--	----

Figura 3. 2 Energía infrarroja y distribución en todo el espectro electromagnético.....	36
---	----

Figura 3. 3 Energía infrarroja reflejada en la superficie de un cuerpo.....	37
---	----

Figura 3. 4 Inspección de equipos eléctricos, utilizando la cámara termográfica.....	40
--	----

Figura 3. 5 Inspección a tuberías de fábrica	42
--	----

Figura 3. 6 Inspección de un sistema eléctrico.	43
--	----

Figura 3. 7 Casos de contactos eléctricos defectuosos	44
---	----

Figura 3. 8 Inspección de conectores	45
--	----

Figura 3. 9 Motor con sobrecarga de corriente	47
---	----

Figura 3. 10 Inspección de la caja de cojinetes	50
---	----

Figura 3. 11 Acoplamientos cuando hay desalineación	51
---	----

Figura 3. 12 Termografía a rodamiento de motor eléctrico	51
--	----

Figura 3. 13 Imagen termográfica de un motor eléctrico operando.....	52
--	----

Figura 3. 14 Producto marca INAVISA	52
---	----

Figura 3. 15 Granja para criar aves	54
---	----

Figura 3. 16 Procesos de planta de producción de carne de pollo	55
---	----

CAPÍTULO 4.

Figura 4. 1 Datos técnicos del motor.....	56
---	----

Figura 4. 2 Equipo reductor	57
-----------------------------------	----

Figura 4. 3 Bomba del proceso lavado	58
--	----

Figura 4. 4 Equipo extractor Marathon Electric y accionamiento por banda	58
Figura 4. 5 Centro de carga o panel de breakers.....	60
Figura 4. 6 Fusible y banco de condensadores	62
Figura 4. 7 Tarjeta electrónica de Variadores de frecuencia de motores asíncronos	63
Figura 4. 8 Relés, Breakers y Contactores	64
Figura 4. 9 Elementos de protección	65
Figura 4. 10 Guarda motor.....	66
Figura 4. 11 Tablero eléctrico de avícola	68
Figura 4. 12 Termograma	68
Figura 4. 13 Tablero eléctrico de avícola	69
Figura 4. 14 Termograma	70
Figura 4. 15 Banco de transformadores Avícola.....	71
Figura 4. 16 Termograma	71
Figura 4. 17 Banco de transformadores #2.....	72
Figura 4. 18 Termograma	73
Figura 4. 19 Tablero Eléctrico Compresor #1	74
Figura 4. 20 Termograma	74
Figura 4. 21 Tablero Eléctrico Equipo # 1	75
Figura 4. 22 Termograma	76

Índice de Tablas

CAPÍTULO 2

Tabla 2. 1 Resumen de los tipos de motores DC.....	12
Tabla 2. 2 Comparación de las características de los cuatro tipos de motores DC.....	12
Tabla 2. 3 Definiciones de los tres tipos de motores AC reconocidos por NEMA	16
Tabla 2. 4 Principio de funcionamiento de 3 tipos de motores AC según NEMA	16
Tabla 2. 5 Definiciones de motores AC de tipo inducción	17
Tabla 2. 6 Factores de potencia típicos en motores asíncronos.....	20
Tabla 2. 7 Valores de potencia de motores	31

CAPÍTULO 3

Tabla 3. 1 Valores de emisividad (sólo TI814).....	38
Tabla 3. 2 Acciones según Neta por valores de la temperatura	48
Tabla 3. 3 Valores de eficiencia nominal para motores trifásicos, con tensión nominal de hasta 600V, en porcentaje.....	49
Tabla 3. 4 Descripción de proceso para elaborar alimento de pollo en INAVISA.....	53

CAPÍTULO 4

Tabla 4. 1 Datos Motor trifásico	56
Tabla 4. 2 Datos técnicos del reductor.....	57
Tabla 4. 3 Componentes de mando y control	59
Tabla 4. 4 Diagnóstico de la severidad de la caja de breaker motor 5 kW ..	60
Tabla 4. 5 Diagnóstico de severidad de la resistencia de cemento	62
Tabla 4. 6. Diagnóstico de severidad del relé de estado solido	63

Tabla 4. 7 Diagnóstico de severidad del banco de seguridad de potencia ..	64
Tabla 4. 8 Diagnóstico de severidad del banco de seguridad de potencia	265
Tabla 4. 9 Diagnóstico de severidad del guarda motor.....	66
Tabla 4. 10 Resumen de severidad de los elementos inspeccionados.....	67

RESÚMEN

El presente trabajo de titulación plantea como objetivo principal, el análisis termográfico a máquinas eléctricas giratorias en la industria INAVISA de la ciudad de Manta, a través del diagnóstico termográfico a motores eléctricos, conexiones, bornes y puntos críticos por temperatura de motores eléctricos. De esa manera, se puede reducir costosas reparaciones o reposiciones de los mismos. Asimismo, la termografía puede proporcionar un diagnóstico rápido de los problemas en la puesta en servicio, la operación y el mantenimiento de máquinas eléctricas en una industria.

La metodología empleada es descriptiva por cuanto detalla el método de análisis de sistema eléctrico y diagnóstico de fallos de motores, a través de la termografía emplea el método empírico por cuanto se maneja equipo y software de diagnóstico termográfico. Como resultado del trabajo se expondrá estado de operación de motores eléctricos y transportadores mecánicos que utiliza la planta INAVISA de la ciudad de Manta.

Palabras Claves: Motor Eléctrico, Termografía, Sistema Eléctrico, Mantenimiento Predictivo.

ABSTRACT

The present work of titration raises like main objective, the thermographic analysis to rotating electrical machines in the industry INAVISA of the city of Manta, through the thermographic diagnosis to electrical motors, connections, terminals and critical points by temperature of electric motors. That way, you can reduce costly repairs or replacements of them. Also, thermography can provide a quick diagnosis of problems in the commissioning, operation and maintenance of electrical machines in an industry.

The methodology used is descriptive in that it details the method of electrical system analysis and motor failure diagnosis, through thermography it uses the empirical method as it handles equipment and thermographic diagnostic software. As a result of the work, the state of operation of electric motors and mechanical conveyors will be exposed using the INAVISA plant in the city of Manta.

Keywords: Electric Motor, Thermography, Electrical System, Predictive Maintenance.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

La Planta avícola INAVISA, ubicada en la ciudad de Manta desde hace más de una década, desarrolla la crianza y faenamiento industrializado de aves; pues, el procesamiento debe lograr las exigencias de competitividad y eficiencia para mejorar la comercialización. Es por aquello, que se requiere la disponibilidad y operación de sus motores eléctricos mayormente, ya que estas máquinas hacen girar otros componentes como, bandas transportadoras y otros mecanismos de transporte mecánico.

Cabe mencionar que el proceso de mantenimiento en la planta no es el adecuado, por aquello se pretende el diagnóstico planificado de mantenimiento en motores, para así proveer la disponibilidad, aumentando la operación y producción de aves. Por lo tanto, se desea reducir fallas imprevistas alcanzando así la optimización de la calidad y la disminución de costos de mantenimiento correctivo.

La termografía provee una técnica no muy costosa para reunir datos necesarios para determinar pérdidas de calor, debido a que en la industria la cuantificación de las pérdidas de calor es de relevancia, debido a la enorme cantidad de energía consumida en los procesos mecánicos, térmicos y eléctricos y al alto costo subsecuente de la energía desperdiciada.

A través del análisis termográfico se conocerá las condiciones de funcionamiento de la temperatura superficial, que dará una estimación aproximada de la temperatura interna del motor.

1.2 Justificación

La termografía puede proporcionar un diagnóstico rápido de los problemas en la puesta en servicio, la operación y el mantenimiento de procesos industriales. Se debe aprovechar las condiciones adecuadas y los mejores

métodos de uso para aplicar un procedimiento de diagnóstico termográfico. La tecnología infrarroja puede determinar o mostrar puntos críticos de temperatura superficial de tableros eléctricos y de las partes internas de motores, de tal manera que la maquina o las partes sometidas a demasiado esfuerzo mecánico, térmico y eléctrico pueden ser intervenido para mantenimiento predictivo. Este aspecto ahorra dinero, tiempo y esfuerzo.

1.3 Planteamiento del Problema

La planta INAVISA ubicada en el cantón Junín provincia de Manabí, posee una baja disponibilidad de las máquinas eléctricas en el proceso de elaboración y de valor agregado a la carne de pollo empaquetado. Las intempestivas paralizaciones afectan la productividad de la planta antes mencionada.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar mediante diagnóstico termográfico el sistema eléctrico y los motores eléctricos en la planta INAVISA de la ciudad de Manta.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Describir la operación del motor eléctrico
2. Identificar mediante termografía el estado del sistema eléctrico y motores de la planta INAVISA de la ciudad de Manta.
3. Evaluar el diagnóstico del sistema eléctrico y motores eléctricos de la planta INAVISA de la ciudad de Manta.

1.5 Metodología de investigación

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

Método descriptivo; Por cuanto se describe situaciones o contextos, es decir, detallar cómo son y se manifiestan las variables a estudiar (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010). Por consiguiente, se detalla cada uno de las máquinas y equipos en la planta INAVISA.

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

Analítico; Por cuanto aporta con la determinación del caso de estudio o lectura del diagnóstico termográfico en motores eléctricos, línea de transporte mecánico, tableros eléctricos de la planta INAVISA de la ciudad de Manta.

CAPÍTULO 2:

MOTORES ELÉCTRICOS EN LA INDUSTRIA

Se denomina 'motor eléctrico' al dispositivo que tiene la capacidad de transformar la energía eléctrica, en energía mecánica; es decir, que es capaz de producir movimiento, al convertir en trabajo la energía eléctrica proveniente de la red. El accionamiento eléctrico es un sistema apto para convertir la energía eléctrica en mecánica, de forma útil y controlando los parámetros implicados, como la velocidad, posición o par. En otras palabras, es un procedimiento capaz de transformar energía eléctrica en energía mecánica en movimiento manteniendo los controles del proceso de conversión, este método normalmente se utiliza para el accionamiento de máquinas en equipos que demandan movimiento controlado como velocidad de rotación de eje de una máquina de alto torque.

El accionamiento eléctrico actual está conformado regularmente por los siguientes componentes:

- Motor o convertidor de energía eléctrica en energía mecánica.
- Dispositivo electrónico: comando y controladores de potencia eléctrica que entrega el motor.
- Transmisión mecánica: adaptar a la velocidad de la inercia entre el motor, el eje y la carga. (Navarro, 2017)

2.1 El motor eléctrico

Un motor eléctrico consta de dos partes principales; una fija denominada Estator, y otra móvil denominada Rotor, las cuales se detallarán a continuación. Ambas están fabricadas con material ferromagnético (chapas magnéticas apiladas) y disponen de una serie de ranuras en las que se alojan los hilos conductores de cobre, que forman el devanado eléctrico. (Instituto de energía y termodinámica - UPB, 2015).



Figura 2. 1 Motor eléctrico trifásico

Fuente: (Traxco, 2016)

2.1.1 Potencia y par de un motor eléctrico

Se define a continuación un aspecto técnico de potencia mecánica en los motores, esta se mide en caballos de fuerza (HP) o Kilowatts, unidades de medidas que cuantifican la cantidad de trabajo que dicha máquina eléctrica es capaz de efectuar en un periodo específico de tiempo. Dos factores importantes que determinan la potencia mecánica en los motores son: *el par y la velocidad de rotación.*

El par es una medida de la fuerza que tiende a producir la rotación, se mide el Libras-pie o Newton-metro. La velocidad del motor se establece comúnmente en revoluciones por minuto (RPM). La relación entre la potencia, el par y la velocidad se da por la siguiente expresión:

$$Potencia = Velocidad \times Par \quad (2.1)$$

2.2 Clasificación de los motores eléctricos

De acuerdo a la naturaleza de la corriente eléctrica existen dos tipos de motores eléctricos reconocidos por NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*): motores de corriente directa (DC) y motores de corriente alterna (AC).

En las figuras 2.2, se especifica la clasificación según el tipo de alimentación (corriente) eléctrica conforme con NEMA, de los motores eléctricos DC

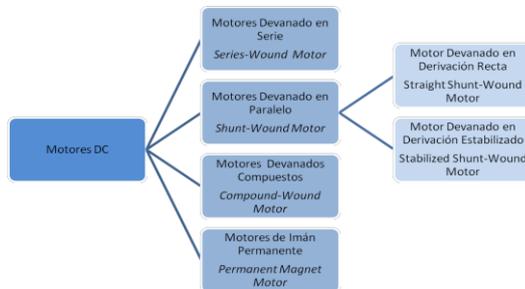


Figura 2. 2 Clasificación de motores eléctricos DC según NEMA

Fuente: El autor

A continuación, se describe cada uno de los motores DC.

- **Motor serie:** En un motor serie, como su nombre indica, el estator y el rotor se conectan en serie y la misma corriente pasa a través de ambos. En esta configuración, el par se incrementa en proporción al cuadrado del incremento de la corriente. Esta relación es verdad hasta que se alcanza la resistencia del motor, una condición conocida como saturación. Más allá de la saturación, cualquier incremento de carga es directamente proporcional al incremento de la corriente.
- **Motor Shunt:** En un motor shunt, los circuitos del rotor y el estator se conectan en paralelo. El par y la velocidad de estos motores son relativamente independientes de la carga. Consecuentemente, ajustando los controles de la resistencia del estator y la resistencia del campo magnético, se obtiene un control relativamente exacto de la velocidad del motor (Todo productividad, 2010).
- **Motor compuesto:** Un motor compuesto es una combinación de un motor serie y un motor shunt. Tiene dos ramales de circuitos básicos; una envolvente del circuito alrededor del estator, y el otro es un circuito serie que incluye tanto estator como rotor. Una característica de

operación clave de este tipo de motor es que puede manejar un incremento repentino de las cargas sin un gran cambio en la velocidad.

- Magnetismo permanente (PM): Los motores de magnetismo permanente dependen del magnetismo inherente de los materiales – tales como aleaciones de cobalto, níquel, acero y titanio – para crear un campo magnético con motores que pueden tener hasta 600 HP. Pueden construirse de varias formas diferentes, y en algunas versiones operan con corriente AC (Todo productividad, 2010). Sin embargo, la mayoría de los motores PM son de tipo DC sin escobillas. Un motor conmutado electrónicamente (ECM) es un tipo de motor sin escobillas que tiene control del par y velocidad. ECMs puede usar corriente alterna monofásica y convertirla en operación trifásica. Y ellos usan sensor de fuerza electromagnética para determinar la posición del rotor y realizar la función de conmutación. Debido a su diseño, ECMs no presentan el desgaste de escobillas y ruido asociado a los motores DC típicos.

Los motores PM tienen ciertas ventajas de rendimiento sobre los motores de inducción AC, especialmente en aplicaciones con amplias variaciones en carga y velocidad. Los motores PM pueden mantener eficiencias relativamente altas a cargas de motor bajas y, como otros motores DC, pueden producir alto par a bajas velocidades del motor. Ya que no requieren escobillas, usando motores PM pueden eludirse muchos problemas de mantenimiento normalmente asociados con los motores DC. Los avances de la tecnología de motores PM han hecho que este tipo de motores sean competitivos con la combinación frecuencia variable/motor de inducción, y por ello son de gran utilidad para desarrollar múltiples aplicaciones de eficiencia energética. (Todo productividad, 2010).

2.2.1 Motores eléctricos DC

Un motor DC está compuesto principalmente por el rotor (*armature*) y el inductor (*stator*) que a su vez se componen de:

- *Un imán fijo* que constituye el inductor (*stator*)
- *Un bobinado* denominado inducido que es capaz de girar en el interior del primero, cuando recibe una DC.
- *Escobillas (brush assembly)* cuya función es la de transmitir la corriente proveniente de la fuente DC al colector o conmutador. Las escobillas son de grafito, material menos duro que el del conmutador, con el fin de evitar el desgaste del mismo. Debido a que el acercamiento de las escobillas al conmutador debe ser continuo para evitar las chispas entre una conmutación y otra, las escobillas poseen un sistema de resortes que proveen la presión suficiente para generar un contacto adecuado entre estas y el conmutador. Hace parte de la estructura (*frame*).
- *El colector o conmutador (commutator)* es un conjunto de láminas (delgas) que van montadas sobre el rotor, separadas entre sí y del eje por medio de materiales aislantes para evitar el contacto eléctrico con estos. Su función es la de mantener la corriente que viene de las escobillas en un flujo unidireccional y comunicándola de esta manera al inducido.
- *Eje (shaft)* Es la parte móvil del rotor y sobre el que van montados: el inducido, el colector o conmutador y el núcleo del inducido. Para facilitar su movimiento giratorio está soportado sobre cojinetes.

En la figura 2.3 se pueden observar las partes principales de un motor DC.

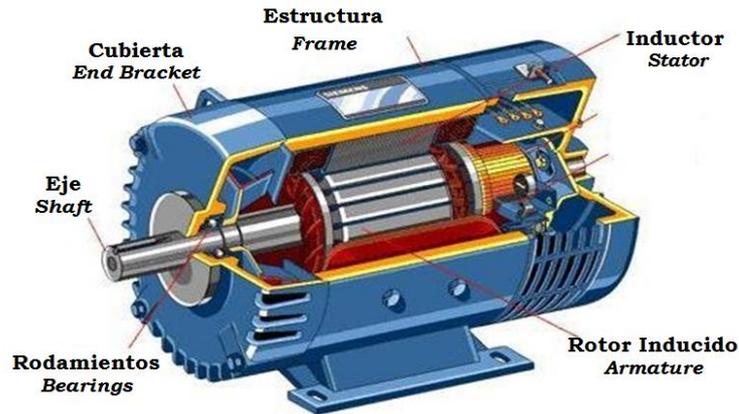


Figura 2. 3 Partes principales de un motor DC
Fuente: (SIEMENS, 2010)

Ordinariamente los motores DC poseen la disposición de montaje que se muestra en la figura 2.3, donde es posible considerar las dos partes más importantes del motor DC que son el rotor (*Arm*) y el inductor (*stator*).

También se observa en la figura 2.4 el montaje general de un motor DC, uno de los polos (*pole*) del imán que poseen este tipo de motores y que es el responsable del campo magnético. Además, se ve la forma mecánica en la que las escobillas entran en contacto con las delgas del conmutador que gira con el rotor y se esquematiza de manera sencilla los resortes usados con el fin de mejorar el contacto y evitar las chispas por mal contacto entre el conmutador y el rotor.

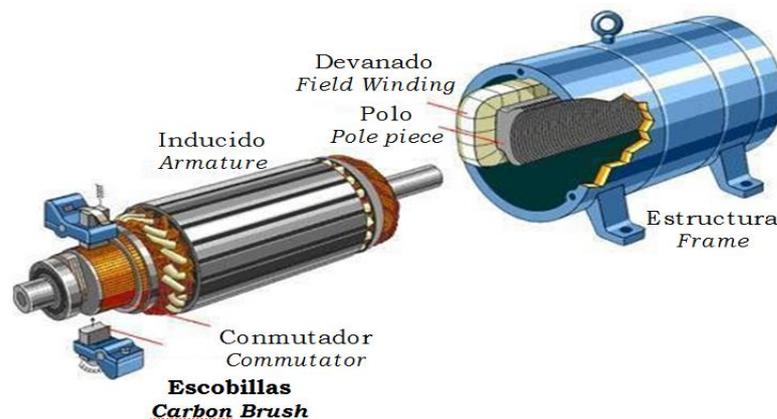


Figura 2. 4 Esquema de montaje general de un motor DC
Fuente: (SIEMENS, 2010)

En la figura 2.5 muestran las partes del rotor de un motor DC. Como así también, el núcleo laminado (*core*), cuya función es alojar el devanado que constituye en inducido. De igual manera, se observa otras partes de las que se mencionaron anteriormente, como su estator que junto con el rotor constituye el circuito magnético o núcleo del motor.

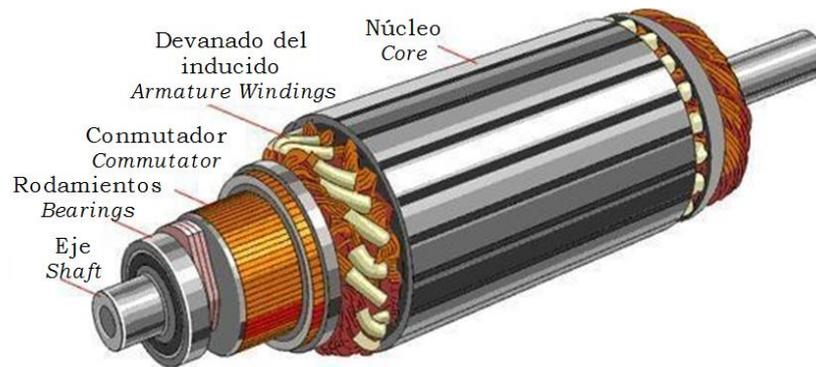


Figura 2. 5 Partes del rotor de un motor DC

Fuente: (SIEMENS, 2010)

Para el soporte mecánico, la protección contra la abrasión y el aislamiento eléctrico adicional, los revestimientos de ranura no conductores a menudo se encajan entre las bobinas y las paredes de la ranura. En un extremo del motor están los cepillos y los terminales. Están en el extremo opuesto a donde el rotor sale de la carcasa del motor. Los cepillos envían una corriente eléctrica al conmutador y, por lo general, están hechos de grafito. Los terminales son los lugares donde la batería se conecta al motor y envía la corriente para hacer girar el rotor.

Los motores DC a su vez se subdividen en motor de excitación en serie (*series-wound motor*), motor de excitación en paralelo (*shunt-wound motor*), motor de excitación compuesta (*compound-wound motor*) y motor de imán permanente (*permanent magnet motor*).

Las características de estos motores se presentan en las tablas 2.1 y 2.2.

Tabla 2. 1 Resumen de los tipos de motores DC

Motor Excitación en Serie (Series-Wound Motor)	Motor Excitación en Paralelo (Shunt-Wound Motor)	Motor Excitación Compuesto (Compound-Wound Motor)	Motor de Imán Permanente (Permanent magnet Motor)
Es un tipo de motor eléctrico DC en el cual el inducido (<i>Arm</i>) y el devanado inductor o de excitación (bobinas de campo o <i>field</i>) van conectados en serie. Si esta se desconecta de los bornes de salida del motor, quedará interrumpido el circuito de excitación y por lo tanto no se producirá en el inducido tensión alguna.	Es un motor eléctrico DC cuyo bobinado inductor principal (<i>field</i>) está conectado en derivación o paralelo con el circuito formado por los bobinados inducido (<i>Arm</i>) e inductor auxiliar.	Es un motor eléctrico DC cuya excitación es originada por dos bobinados inductores independientes (<i>field</i>); uno dispuesto en serie (<i>series field</i>) con el bobinado inducido (<i>Armature</i>) y otro conectado en derivación (<i>shunt field</i>) con el circuito formado por los bobinados inducido, inductor serie e inductor auxiliar. Pueden ser de campo en derivación corto o largo (<i>Shunt field short or long</i>).	El suministro DC está conectado directamente a los conductores de la armadura (<i>Arm</i>) mediante las escobillas. El campo magnético principal es producido por imanes permanentes (PM) (<i>permanent magnets</i>) montados en el estator. Pero tienen la desventaja de ser susceptibles a la desmagnetización por cargas de choque eléctricas o mecánicas.

Nota: el autor

Tabla 2. 2 Comparación de las características de los cuatro tipos de motores DC

Regulación de Velocidad	Control de Velocidad	Par de Arranque	Par Límite	Aplicaciones
Motor de Excitación en Serie (Series-Wound DC Motor)				
Varía inversamente con la carga. Marcha en cargas bajas y plena tensión.	Cero a máximo dependiendo del control de la carga.	Alto. Varía con el cuadrado del voltaje. Limitado por la conmutación, el calentamiento y la capacidad de la línea	Alto, limitado por la conmutación, calentamiento y capacidad de la línea.	Cuando alto torque es requerido y la velocidad puede ser regulada. Grúas, montacargas, puentes y motores de arranque.
Motor de Excitación en Paralelo (Shunt-Wound DC Motor)				
Pérdidas del 3 al 5% desde no carga a carga plena.	Cualquier rango decidido dependiendo del diseño del motor y del tipo de sistema.	Bueno con campos constantes, es directamente proporcional a la tensión aplicada a la armadura.	Alto, limitado por la conmutación, calentamiento y capacidad de la línea.	Cuando se necesita velocidad constante y el par de arranque no es severo. Ventiladores, bombas, sopladores y transportadores.

Motor de Excitación Compuesta (Compound-Wound DC Motor)				
Pérdidas del 3 al 20% desde no carga a carga plena. Dependiendo de la cantidad de composición.	Cualquier rango decidido dependiendo del diseño del motor y del tipo de sistema.	Tan grande como los Shunt, dependiendo de la cantidad de composición.	Alto, limitado por la conmutación, calentamiento y capacidad de la línea.	Cuando se requiere alto par de arranque combinado con velocidad completamente constante. Bombas de émbolo, prensas punzonadoras, cizallas, ascensores engranajes, cintas transportadoras, elevadores.
Motor de Imán Permanente (Permanent Magnet DC Motor)				
	Su velocidad puede ser cambiada mediante el ajuste de la tensión de alimentación.		Alto, limitado por la conmutación, calentamiento y capacidad de la línea.	Cuando se requiere una cantidad baja de carga. Usados para control de velocidad y de posición.

Nota: el autor

Los motores de CC sin escobillas están disponibles hoy en día, principalmente como resultado de la llegada de los circuitos de control de semiconductores necesarios para operarlos, y la disponibilidad de imanes permanentes de alta calidad. Los motores de CC sin escobillas no requieren escobillas ni conmutadores físicos y, por lo tanto, tienen una mayor vida útil. También superan las limitaciones de velocidad de las versiones con escobillas.

2.2.2 Motores eléctricos AC

Un motor de CA usa corriente alterna; por consiguiente, la dirección del flujo de corriente cambia periódicamente. En el caso de la CA común, el flujo cambia de dirección 120 veces por segundo. Esta corriente se conoce como "60 ciclos" o "60 Hertz.

Los motores eléctricos son los más comunes usados en la industria y es el motor que posee tres fases de inducción (véase la figura 2.6). Además, se

puede ver en la figura la clasificación de los motores eléctricos AC, según NEMA.

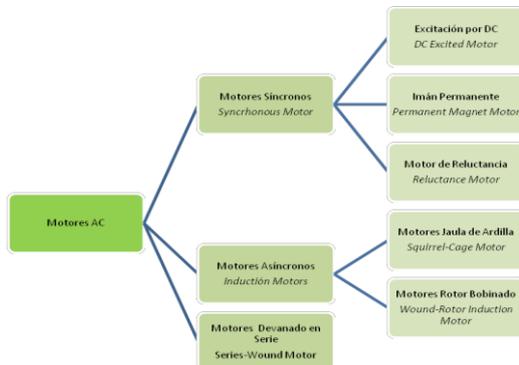


Figura 2. 6 Clasificación de motores eléctricos AC, según NEMA

Fuente: El autor

Este tipo de motores posee tres partes principales: el rotor, el estator (*stator*) y el recinto (*enclosure*) o carcasa. Pueden verse las tres partes mencionadas en la figura 2.7

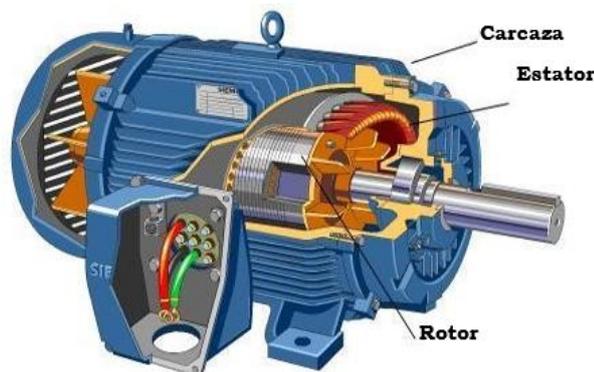


Figura 2. 7 Partes del rotor de un motor AC

Fuente: (SIEMENS, 2010)

El estator es la parte fija del circuito electromagnético del motor. El núcleo del estator (*stator core*) dispone de muchas hojas de metal delgado, llamadas láminas, que se manejan para reducir las pérdidas de energía que se conseguirían si se utiliza un núcleo sólido. Puede verse la forma del estator en la figura 2.8(a). Las láminas del estator se apilan formando un cilindro hueco. Bobinas de cable aislado se insertan en las ranuras del núcleo del estator.



Figura 2. 8 Acoplamiento de estator en motor AC trifásico de inducción

Fuente: (SIEMENS, 2010)

Cuando el motor está en operación, los bobinados del estator están conectados directamente a la fuente de alimentación. Cada grupo de bobinas, junto con el núcleo de acero que rodea, se convierte en un electroimán, cuando se aplica la corriente. El electromagnetismo es el principio básico de funcionamiento del motor. Pueden verse los bobinados del estator en la figura 2.8 (b).

El rotor es la parte giratoria del circuito electromagnético del motor. El tipo más común de rotor utilizado en un motor de inducción de tres fases es un rotor de jaula de Ardilla. El núcleo de un rotor de jaula de ardilla se hace por apilamiento de finas láminas de acero (ver figura 2.9) para formar un cilindro.



Figura 2. 9 Rotor de un motor AC trifásico de inducción jaula de Ardilla

Fuente: (SIEMENS, 2010)

En lugar de usar rollos de alambre como conductores, se usan barras conductoras en las ranuras equidistantes entre sí alrededor del cilindro. La mayoría de los rotores de jaula de ardilla son hechos en fundición de aluminio para formar las barras conductoras. Después de la fundición a

presión, las barras conductoras del rotor son mecánicamente y eléctricamente conectado con anillos extremos. El montaje se presiona sobre un eje de acero para formar un conjunto rotor.

Tres clases de motores eléctricos AC son reconocidos por NEMA de acuerdo a la naturaleza de la corriente eléctrica: motor AC de inducción (*induction AC motor*), motor AC síncrono (*synchronous AC motor*) y motor AC de arrollamiento en serie (*series-wound AC motor*). Las definiciones se presentan en la tabla 2.3.

Tabla 2. 3 Definiciones de los tres tipos de motores AC reconocidos por NEMA

Motor de Inducción <i>Induction Motor</i>	Motor Síncrono <i>synchronous Motor</i>	Motor Arrollamiento en Serie <i>Series-Wound Motor</i>
Una máquina de inducción en la que el estator se conecta a la fuente de energía, y un devanado polifásico secundario o un devanado en jaula de Ardilla secundario en el otro miembro (usualmente el rotor) lleva corriente inducida.	Son máquinas eléctricas cuya velocidad de rotación n (RPM) está vinculada rígidamente con la frecuencia f de la red de AC, con la cual trabaja, de acuerdo con la expresión: $n = 60 f / p$ Donde p es el número de pares de polos del motor.	Es un motor de conmutador donde el inductor y el inducido están conectados en serie.

Fuente: El autor

En la tabla 2.4 se exponen los principios operativos de diferentes tipos de motores de AC.

Tabla 2. 4 Principio de funcionamiento de 3 tipos de motores AC según NEMA

Motor de Inducción o Asíncronos <i>Induction Motor</i>	Motor Síncrono <i>synchronous Motor</i>	Motor Arrollamiento en Serie <i>Series-Wound Motor</i>
Al circular una AC por el estator, en el que se generará un campo magnético que inducirá una FEM en el circuito del rotor y hará circular una corriente inducida en este, produciéndose un par de fuerzas que al final representará su rotación.	Similar a motor con rotor de jaula de ardilla. Además de las barras del rotor, devanados de bobina también se utilizan. Los devanados de bobina están conectados a una fuente DC de alimentación externa mediante anillos colectores y escobillas. Se aplica DC a las bobinas del	La polaridad magnética instantánea de la armadura y el rotor se oponen. Esto significa que el motor girará. Al invertir la corriente, se invierte la polaridad de la entrada (estator). Pero este aún opone a

<p>A mayor carga el rotor irá más despacio que el campo magnético del estator, perdiendo velocidad respecto de la velocidad de sincronismo, por lo tanto aparece un deslizamiento que es la diferencia entre la velocidad de sincronismo y la velocidad real del motor que depende a su vez de la carga del mismo.</p>	<p>rotor después de que el motor se ha acelerado. Esto produce un fuerte campo magnético con polaridad fija en el rotor. El campo magnético del estator atrae al campo magnético fijo del rotor y ambos giran a la misma velocidad estableciéndose la velocidad de sincronismo sin ocurrir deslizamiento.</p>	<p>la polaridad magnética de la armadura (rotor). Esto se debe a la inversión afecta a la armadura y el campo por estar estos conectados en serie. La entrada de CA hace que estas inversiones tengan lugar de forma continua y el motor sigue girando en la misma dirección.</p>
--	---	---

Fuente: El autor

2.2.2.1 Motores de inducción (*induction motors*)

NEMA reconoce dos subclasificaciones de motores eléctricos de tipo inducción, los cuales son: motores jaula de ardilla (*squirrel-cage induction motors*) y motores de rotor bobinado (*wound-rotor induction motors*). A continuación, se describen las definiciones en la tabla 2.5.

Tabla 2. 5 Definiciones de motores AC de tipo inducción

<p>Motor Jaula de Ardilla <i>Squirrel-Cage Induction Motor</i></p>	<p>Motor de Rotor Bobinado <i>Wound-Rotor Induction Motor</i></p>
<p>Es un motor de inducción donde el circuito secundario (jaula de Ardilla) consiste de un número de barras conductoras teniendo sus extremos conectados por anillos metálicos o platos en cada extremo</p>	<p>Se llama así debido a que su bobinado está devanado en las ranuras. Está formado por paquetes de láminas troqueladas, montadas sobre el eje. Las bobinas se devanan sobre el eje y su arreglo depende del número de polos y de fases</p>

Fuente: El autor

2.2.3 Motores Asíncronos

Los motores asíncronos se basan específicamente en su funcionamiento en la creación de un campo magnético giratorio en el entrehierro, debido a la circulación de corriente alterna trifásica en el estator. (Instituto de energía y termodinámica - UPB, 2015)

El motor asíncrono, también llamado motor de inducción, es el tipo de motor más utilizado de todas las máquinas eléctricas rotativas y esto se debe a sus características constructivas, que lo hacen más económico y robusto. Pues, necesita de un menor mantenimiento que el resto de las máquinas. Sin embargo, por su gran uso en el entorno industrial, constituye un elemento clave en numerosos procesos críticos, por lo que resulta de especial interés conocer y saber identificar las averías típicas de este tipo de máquinas, así como los procedimientos predictivos que puedan guiar a una reducción de fallos imprevistos (Thomson, 2001).

Se entiende por entrehierro el espacio de aire que separa el estator del rotor. Por tanto, debe ser lo más reducido posible para minimizar los flujos de dispersión y reducir la reluctancia del circuito magnético, ya que el aire conduce mucho peor el flujo magnético que el hierro.

2.2.3.1 Clasificación de los Motores Asíncronos

Los motores asíncronos se clasifican en dos tipos de acuerdo a la forma constructiva del rotor.

- **Jaula de ardilla:** El rotor está compuesto por un conjunto de barras conductoras de cobre unidas en sus extremos por anillos.
- **Rotor bobinado:** Compuesto por un arrollamiento (devanado) introducido en ranuras similares a las del estator. Los extremos de cada fase se conectan a unos anillos colectores montados sobre el eje, aislados eléctricamente de él. Lo anterior, permite conectar al devanado rotórico resistencias adicionales externas para reducir la corriente de arranque. Una vez finalizado el periodo de arranque se cortocircuitan los anillos y se levantan las escobillas.

No obstante, el motor asíncrono suministra cualquier potencia, hasta los límites de su capacidad de sobrecarga. (Instituto de energía y termodinámica - UPB, 2015).

La figura 2.10 muestra los principales elementos de un motor de inducción tipo jaula de ardilla.

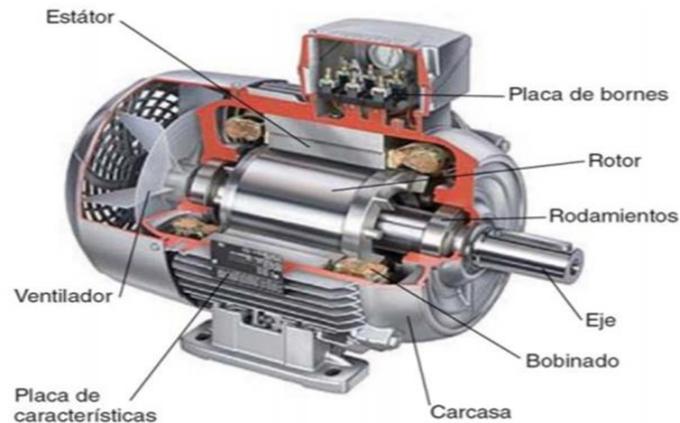


Figura 2. 10 Constitución de un motor de jaula de ardilla.

Fuente. (Wegnet, 2012)

La carcasa es la estructura que sirve como soporte del motor. Generalmente se construye de hierro fundido, acero o aluminio, ya que deben ser resistentes a la corrosión. También suele estar compuesta por aletas para permitir y/o facilitar un enfriamiento mucho más rápido del motor.

El núcleo magnético del estator está compuesto de chapas de acero magnético, con tratamiento térmico para reducir al mínimo las pérdidas del hierro. El devanado del estator está compuesto, generalmente, por tres bobinas con iguales características, usualmente una por fase, formando un sistema trifásico para conectarse a la red de suministro.

En máquinas de baja tensión y potencias no muy elevadas, este devanado está fabricado con hilo de cobre esmaltado y en grandes máquinas suele ser de pletina de cobre aislada con aislamientos del tipo micra-epoxi. En la figura 2.11 se hace un resumen del motor asíncrono.

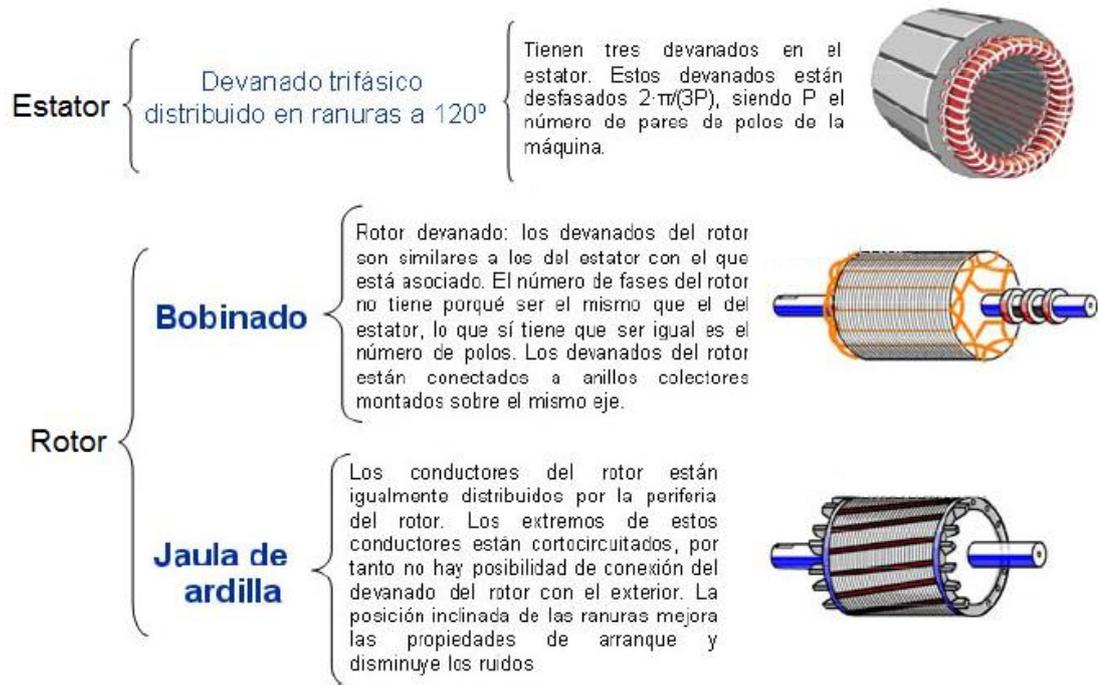


Figura 2. 11 Resumen de partes principales del motor asíncrono

Fuente: el autor

El Rotor está formado por otros tres elementos principales, cuales son: el eje, el núcleo de chapas; aparte de las barras y anillos de cortocircuito.

2.2.3.2 Características de operación de los motores asíncronos:

Entre las características de operación que se deben tener en cuenta en un motor asíncrono se encuentran:

- **Tensión:** En funcionamiento normal, se permiten fluctuaciones del orden de $\pm 5\%$ la tensión nominal, de tal forma que:
 $V \downarrow$: Mayor corriente en el rotor y el estator; Pérdidas \uparrow , Rendimiento \downarrow
 $V \uparrow$: Las corrientes reactivas (IR) \uparrow , pérdidas \uparrow , y el factor de potencia \downarrow
- **Factor de potencia (*fp*):** Los motores asíncronos presentan consumos de energía reactiva altos. Por lo tanto, presentan *fp* bajos. El *fp* tiende a mejorar a medida que aumenta la potencia y la velocidad del motor. Un ejemplo de ésta se presenta en la tabla 2.6.

Tabla 2. 6 Factores de potencia típicos en motores asíncronos

Potencia [kW]	Velocidad [r.p.m.]		
	3000	1500	1000
1,1	0,85	0,81	0,75
3,0	0,86	0,83	0,75
11	0,86	0,86	0,78
30	0,87	0,87	0,85
55	0,89	0,87	0,87

Fuente. (Instituto de energía y termodinámica - UPB, 2015)

En cambio, en la figura 2.11 se puede apreciar las características de algunas variables, entre ellas, el factor de potencia, en función del índice de carga del motor (P/P_n).

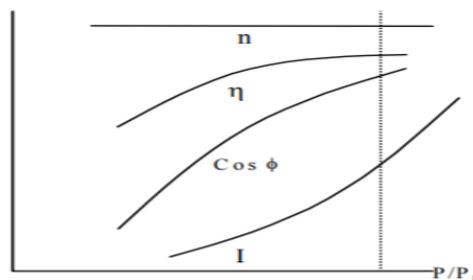


Figura 2. 11 Características típicas de motores asíncronos

Fuente. (Institution of Engineering and Technology (IET) , 2015)

- **Par motor:** es el instante de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia o, dicho de otro modo, la tendencia de una fuerza para girar un objeto alrededor de un eje, punto de apoyo, o de pivote. En la figura 2.12 muestra el principio de operación del motor asíncrono.

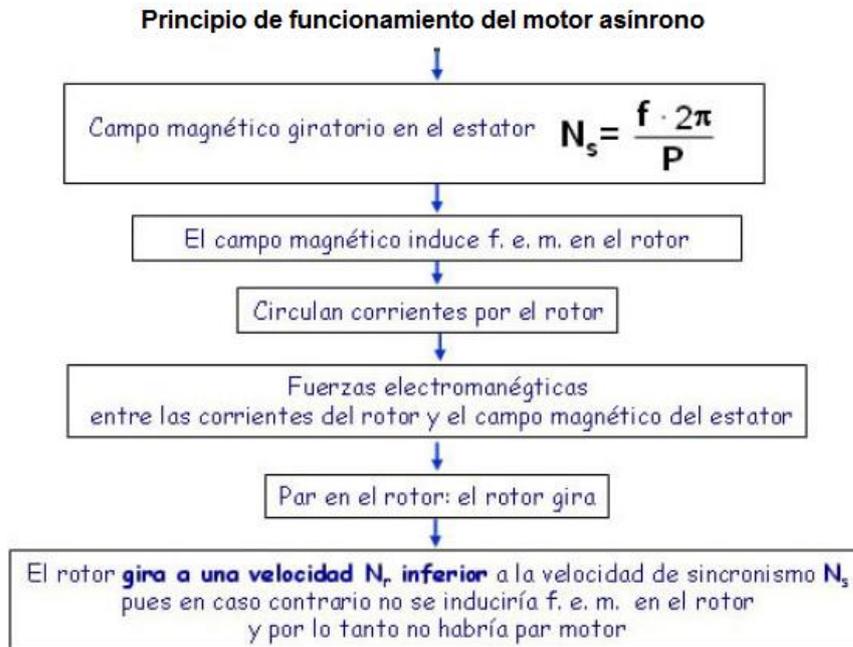


Figura 2. 12 Detalle de operación de un motor asíncrono

Fuente: el autor

A continuación, se especifican algunas recomendaciones y aspectos para escoger el motor, como establecer el tipo de carga:

- a) Par constante: ascensores, bombas, compresores de pistón, maquinaria herramientas.
- b) Par proporcional a la velocidad: extrusoras.
- c) Proporcional al cuadrado de la velocidad: bombas centrífugas, ventiladores, compresores rotativos, entre otros.
- d) Par resistente a la velocidad: procesos de regulación o tornos. (Loján, 2018)

En la figura 2.13 se muestra la conexión estrella y en triángulo para el arranque de un motor asíncrono, así como la conexión según la línea trifásica (Intercambiando dos fases cambia el sentido de giro del campo magnético del estator y por lo tanto el sentido de giro del rotor) para cambiar el sentido de giro del mismo.

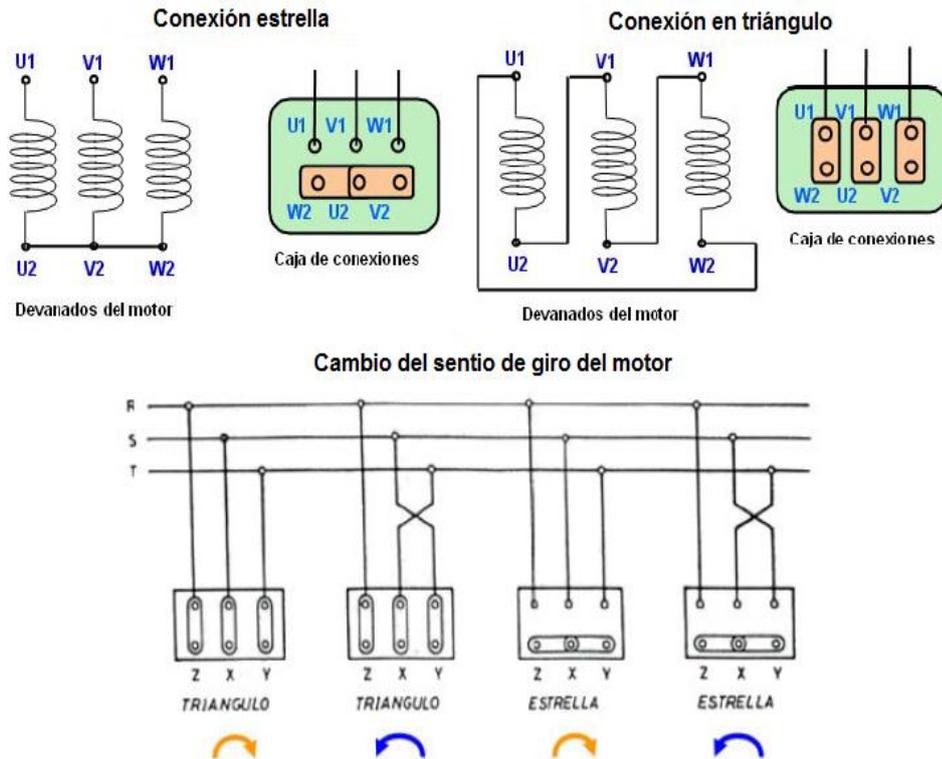


Figura 2. 13 Tipo de conexión para arranque y sentido de giro para un motor asíncrono

Fuente: el autor

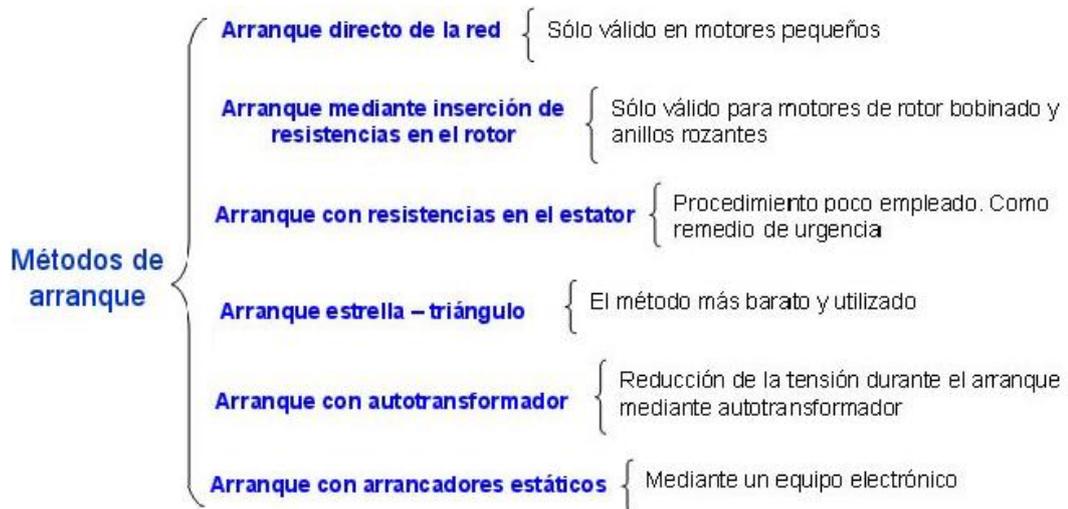


Figura 2. 14 Métodos para arrancar un motor

Fuente: (UTN, 2012)

Las curvas de operación del motor, así como curvas de arranques más usuales, se pueden apreciar en la figura 2.15.

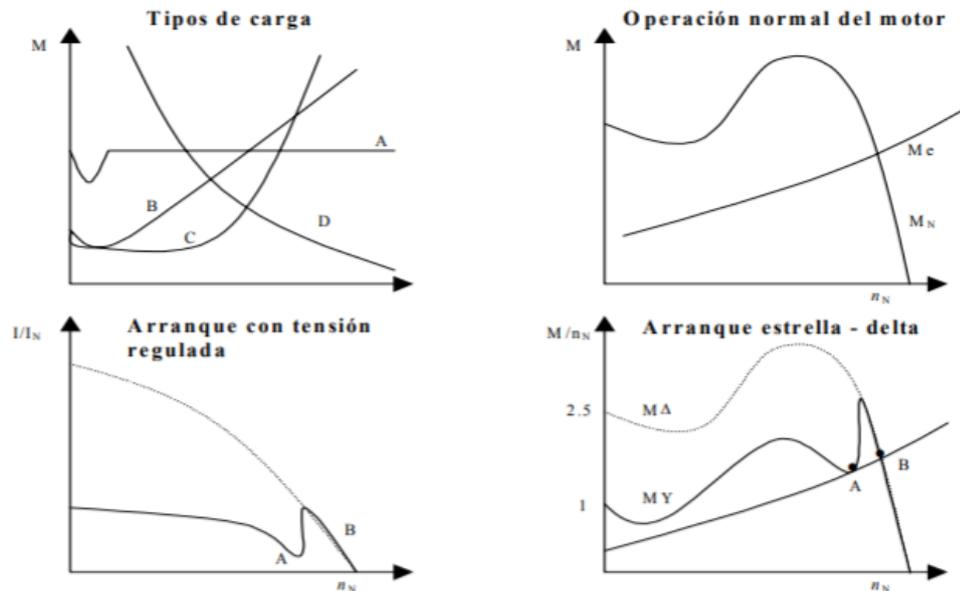


Figura 2. 15 Curvas de operación y arranques estándares

Fuente. (IET, 2015)

- **Variación de velocidad:** Los motores asíncronos son básicamente de velocidad constante. Y dependiendo de la aplicación, en ocasiones es conveniente que sea variable. Las formas más usuales para variar la velocidad en este tipo de motor, son las siguientes:
 - Variando el deslizamiento o resistencias en el rotor, tal como se muestra en la figura 2.16.

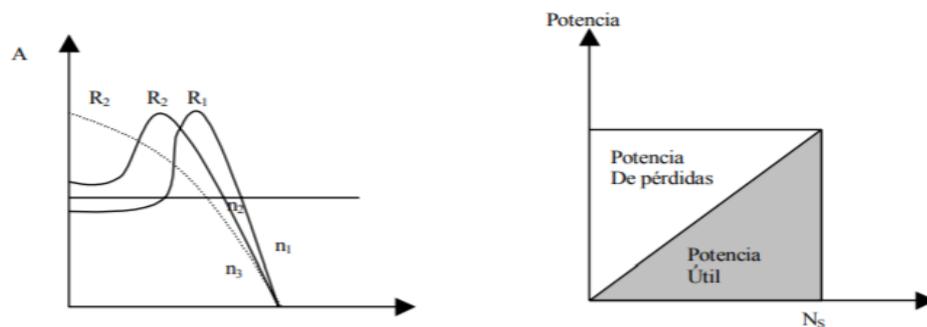


Figura 2. 16 Variadores de velocidad

Fuente. (IET, 2015)

En estos casos, la potencia absorbida de la red es prácticamente invariable, mientras que la potencia útil es proporcional a la velocidad y aplicaciones especiales de poca duración, como;

- Por variación de polos del estator.
- Por variación de frecuencia de alimentación.

2.2.4 Motores Síncronos

Los motores sincrónicos son de menor uso a nivel industrial y sólo sustituyen a los asíncronos en algunas aplicaciones específicas. Su principal característica es que giran a velocidad constante al igual a la velocidad sincrónica. (Instituto de energía y termodinámica - UPB, 2015)

2.2.4.1 Características de operación de los motores síncronos

Aparte de girar a velocidad constante, los motores sincrónicos muestran las siguientes características de operación:

- El rotor se alimenta con corriente directa.
- Su par de arranque es nulo, por lo que se ve forzado a arrancar como si fuese asíncrono.
- Requieren de un mayor mantenimiento y cuidado, ya que su costo es alto.
- Su factor de potencia puede llegar a 1, e incluso puede hacerse capacitivo.
- Generalmente, son más ventajosos que los asíncronos, en casos de bajas velocidades, grandes tamaños y en mejorar el factor de potencia. (Instituto de energía y termodinámica - UPB, 2015)

2.3 Motores de Doble Voltaje

Muchos motores monofásicos y trifásicos están diseñados para funcionar a dos voltajes diferentes. Un motor típico de doble voltaje puede tener una potencia nominal de 115/230 V. Este motor se puede conectar para operar desde una fuente de 115 V o una fuente de 230 V. Los motores de doble voltaje tienen dos juegos de devanados en marcha. Los bobinados en funcionamiento están conectados en paralelo para la operación de voltaje más bajo y en serie para la operación de voltaje más alto.

Cada devanado de un motor de 115/230 V está diseñado para funcionar a 115 V. En la figura 2.17 se aprecia que cada devanado recibe 115 V incluso cuando el motor está conectado a una fuente de alimentación de 230 V. Estos motores pueden invertirse simplemente invirtiendo los cables al devanado de arranque.

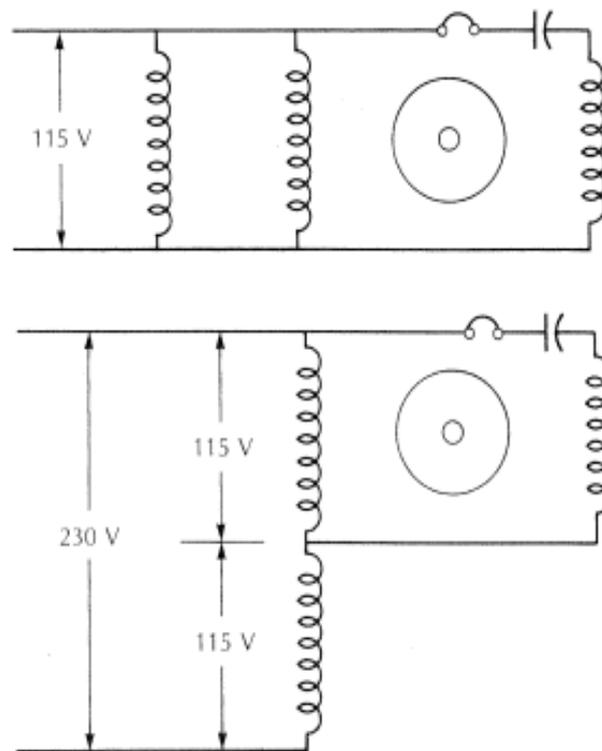


Figura 2. 17 Motor monofásico de doble voltaje conectado a 115 V y 230 V
Fuente: (Institution of Engineering and Technology (IET) , 2015)

Los motores trifásicos también están comúnmente disponibles como motores de doble voltaje. La combinación de voltaje más común es 230/460. Los bobinados de motores trifásicos pueden conectarse para formar una estrella o un delta. El motor de doble voltaje conectado en estrella es más común para aplicaciones agrícolas. Este tipo de motor generalmente tiene nueve cables disponibles en la caja de terminales.

En la figura 2.18 se muestra un motor de voltaje único conectado en estrella, tiene solo tres cables disponibles.

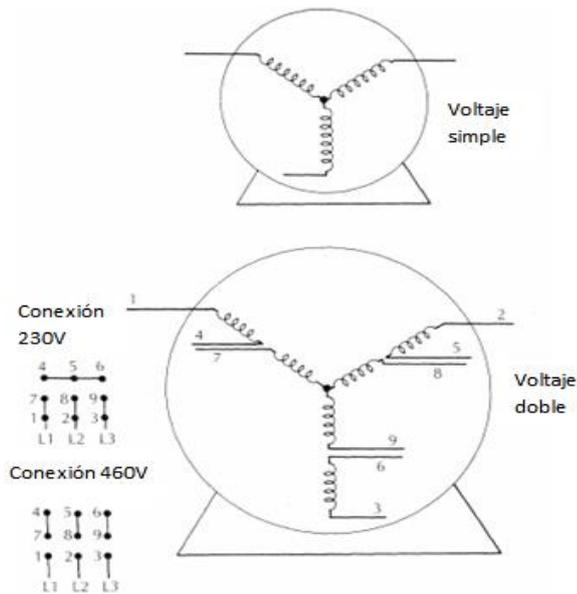


Figura 2. 18 Motor trifásico de una tensión y doble tensión conectado en estrella.

Fuente: (Institution of Engineering and Technology (IET) , 2015)

Generalmente se muestra un diagrama de conexión en la placa de identificación del motor para los voltajes más altos y más bajos. En la tensión más alta, los devanados están conectados en serie, y en la tensión más baja están conectados en paralelo, véase la figura 2.19.

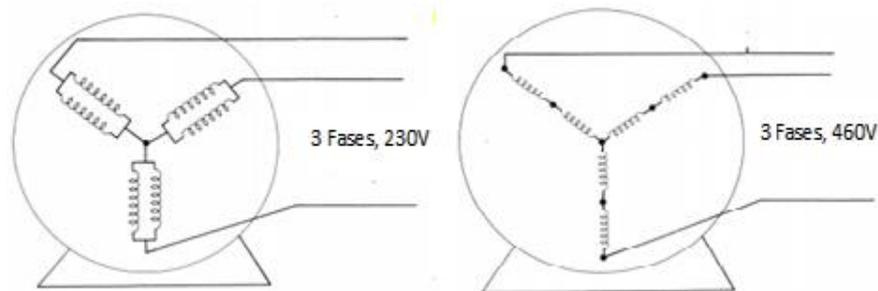


Figura 2. 19 Motor trifásico de 2 voltajes conectado en estrella y conectado a 230 V y 460 V

Fuente: (Institution of Engineering and Technology (IET) , 2015)

Los motores trifásicos conectados a Delta están disponibles como tensión única o doble tensión. También son motores de tres y nueve conductores, como se muestra en la figura 2.20. En cambio, los devanados del motor delta de doble voltaje están conectados en paralelo para el voltaje más bajo, y en serie para el voltaje más alto, tal como muestra en la figura 2.21. Se aprecia un motor conectado en triángulo de tensión única de seis

conductores para un tipo especial de arranque denominado arranque en estrella-triángulo. Los motores de doble voltaje arrancados de esta manera deben tener doce cables disponibles en la caja de terminales.

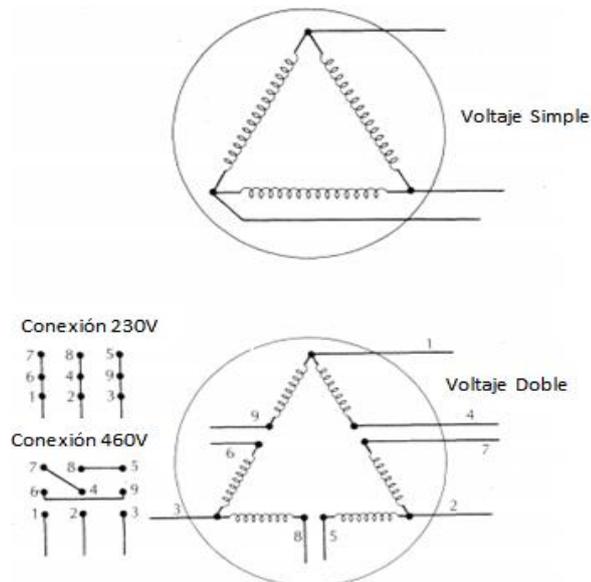


Figura 2. 20 Motor trifásico conectado a delta tensión y doble tensión.

Fuente: (Institution of Engineering and Technology (IET) , 2015)

Los motores de doble voltaje deben operarse a alto voltaje siempre que sea posible. La potencia del motor será la misma, pero solo se consumirá la mitad de la corriente. Esto significa que el cable del circuito del motor se puede dimensionar más pequeño

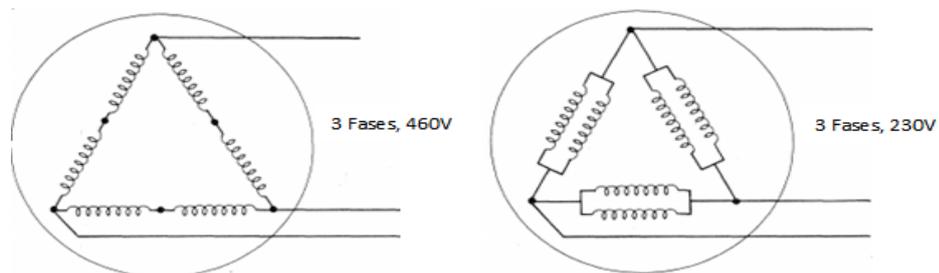


Figura 2. 21 Motor trifásico de doble voltaje conectado a delta a 230 V y 460 V

Fuente: (Institution of Engineering and Technology (IET) , 2015)

Se debe recordar que, si el voltaje se dobla, la corriente debe reducirse a la mitad para mantener la misma potencia.

2.4 Placa de un motor típico

La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA) ha desarrollado estándares de diseño y calificación, por lo que los motores deberán detallar los datos más importantes suministrados por diferentes fabricantes. La Figura 2.22 muestra una placa de características de motor típico.

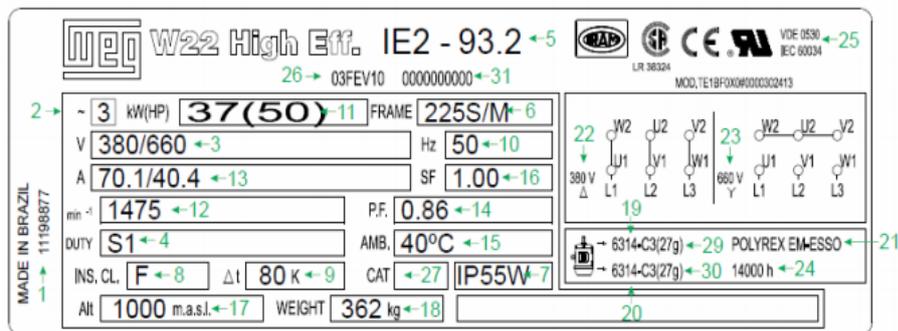


Figura 2. 22 Placa de identificación de un motor eléctrico trifásico

Fuente:(Roydisa, 2018)

- | | |
|---|---|
| 1- Código de motor | 19- Especificación del rodamiento delantero |
| 2- Número de fases | 20- Especificaciones del rodamiento trasero |
| 3- Tensión nominal de operación | 21- Tipos de cargas de los rodamientos |
| 4- Régimen de servicio | 22- Diagrama de conexión para tensión nominal |
| 5- Eficacia | 23- Diagrama de conexión para tensión de arranque |
| 6- Tamaño de la carcasa | 24- Intervalo de lubricación en horas |
| 7- Grado de protección | 25- Certificaciones |
| 8- Clase de aislamiento | 26- Fecha de fabricación |
| 9- Temperatura de la clase de aislamiento | 27- Categoría de par |
| 10- Frecuencia | 28- Número de serie |
| 11- Potencia nominal del motor | 29- Cantidad de grasa en el rodamiento delantero |
| 12- Velocidad nominal del motor en RPM | 30- Cantidad de grasa en el rodamiento trasero. |
| 13- Corriente nominal de operación | |
| 14- Factor de potencia | |
| 15- Temperatura ambiente máxima | |
| 16- Factor de servicio | |
| 17- Altitud | |
| 18- Peso del motor | |

Es posible que la placa de identificación de un motor eléctrico no contenga toda la información detallada que se explica a continuación, pero la siguiente es una descripción general de los datos de la placa de identificación del motor.

A continuación, se detalla algunos de los datos más importantes de una placa de motor eléctrico.

Voltios: El voltaje de funcionamiento adecuado. Este puede ser un valor único, como 115 V, o un voltaje dual, como 115/230 v.

Amps: La corriente a plena carga en amperios (A) del motor que funciona con la tensión de alimentación adecuada. Un solo motor de voltaje tendrá un valor de corriente en la lista, y un motor de doble voltaje tendrá dos valores, como 11.4/5. 7. Esto significa que el motor consumirá 11.4 A cuando está conectado a 115 V, y 5. 7 A cuando está conectado a 230 V.

HP: El diseño de potencia a plena carga (hp) del motor. Se determina a partir del valor del par de ruptura de la curva de par-velocidad del motor. La unidad métrica SI para la potencia del motor eléctrico es el kilovatio (kW). La conversión de 1 hp es igual a 0.746 kW (redondeado). Los motores están disponibles en tamaños de potencia fraccional y en caballos de fuerza integrales. Fraccional significa simplemente fracciones de una potencia, como 1/4 o 1/2. La integral proviene de la palabra entero o número entero, como 1, 5, 20, etc.

Los tamaños de potencia comunes se dan en las Tablas de la NEC 430-148 y 430-I 50. La lista de la tabla 2.7 contiene los tamaños de motor comunes utilizados para aplicaciones agrícolas. También se da el valor equivalente de kW métrico SI.

Tabla 2. 7 Valores de potencia de motores

Caballos de fuerza (HP)	Kilovatios (kW)
1/6	0.124
1/4	0.187
1/3	0.249
1/2	0.373
3/4	0.56
1	0.75
1 ½	1.12
2	1.50
3	2,25
5	3.75
7 ½	5.6
10	7.5

FASE (PH): especifica si el motor es monofásico o trifásico.

RPM: Velocidad a plena carga del rotor en revoluciones por minuto (r/min). Esta es la velocidad del motor correspondiente al par a plena carga de la curva de par-velocidad.

HZ: La frecuencia de operación de diseño del suministro eléctrico en ciclos por segundo; Normalmente 60 hertzios (Hz). Un motor no debe operarse a una frecuencia distinta del valor de la placa de identificación, a menos que el fabricante lo permita.

Número de fases: Estos son números de cuadro estándar utilizados por los fabricantes de motores para asegurarse de que los motores sean intercambiables. Los números de cuadro comunes para los tamaños de potencia fraccional son 42, 48 y 56. Se pueden agregar letras antes o después del número para especificar las dimensiones del motor y el tipo de montaje.

Aumento de temperatura (C°): A veces, la placa de identificación indicará el aumento de temperatura o el aumento de grados C. Esto indica el aumento de

la temperatura del motor por encima de una temperatura ambiente de 40°C (104° F) cuando se opera en condiciones de plena carga. Si la temperatura ambiente es de 40° C (104° F) y la temperatura del motor aumenta 40° C (104° F) adicional, entonces la estructura del motor será de 80° C (176° F). Esto es demasiado caliente para tocar. Generalmente, si un motor no está demasiado caliente para tocarlo, en realidad está funcionando de manera bastante fría. Un motor clasificado 40° C (104° F) a menudo se puede sobrecargar del 10% al 15% sin dañar el motor. Un aumento de 50° C o 55° C (122° F o 131° F) del motor funciona realmente cerca de la temperatura de ruptura del aislamiento en los devanados. Los motores con un índice de aumento de alta temperatura nunca deben sobrecargarse.

La temperatura ambiente a veces se imprime en la placa de identificación del motor. Esto tiene un significado diferente que elevarse por encima de la temperatura ambiente. Esencialmente, ambiente significa que el motor es adecuado para aplicaciones donde la temperatura ambiente no excede la temperatura marcada en la placa de identificación. Por ejemplo, una placa de identificación puede estar marcada a 40° C ambiente (104° F). El motor no debe colocarse en un entorno con una temperatura superior a 40° C (104° F) sin consultar al fabricante.

Factor de servicio (SF): Esta es una mejor indicación de la calificación de sobrecarga segura de un motor eléctrico que el aumento de temperatura. El factor de servicio es un multiplicador que, cuando se aplica a la potencia nominal, indica una carga de potencia admisible. Un factor de servicio de 1.0 significa que un motor no tiene una capacidad de sobrecarga continua.

Un factor de servicio de 1.15 significa que un motor podría funcionar con una sobrecarga del 15% sin peligro de sobrecalentamiento. El factor de servicio se considera al dimensionar la protección de sobrecarga del motor. Un motor de reemplazo para una máquina agrícola debe tener un factor de servicio igual al del motor antiguo. Si no es así, consulte al fabricante de la máquina para el

reemplazo recomendado. Un motor de servicio agrícola podría tener un factor de servicio de 1.35 o más.

Clase de aislamiento: El aislamiento en el cable del motor se clasifica en varias clases, dependiendo de la temperatura de operación segura máxima que no causará una ruptura prematura. Las clases de aislamiento comunes son A, B, F y H. El aislamiento de clase A tiene la clasificación de temperatura más baja. La mayoría de los motores para labores agrícolas tienen aislamiento de clase A o B. La clase de aislamiento se considera cuando se asigna un factor de servicio del motor. La vida útil de un motor depende de la vida útil del aislamiento. El sobrecalentamiento frecuente del motor acortará la vida útil normal del motor.

Código letra: La letra de código se basa en la corriente del rotor bloqueado que consume el motor. La letra de código se utiliza para determinar la calificación máxima de la protección del circuito derivado del motor. La letra del código se determina multiplicando la tensión de alimentación por la corriente del rotor bloqueado y luego dividiendo por la potencia del motor. Este valor también se debe dividir por 1000 para obtener kilovolts-amperes por caballo de fuerza (kVA/hp).

Las letras de código se pueden usar para calcular la corriente de arranque instantánea aproximada del motor (corriente de rotor bloqueado). Considere un ejemplo de un motor de 220 CV, trifásico, de 5 hp con la letra de código J en la placa de identificación. Aquí es cómo calcular la corriente de arranque del motor a partir de la letra de código. La ecuación 2.1 da la corriente del rotor bloqueado del motor (se omite 1.73 para un motor monofásico.)

$$I = \frac{KVA \times hp \times 1000}{E \times 1.73} \quad (2.1)$$

Los kilovoltios -amperes por caballos de fuerza correspondientes a la letra de código J se consultan en la Tabla NEC 430-7 (b). Para la letra J, el rango es 7.1 a 7.99.

$$I = \frac{7.1 \times 5 \times 1000}{230 \times 1.73} = 89.2 \text{ A } \textit{mínimo}$$

$$I = \frac{7.99 \times 5 \times 1000}{230 \times 1.73} = 100.4 \text{ A } \textit{máximo}$$

La corriente de arranque instantánea del motor en el ejemplo varía de 89.2A a 100.4 A.

CAPÍTULO III:

APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA

La tecnología termográfica, está basado en el uso de radiación infrarrojos. Cuando se calienta un objeto irradia energía electromagnética. La cantidad de energía está relacionada con la temperatura del objeto. En la mayoría de las aplicaciones industriales, es la energía radiada en las longitudes de onda infrarrojas la que se utiliza para determinar la temperatura del objeto

3.1 Espectro electromagnético

La figura 3.1 muestra varias formas de energía radiada en el espectro electromagnético, incluidos los rayos X, los rayos ultravioletas, los infrarrojos y la radio. Todos se emiten en forma de onda y viajan a la velocidad de la luz. La única diferencia entre ellos es su longitud de onda que está relacionada con la frecuencia.

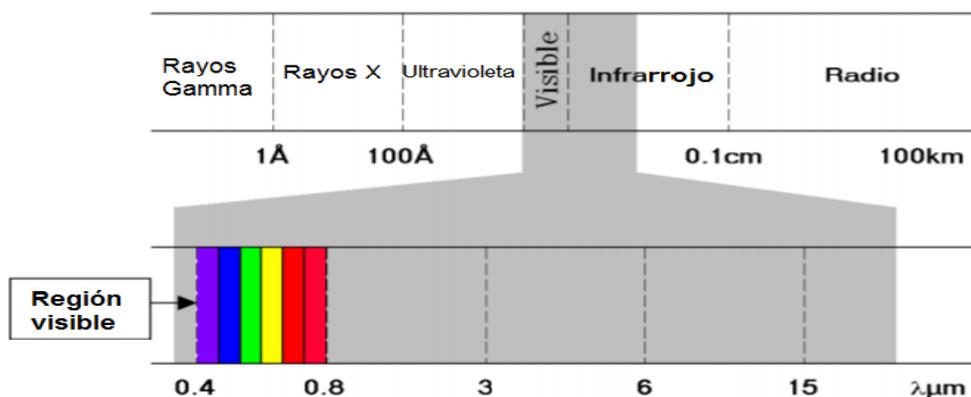


Figura 3. 1 Región infrarroja del espectro electromagnético

Fuente. (Land Instruments International, 2004)

El ojo humano puede distinguir la luz visible en el rango de 0,4 a 0,75 micrones. La gran mayoría de las mediciones de temperatura infrarroja se realizan en el rango de 0,2 a 20 micrones, contexto en que el ojo humano es incapaz de visualizar. Así mismo la mayoría de las emisiones no pueden ser

detectadas por una cámara estándar. La cámara termográfica puede enfocar esta energía a través de un sistema óptico en un detector de manera similar a la luz visible. El detector convierte la energía infrarroja en un voltaje eléctrico que, después de la amplificación y el procesamiento complejo de la señal, se utiliza para construir la imagen térmica en el visor del operador a bordo del sensor térmico.

3.1.1 Distribución de energía

La figura 3.2 muestra la energía emitida por un objetivo a diferentes temperaturas. Como se puede observar, cuanto más alta es la temperatura objetivo, mayor es el nivel de energía pico. La longitud de onda en la que se produce el pico de energía se vuelve progresivamente más corta a medida que aumenta la temperatura. A bajas temperaturas, la mayor parte de la energía está en longitudes de onda largas.

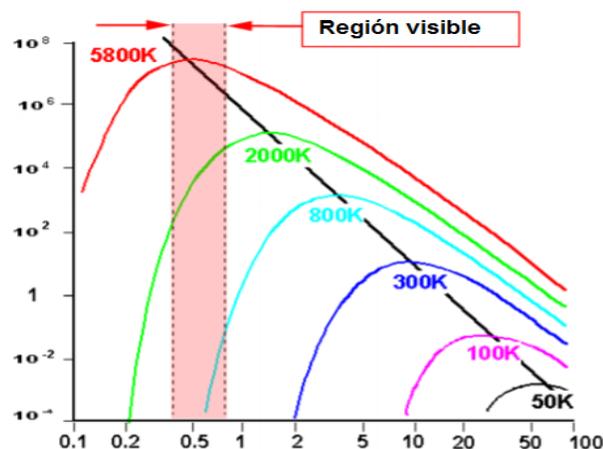


Figura 3. 2 Energía infrarroja y distribución en todo el espectro electromagnético.

Fuente. (Land Instruments International, 2004)

3.1.2 Emisividad

La cantidad de energía irradiada desde un objeto depende de su temperatura y su emisividad. Un objeto que tiene la capacidad de irradiar la máxima energía posible para su temperatura se conoce como, cuerpo negro. En la práctica, no

hay emisores perfectos y las superficies tienden a irradiar algo menos de energía que un cuerpo negro. Véase la figura 3.3.

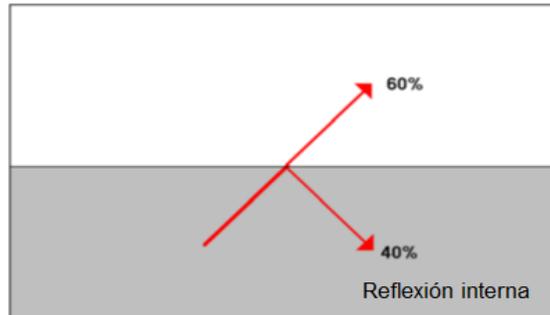


Figura 3. 3 Energía infrarroja reflejada en la superficie de un cuerpo.

Fuente. (Land Instruments International, 2004)

La figura 3.3 muestra por qué los objetos no son emisores perfectos de energía infrarroja. A medida que la energía se mueve hacia la superficie, una cierta cantidad se refleja de nuevo en el interior y nunca escapa por medios radiactivos.

En este ejemplo se puede ver que solo el 60% de la energía disponible se emite realmente. La emisividad de un objeto es la relación de la energía irradiada a la que el objeto emitiría si fuera un cuerpo negro.

Por lo tanto, la emisividad se expresa como:

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

Por lo tanto, la emisividad es una expresión de la capacidad de un objeto para irradiar energía infrarroja.

3.1.2.1 Valores de emisividad

El valor de la emisividad tiende a variar de un material a otro. Con los metales, una superficie rugosa u oxidada generalmente tiene una mayor emisividad que una superficie pulida.

A continuación, se puede ver algunos ejemplos en la tabla 3.1:

Tabla 3. 1 Valores de emisividad (sólo T1814)

Material	Emisividad
Acero pulido	0,18
Acero oxidado	0,85
Latón pulido	0,10
Latón oxidado	0,61
Aluminio pulido	0,05
Aluminio oxidado	0.30
Cemento y hormigón	0.90
Asfalto	0.90
Ladrillo rojo	0.93
Grafito	0.85
Paño	0.85

Fuente. El autor

Se puede demostrar que existe una relación entre emisividad y reflectividad.

Para un objeto opaco esto es Emisividad + Reflectividad = 1.0

Por lo tanto, un material altamente reflectante es un emisor pobre de energía infrarroja y, por ende, tendrá un bajo valor de emisividad.

3.1.2.2 Efectos de la emisividad

Si un material de alta emisividad y uno de baja emisividad, se colocarán lado a lado dentro de un horno y se calentara exactamente a la misma temperatura, el material con baja emisividad parecería mucho más opaco a simple vista. Esto se debe a las diferentes emisividades de los materiales que hacen que se irradien a diferentes niveles, haciendo que el material de baja emisividad parezca más frío que el material de alta emisividad, aunque estén a la misma temperatura.

La cámara termográfica lo vería de la misma manera que el ojo y produciría un error al realizar la medición de temperatura. La temperatura de un objeto no se puede determinar simplemente midiendo su energía infrarroja emitida, también debe conocerse la emisividad del objeto. (Land Instruments International, 2004)

No obstante, la emisividad de un objeto se puede determinar de la siguiente manera:

1) Consulte la documentación del fabricante (asegúrese siempre de que se hayan evaluado en la longitud de onda de funcionamiento de su cámara termográfica, ya que la emisividad puede variar con la longitud de onda).

2) Tener la emisividad del objeto evaluada por un método de laboratorio.

Por lo tanto, hay dos formas principales de superar el problema de la emisividad.

a) Corrige matemáticamente el valor de medición de temperatura. Esto generalmente se lleva a cabo dentro del procesador de señales de la cámara termográfica. La mayoría de las cámaras termográficas modernas tienen una configuración de compensación que el operador puede configurar rápida y fácilmente.

b) Es posible pintar la superficie de un objetivo de baja emisividad con un recubrimiento de emisividad alta y constante. Esto tiende a elevar el objetivo a un nivel de emisividad mucho más alto, pero esto puede no ser posible en todas las plantas de proceso.

Cuando se realizan inspecciones termográficas, las fallas a menudo se identifican mediante la comparación de patrones de calor en componentes similares, que operan bajo cargas similares. Esta es una alternativa para predecir con gran precisión la emisividad de cada componente individual y obtener valores de temperatura absolutos. (Land Instruments International, 2004)

En la figura 3.4 se aprecia el uso de la cámara termográfica para observar equipos eléctricos.



Figura 3. 4 Inspección de equipos eléctricos, utilizando la cámara termográfica

Fuente. (Land Instruments International, 2004)

3.2 Imágenes térmicas

Las cámaras termográficas son dispositivos sofisticados que miden las emisiones naturales de radiación infrarroja de un objeto calentado y producen una imagen térmica. Las cámaras termográficas moderna pueden incluso conectar otros dispositivos de apoyo o medición (humedad y corriente) integrada de forma inalámbrica.

3.2.1 Cámaras térmicas en aplicaciones de mantenimiento predictivo

En las plantas industriales de hoy en día, es esencial que la paralización de equipos y máquinas de producción no planificada causen pérdidas económicas, este contexto da apertura a esquemas de mantenimiento predictivo para identificar problemas potenciales y reducir el tiempo de inactividad. Las cámaras termográficas para inspecciones de mantenimiento predictivo son potentes herramientas no invasivas para la supervisión y el diagnóstico del estado de componentes e instalaciones eléctricas y mecánicas. Con una cámara termográfica, puede identificar problemas en una fase temprana, de forma que se pueden documentar y corregir antes de que se agraven y resulten más costosos de reparar. (APLITER, 2014).

La termografía en aplicaciones de mantenimiento se basa en el hecho de que la mayoría de los componentes muestran un aumento de la temperatura cuando el mal funcionamiento y las fallas empeoran constantemente antes de fallar.

Los programas de inspección de rutina que usan termografía ofrece los siguientes beneficios:

- Se pueden realizar inspecciones en condiciones operativas completas y por tanto, no hay pérdida de producción.
- La vida del equipo puede ser extendida
- El tiempo de inactividad de la planta puede reducirse
- La confiabilidad de la planta puede aumentar
- Reparaciones de planta programadas para el horario más conveniente
- La calidad del trabajo de reparación puede ser inspeccionada

Las cámaras termográficas se utilizan principalmente para el mantenimiento predictivo industrial en las siguientes áreas:

- Instalaciones eléctricas
- Equipamiento mecánico
- Estructuras refractarias forradas.

Cuando se trata de inspeccionar equipos mecánicos con infrarrojos, se requieren ciertas condiciones. También es importante para el termógrafo tener una base sólida de radiometría básica y transferencia de calor, conocimiento de cómo funciona el equipo mecánico, así como un sólido conocimiento de las capacidades y limitaciones de la cámara de infrarrojos. Al igual que con cualquier tipo de tecnología, la capacitación adecuada es esencial para operar con éxito estos sistemas.

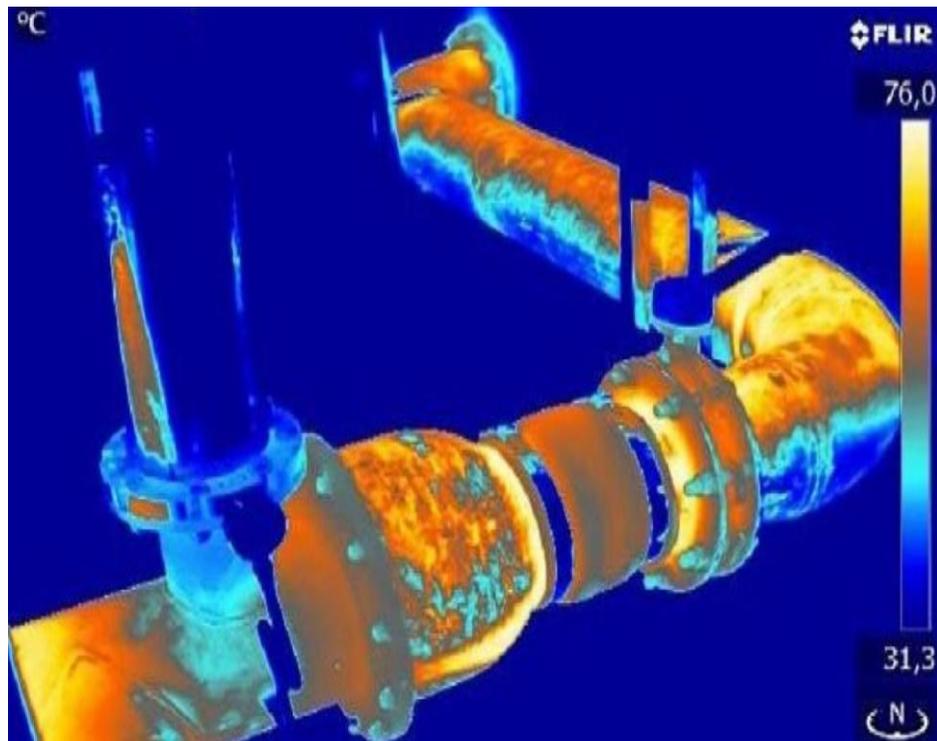


Figura 3. 5 Inspección a tuberías de fábrica

Fuente: (INDUNOVA, 2014)

3.2.2 Fallas en Instalaciones Eléctricas

Cuando la condición de un componente, conductor o equipo eléctrico deteriora, su resistencia puede aumentar y generar más calor. Con el uso de termografía infrarroja se pueden identificar estos puntos calientes y clasificarlos según el criterio de gravedad adoptado (INDUNOVA, 2014).

Las fallas en una instalación eléctrica a menudo aparecen como puntos calientes que pueden ser detectados por la cámara termográfica. Los puntos calientes son a menudo el resultado de una mayor resistencia en un circuito, sobrecarga o falla de aislamiento.

La figura 3.6 muestra un punto caliente creado por una conexión incorrecta en un sistema de distribución de energía.

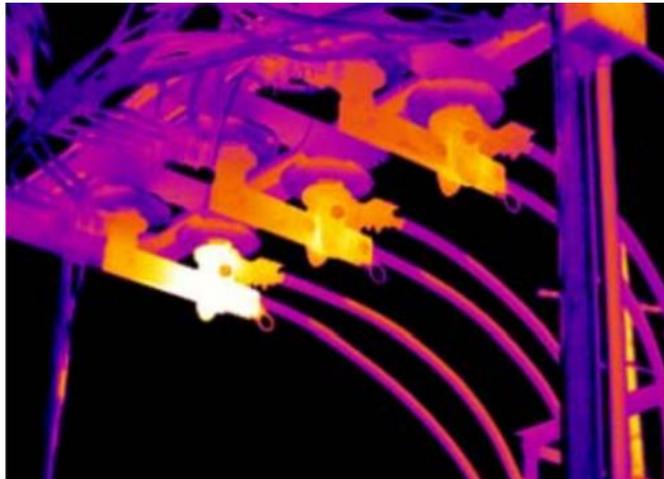


Figura 3. 6 Inspección de un sistema eléctrico.

Fuente. (Land Instruments International, 2004)

Algunos de los componentes comúnmente inspeccionados son los siguientes:

- Incremento de resistividad por malos contactos
- Sobrecarga en componentes eléctricos y conductores
- Perturbaciones debido a componentes armónicos en el sistema eléctrico
- Desequilibrio de fases

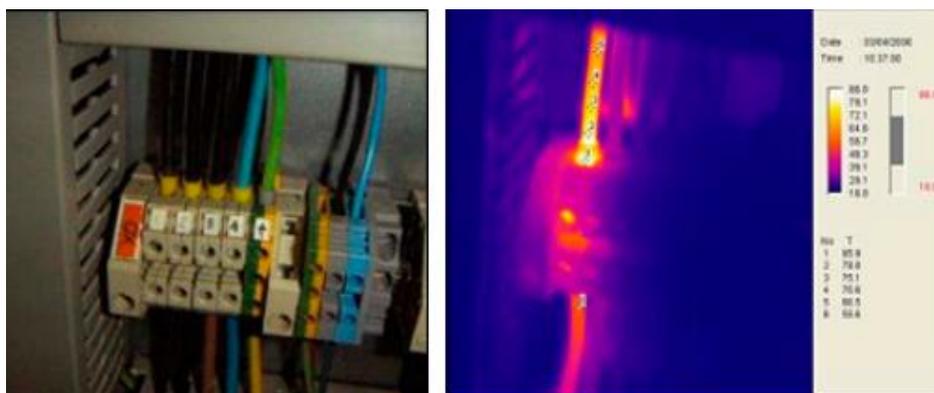
3.2.2.1 Incremento de resistividad por malos contactos

El calentamiento por efecto joule debido a un aumento de resistencia, se puede originar por deficiencia en las conexiones, pérdida de sección de conductores, etc. Al aumentar la resistividad, se produce un aumento de temperatura en una zona o punto caliente, es decir, una región con una temperatura superior a las temperaturas de las zonas restantes del termograma. Esta anomalía generalmente presenta un gradiente de temperatura que tiende a disminuir en puntos más alejados de la conexión (INDUNOVA, 2014).

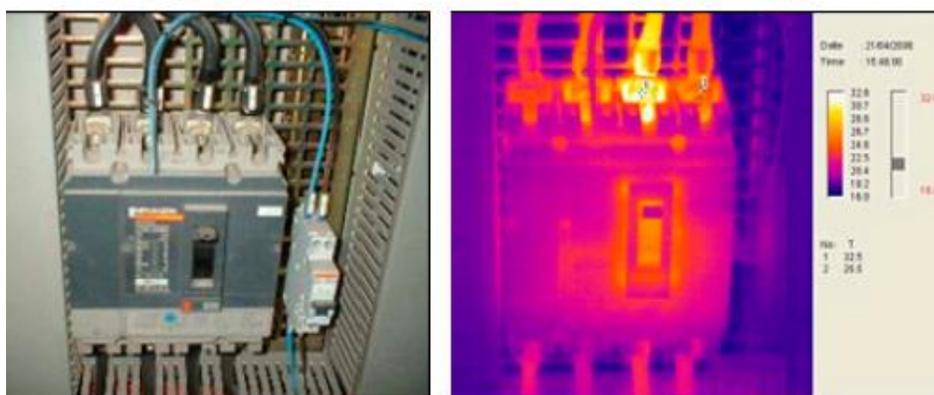
Una mala conexión provoca el aumento de resistencia y por lo tanto también un aumento de temperatura. Por ejemplo, en un conductor de pequeñas dimensiones conectado a una fase de un interruptor diferencial, el apriete excesivo puede provocar su ruptura parcial, aumentando la resistencia en ese

punto. Por el contrario, si el conductor no se encuentra debidamente ajustado, la disminución de superficie de contacto se puede entender como una reducción de sección del elemento conductor y, por lo tanto, esto crea un sobrecalentamiento debido a un aumento resistivo de la conexión (INDUNOVA, 2014).

La figura 3.7 muestra termografías por disminución progresiva del gradiente térmico y aumento de resistividad en dispositivos de protección eléctrica.



Disminución progresiva del gradiente térmico en relación con la distancia al punto caliente



Incremento de resistividad debido a tornillo o piezas de ajuste deficientemente ajustada

Figura 3. 7 Casos de contactos eléctricos defectuosos

Fuente: (INDUNOVA, 2014)

En las instalaciones eléctricas, es frecuente que se produzcan malos contactos entre conductores y componentes eléctricos, como en interruptores, así también como en terminales de conexión, grapas, barras metálicas, contactos internos, fusibles, seccionadores, etc. Una conexión deficiente muestra una

temperatura más alta debido a su mayor resistencia. Los puntos calientes se pueden generar como resultado de conectores sueltos, oxidados o corroídos. En la figura 3.8 los fusibles en el panel de control de una máquina



Figura 3. 8 Inspección de conectores

Fuente. (Land Instruments International, 2004)

La parte superior de un fusible ha creado un punto caliente que puede ser visto fácilmente por el generador de imágenes.

3.2.2.2 Perturbaciones debido a armónicos en el sistema eléctrico

En muchas situaciones la forma de onda periódica en régimen permanente no es senoidal, tanto para la tensión como para la intensidad. Estas ondas distorsionadas se pueden representar por una serie de funciones periódicas senoidales crecientes y múltiplo de la onda fundamental, y son llamados armónicos. Los armónicos como voltajes o corrientes en frecuencias que son múltiplos de la frecuencia fundamental. En la mayoría de los sistemas, la frecuencia fundamental es de 60 Hz. Por lo tanto, el orden armónico es 120 Hz, 180 Hz, 240 Hz y así sucesivamente.

Por lo general, un armónico con una frecuencia de 180 Hz se conoce como el tercer armónico ($60 \times 3 = 180$). En este caso, para cada ciclo de la forma de onda fundamental, hay tres ciclos completos de las formas de onda armónicas. Los múltiplos pares de la frecuencia fundamental se conocen como armónicos

de orden par, mientras que los múltiplos impares se conocen como armónicos de orden impar.

La causa inicial de los armónicos son las intensidades distorsionadas que absorben aparatos de funcionamiento no lineal. Sin embargo, también aparecen armónicos en la onda de tensión al añadir receptores no lineales (INDUNOVA, 2014).

Los armónicos están originados por los receptores no lineales presentes en el sistema eléctrico. Estos receptores distorsionantes se clasifican en tres familias:

- 1) Máquinas eléctricas que tienen saturación magnética, especialmente las máquinas rotativas eléctricas y los transformadores saturados.
- 2) Convertidores electrónicos de potencia.
- 3) Equipos en los que en su funcionamiento se produce el arco eléctrico, fenómeno no lineal.

Los armónicos generan calentamientos producidos por las pérdidas mayores que envejecen antes los aislamientos, principalmente en el caso de cables aislados. De modo general todos los equipos que son sometidos a tensiones o por intensidades armónicas, tienen las pérdidas aumentadas y, por lo tanto, se deberá tener presente la disminución de su clase de intensidad nominal.

Los armónicos pueden causar la sobrecarga de conductores y transformadores y el sobrecalentamiento de equipos como los motores eléctricos. Los armónicos conocidos como Triplen (múltiplos impares del tercer armónico ($h = 3, 9, 15, 21, \dots$)) pueden causar especialmente el sobrecalentamiento de conductores neutros en sistemas trifásicos de 4 hilos. Mientras que la frecuencia fundamental e incluso los armónicos se anulan en el conductor neutro, los armónicos de orden impar son aditivos. Incluso en una condición de carga equilibrada, las corrientes neutrales pueden alcanzar magnitudes tan altas como 1.73 veces la corriente de fase promedio.

Esta carga adicional crea más calor, lo que rompe el aislamiento del conductor neutro. En algunos casos, puede romper el aislamiento entre los devanados de un transformador. En ambos casos, el resultado es un riesgo de incendio. Pero, puede disminuir este daño potencial mediante el uso de buenas prácticas de cableado. En el Art. 310 de NEC en lo que refiere a tablas de ampacidad, se indican que considere el conductor neutro como un conductor de corriente si se usan equipos electrónicos (un ejemplo variadores de velocidad). En la figura 3,9 se muestra la imagen de un motor trifásico afectado por armónicos.

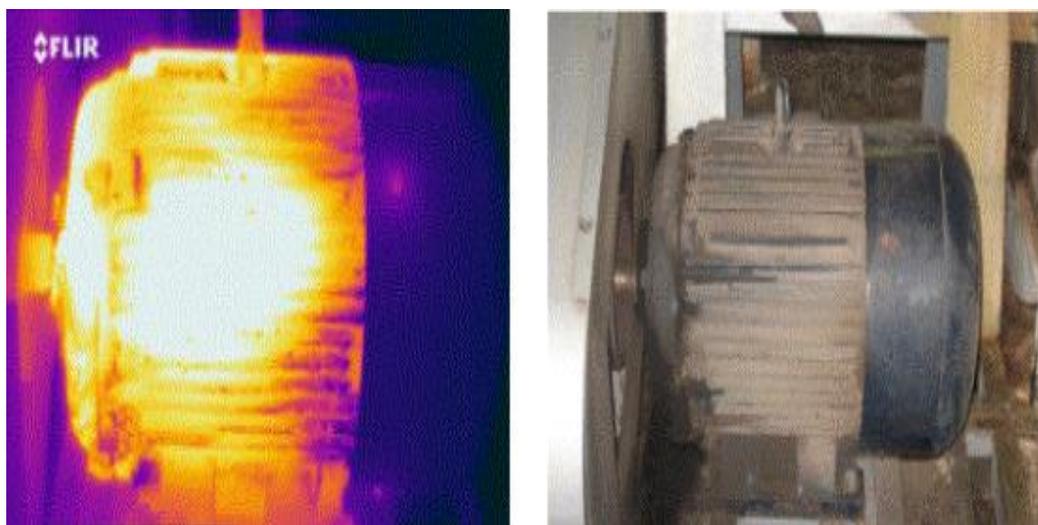


Figura 3. 9 Motor con sobrecarga de corriente

Fuente: (INDUNOVA, 2014)

El análisis de la calidad de la energía (figura 3.9) demostró que la condición era causada por armónicos de secuencia negativa.

Los motores trifásicos requieren fases equilibradas y temperaturas de funcionamiento correctas. Si se exceden las temperaturas de funcionamiento correctas, la vida útil del aislamiento se puede acortar considerablemente.

Los armónicos triple siempre tienen la mayor magnitud y causan el mayor daño, ya que las corrientes son aditivas en el neutro. El quinto armónico (5) y el undécimo (11) son motivo de preocupación, ya que, si se intenta operar un

motor de 3 fases en la dirección opuesta, posiblemente cause disparos intempestivos y sobrecalentamiento.

3.2.2.3 Normativa de termografía de tableros eléctricos.

Consiste en identificar y localizar los problemas existentes en los diferentes sistemas inspeccionados, basados en el método comparativo de sus rangos anormales de operación, sin cuantificar la cantidad de pérdida de calor. Los problemas potenciales se identifican por un ΔT entre sistemas similares o áreas.

Tabla 3. 2 Acciones según Neta por valores de la temperatura

Diagnostico térmico			
Inspecciones eléctricas			
Severidad	ΔT entre componentes similares bajo cargas similares	ΔT entre el componente y la temperatura ambiente	Acción recomendada
Baja	1°C - 3°C	1°C - 10°C	Posible deficiencia. Ordene investigación
Media	4°C - 15°C	11°C - 20°C	Probable deficiencia; Reparar en la primera oportunidad
Alta	.....	21°C - 40°C	Monitorear hasta que las medidas correctivas pueden ejecutarse
Elevada	>15°C	>40°C	Discrepancia mayor; Reparar inmediatamente

Fuente. NETA MTS: 2007

Para motores con dos tensiones (estrella – triángulo). La tensión menor corresponde a la conexión triángulo (delta) y la tensión mayor a la conexión estrella (estrella). Las fases del motor deben soportar la misma tensión, tanto que se conecte el motor en estrella, como en triángulo.

A los motores en general se pide que suministren la potencia señalada en la placa de características, aunque la tensión difiera en más o menos 5% de su valor nominal.

Tabla 3. 3 Valores de eficiencia nominal para motores trifásicos, con tensión nominal de hasta 600V, en porcentaje.

Potencia Nominal kW	Motores cerrados				Motores abiertos			
	2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos	2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos
0,746	75,5	82,5	80,0	74	75,5	82,5	80	74
1,119	82,5	84	85,5	77	82,5	84	84	75,5
1,492	84	84	86,5	82,5	84	84	85,5	85,5
2,238	85,5	87,5	87,5	84	84	86,5	86,5	86,5
3,73	87,5	87,5	87,5	85,5	85,5	87,5	87,5	87,5
5,595	88,5	89,5	89,5	85,5	87,5	88,5	88,5	88,5
7,46	89,5	89,5	89,5	88,5	88,5	89,5	90,2	89,5
11,19	90,2	91	90,2	88,5	89,5	91	90,2	89,5
14,92	90,2	91	90,2	89,5	90,2	91	91	90,2
18,65	91	92,4	91,7	89,5	91	91,7	91,7	90,2
22,38	91	92,4	91,7	91	91	92,4	92,4	91
29,84	91,7	93	93	91	91,7	93	93	91
37,3	92,4	93	93	91,7	92,4	93	93	91,7
44,76	93	93,6	93,6	91,7	93	93,6	93,6	92,4
55,95	93	94,1	93,6	93	93	94,1	93,6	93,6
74,6	93,6	94,5	94,1	93	93	94,1	94,1	93,6
93,25	94,5	94,5	94,1	93,6	93,6	94,5	94,1	93,6
111,9	94,5	95	95	93,6	93,6	95	94,5	93,6
149,2	95	95	95	94,1	94,5	95	94,5	93,6
186,5	95,4	95	95	94,5	94,5	95,4	95,4	94,5
223,8	95,4	95,4	95	....	95	95,4	95,4	....
261,1	95,4	95,4	95	....	95	95,4	95,4	....
298,4	95,4	95,4	....	....	95,4	95,4	....	....
335,7	95,4	95,4	....	....	95,8	95,8	....	....
373	95,4	95,8	....	....	95,8	95,8	....	....

Fuente: (NORMA NTE INEN 2498, 2009)

Una disminución de tensión lleva consigo un aumento de la intensidad necesaria para conseguir la potencia nominal a la vez que una mejora del

factor de potencia y un aumento del deslizamiento. El calentamiento también será mayor.

3.2.3 Inspección de equipos mecánicos

El tipo de equipo mecánico inspeccionado es a menudo maquinaria rotativa. El aumento de la temperatura de la superficie puede ser el resultado de fallas internas.

El exceso de calor puede generarse por la fricción en rodamientos defectuosos debido al desgaste, desalineación o lubricación inadecuada. Al igual que con las instalaciones eléctricas, es conveniente realizar la inspección con el sistema en funcionamiento siempre que sea posible. La interpretación de los resultados debe basarse en la comparación entre componentes que operan en condiciones similares bajo cargas similares o mediante análisis de tendencias.

El equipo comúnmente inspeccionado con cámaras térmicas es el siguiente:

- Rodamientos
- Engranajes
- Correas de transmisión
- Acoplamientos
- Ejes
- Bombas

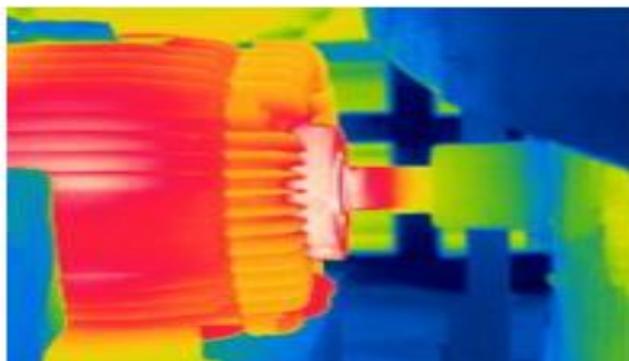


Figura 3. 10 Inspección de la caja de cojinetes

Fuente. (Land Instruments International, 2004)

La inspección de equipos mecánicos con termografía infrarroja cubre una amplia variedad de sistemas, desde motores, equipos rotativos, purgadores de vapor, refractarios y niveles de tanques y más. Las inspecciones de referencia, donde un termógrafo captura un "mapa térmico" general de un tipo de equipo en particular, es uno de los usos más valiosos de la tecnología, ya que las inspecciones posteriores se comparan con el "mapa" original para detallar cualquier cambio que pueda haber ocurrido. a través del tiempo.

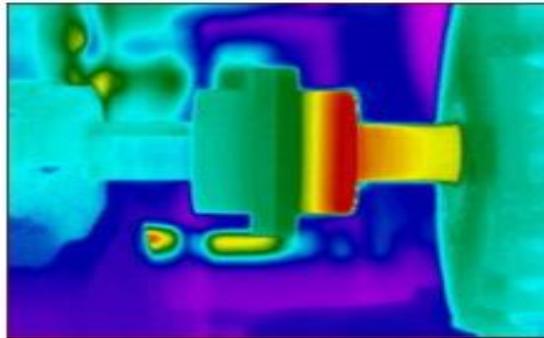


Figura 3. 11 Acoplamiento cuando hay desalineación
Fuente: (APLITER, 2014)

En la inspección de los rodamientos se toma en cuenta la fricción anormal dentro de un rodamiento, que genera calor, hace que la temperatura de la superficie de rodamiento aumente. Esta firma térmica, cuando se detecta, es un indicio de un posible problema en el rodamiento, ya sea por falta de lubricación, lubricación excesiva, mal mantenimiento o simplemente por un mal rodamiento.

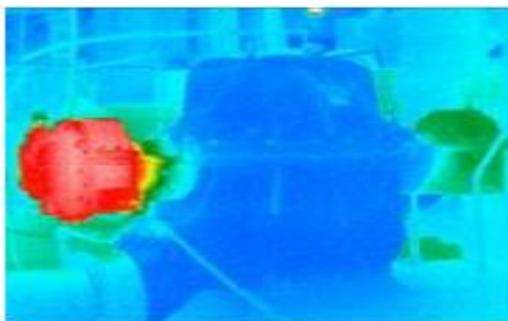


Figura 3. 12 Termografía a rodamiento de motor eléctrico

Fuente: (APLITER, 2014)

La persona que realiza la inspección termográfica debe tener un conocimiento práctico de la transferencia de calor para interpretar los patrones térmicos que observan.

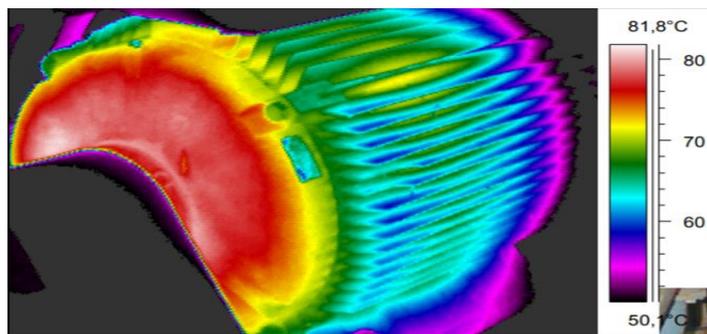


Figura 3. 13 Imagen termográfica de un motor eléctrico operando

Fuente: (APLITER, 2014)

Este método de inspección se basa en el hecho de que la mayoría de los componentes de un sistema muestran un aumento de la temperatura cuando no funciona correctamente.

3.3 Producto comercial INAVISA

La planta VIPECHICAL ubicada en cantón Junín provincia de Manabí, produce un valor agregado a la carne de pollo, es decir, presenta pollo empaquetado (despiece y entero) con la marca INAVISA.



Figura 3. 14 Producto marca INAVISA

Fuente: El autor

La planta tiene su propio criadero de aves y cuando las mismas deben ser procesadas, la planta cumple procesos elementales de ensacado, molinado, peletización, En la tabla 3.4 se muestra en detalle lo que se realiza en cada proceso.

Tabla 3. 4 Descripción de proceso para elaborar alimento de pollo en INAVISA

Proceso Productivo	DESCRIPCIÓN
Recepción Materia Prima	Esta etapa consiste en la llegada de la materia prima a VIPECHICAL. la cual su almacenaje va depender de la distribución de materiales de la planta. La malta se almacena en tanques con una capacidad de 30 Tn.
Almacena miento	<p>La materia prima es almacenada mediante: SILOS: La planta cuenta con un total de 8 silos dentro de sus procesos, los cuales están distribuidos en:</p> <p>2 silos de soya con un 25% 5 silos de maíz con un 60% 1 silo de trigo con un 25%</p> <p>Cada silo tiene una capacidad de 500 Tn.</p> <p>BLOQUES: Sin embargo, de acuerdo a la demanda estos varían depende de la demanda y del costo de la materia prima. Los bloques cuentan con una altura máxima de 180 m en el cual se almacenan los siguientes productos:</p> <p>B1 (Carbonato en polvo) Bulto en sacos de 45 kg B2-B5-B6-B7-B8-B10 (Afrechillo) Bulto en saco de 50 Kg B3- B4 (Carbonato granulado) Bulto en sacos de 45 kg B9 (Harina de pescado) Bulto en sacos de 50 kg</p>
Tolva De Dosificación	En esta etapa se recibe toda la materia prima como el maíz, trigo, soya, malta, carbonato en polvo, carbonato granulado, harina de pescado requerido en la formulación para su posterior producción
Tolva Bascula	Esta operación tiene como objetivo el pesaje de cada uno de los ingredientes que compone la formulación, este proceso es realizado por un dosificador Software (PLC), es un tipo de sistema computarizado que evita errores en la dosificación el cual es determinado por formulación tomando en cuenta su valor nutricional.
Mezcladora	Esta operación consiste en la homogenización de cada uno de los ingredientes en estado de harina. El mezclado de la materia prima de macro ingredientes, micro ingredientes grameado y líquidos se da en un tiempo de 7 minutos por baches, para poder obtener una buena homogeneidad en el balanceado.
Broiler	El polvo pasa a la tolva de almacenamiento el cual es conducido por un transportador y lo entrega a los acondicionadores donde se suministra temperatura que se perdió o se va a perder durante su proceso de

	temperatura.
Peletización	Este proceso se encarga de darle una forma cilíndrica al balanceado, más conocido como (Pellets) el cual sale con una temperatura de 85°-95°C.
Enfriado	En este proceso se reduce la temperatura del producto terminado de 3 a 4.5°C en relación a la temperatura ambiente, se lo puede efectuar mediante tambores rotatorios o mediante flujo de aire frío.
Crumbell	El crumbell tiene como objetivo elaborar en forma cilíndrica el balanceado con un diámetro aceptable de acuerdo a la necesidad de formula dada por laboratorio y las normas contempladas.
Zaranda	Enfriado el pellet este necesita ser tamizado para retirar partículas de alimento el cual se lo realizan en la zaranda, que es su interior posee diferentes mallas produciendo una separación entre los pellets y los finos. Dependiendo su uso esta se va a empacar en sacos para las granjas tradicionales con un peso por saco de 40 kg que es la medida utilizada por la empresa y cuando se trata de granjas automatizadas su destino son a las tolvas de producto terminado (Granel).

Nota: (Cedeño & María Zambrano, 2016)

3.3.1 Granja de crianza de aves

La densidad máxima actual es de 18, pollos por metro cuadrado; según el supervisor de la granja, podría gestionarse con una densidad de 19 pollos/m².



Figura 3. 15 Granja para criar aves

Fuente: el autor

En la figura 3.16 se muestra la ubicación de los procesos productivos de la planta.

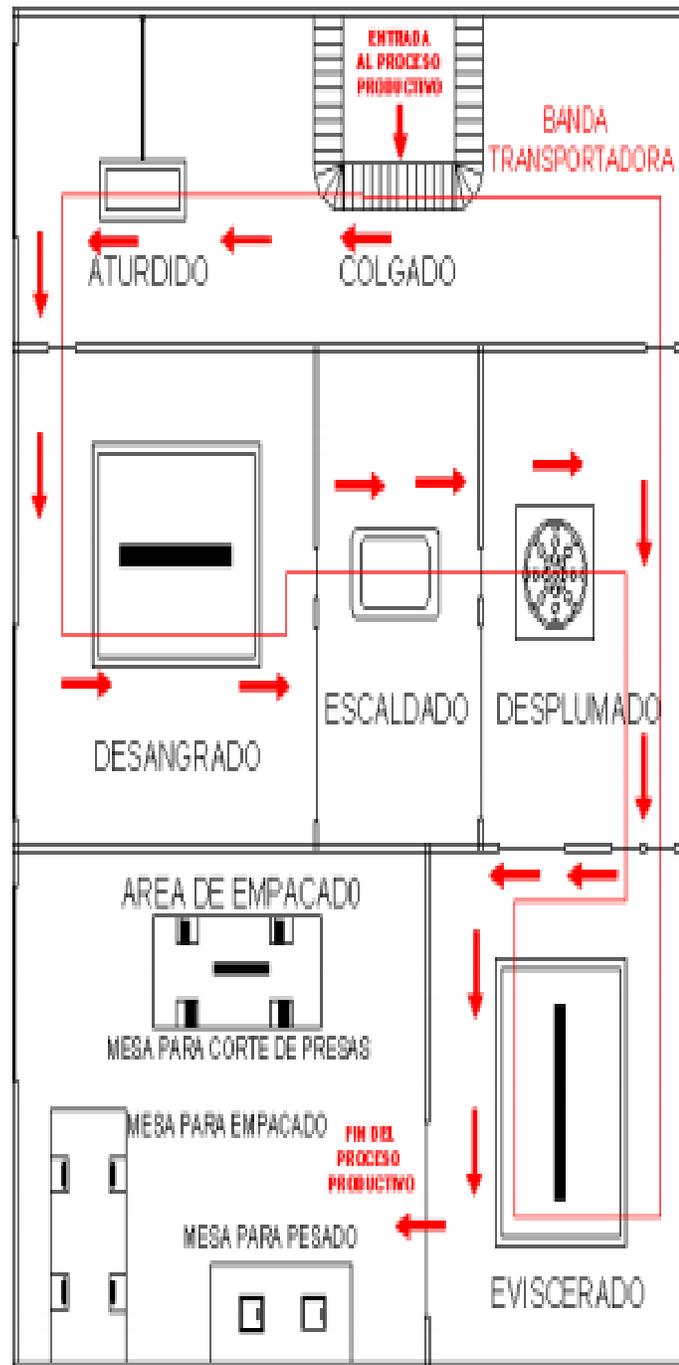


Figura 3. 16 Procesos de planta de producción de carne de pollo

Fuente: el autor

CAPÍTULO 4:

ANÁLISIS TERMOGRÁFICO

A continuación, se describen los equipos mecánicos y eléctricos en la planta INAVISA, previo al diagnóstico de operación por termografía.

4.1 Descripción de equipos mecánicos

La figura 4.1 muestra un motor asíncrono o de inducción trifásico.



Figura 4. 1 Datos técnicos del motor
Fuente: el autor

La tabla 4.1 muestra datos principales de la placa del motor

Tabla 4. 1 Datos Motor trifásico

Tipo	3 - PHASE ASYNCHRONOUS
Serie	15M11792
Año	2015 – 06
Potencia	5,5 kW
Voltaje	220 V
Amperaje	19,7 A
Frecuencia	50 Hz
Velocidad	1455 r/min
Cosφ	0,855
Peso	53 kg
Ip	2,1

Fuente: autor

La etapa de molinado emplea un motor y un mecanismo reductor el cual

reduce o disminuye la velocidad del mismo. En la figura 4.2 se muestra el equipo reductor.



Figura 4. 2 Equipo reductor

Fuente: autor

La tabla 4.2 muestra características del reductor en proceso de molinado.

Tabla 4. 2 Datos técnicos del reductor

Marca	HOSTING
Tipo	YJ160D
Año	2015 – 06
Potencia	5,5 kW
Voltaje	220 V
Amperaje	19,7 A
Frecuencia	50 Hz
Velocidad	1.0 m/s
Cosφ	0,855
Peso	550 kg
Relación de engranaje	36:1

Fuente: autor

La figura 4.3 muestra la Bomba Sta Rite principalmente considerada para misión en piscinas con agua de mar (40 ppm de concentración salina) monofásico de 0,37 kW. Y en la figura 4.4 se muestra el equipo extractor Marathon Electric monofásico de 1,12 kW y el accionamiento por banda.



Figura 4. 3 Bomba del proceso lavado

Fuente: autor



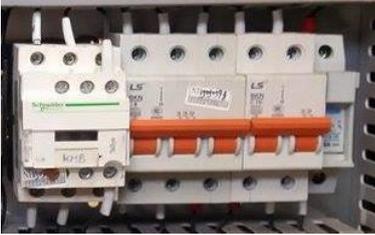
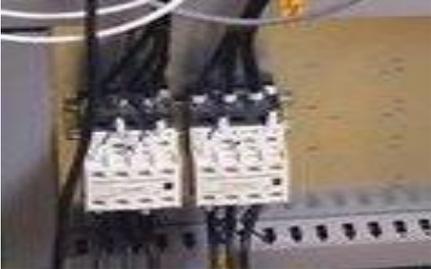
Figura 4. 4 Equipo extractor Marathon Electric y accionamiento por banda

Fuente: autor

4.2 Dispositivos mando, control y seguridad.

Cada uno de los componentes que conforman el tablero eléctrico desempeña diversas funciones los cuales están propensos a sufrir daños secundarios tanto en su estructura como en su maniobra, por defectuosa instalación, manejo y mantenimiento inoportuno de sus partes móviles y fijas.

Tabla 4. 3 Componentes de mando y control

Imagen	Nombre del componente
	<p>Banco de fusibles y condensadores</p>
	<p>Contactor e interruptores termomagnéticos</p>
	<p>Relés auxiliares</p>
	<p>Contactor y relés auxiliares</p>
	<p>Guarda motor</p>

Fuente. Autor

4.3 Diagnóstico termográfico de sistemas mecánicos y eléctricos

Se muestra el diagnóstico termográfico a equipos mecánicos y eléctricos de molinado y peletizado, los cuales forman parte del proceso para obtención de alimento balanceado para pollos.

4.3.1 Análisis termográfico en la caja de breakers.

El centro de carga, aloja disyuntores o breakers de diferente capacidad (amperios) los cuales efectúan la operación de protección para sobrecargas de tensión.

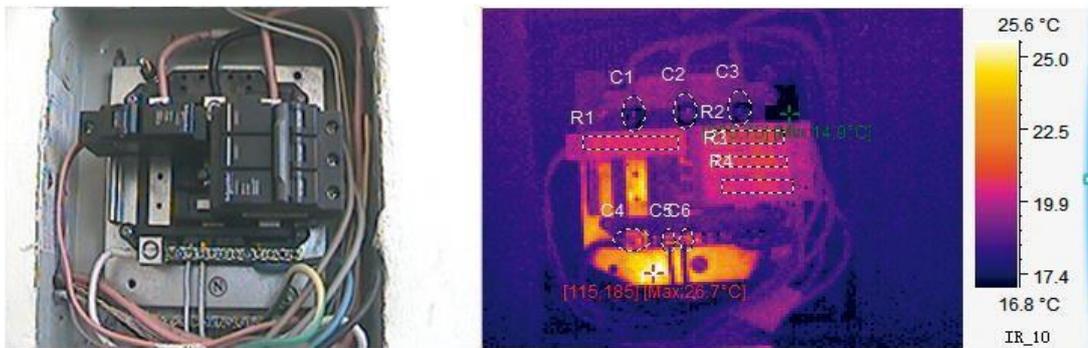


Figura 4. 5 Centro de carga o panel de breakers

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. 4 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

Diagnóstico:

Los breakers o disyuntores operan dentro de su temperatura normal de trabajo, ya que soportan temperaturas de trabajo hasta 55°C, donde la imagen termográfica del elemento tiene una temperatura máxima de 21°C, se determina que el elemento no presenta ningún tipo de falla.

Acciones a seguir:

Se debe considerar a los breakers en inspecciones mensuales, por fallas en la distribución de la corriente hacia el tablero de control.

4.3.2 Análisis termográfico en elementos de seguridad.

Consta de un banco de fusibles y condensadores, la protección con fusibles es frecuentemente utilizada para bancos de condensadores y pueden aplicarse para proteger unidades individuales o en grupo. A pesar de que la protección individual de condensadores tiene las ventajas de ser más selectiva, de permitir usar fusibles más pequeños y de indicar directamente la unidad fallada, presenta inconveniente.

En el caso de un banco conectado en estrella con neutro flotante, la falla y desconexión de algunas unidades en cualquiera de las fases, origina un desplazamiento eléctrico del neutro que, a su vez ocasiona una sobre tensión en los condensadores de las fases que han quedado con una mayor impedancia.

En caso de bancos conectados en estrella con neutro a tierra, o en delta, cuyas fases estén formadas por varias filas de condensadores conectados en serie-paralelo, la falla y desconexión de algunas unidades de las filas puede originar una redistribución de la tensión aplicada de la tensión aplicada en dichas filas.

En la figura 4.6 se muestra el diagnóstico termográfico a fusibles y banco de condensadores.

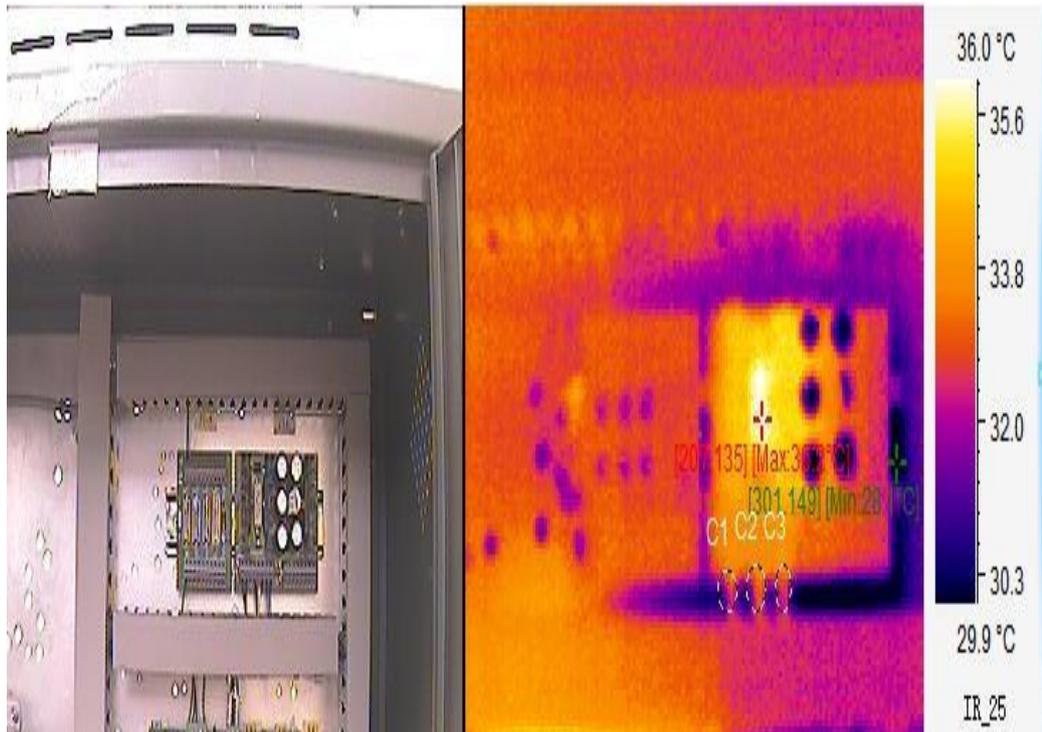


Figura 4. 6 Fusible y banco de condensadores

Fuente: Autor

La tabla 4.5 muestra valores por dicha inspección termográfica.

Tabla 4. 5 Diagnóstico de severidad de la resistencia de cemento

Elemento	T(máx)	ΔT	Severidad
5W220 Ω J TYH1.3.43	36.2 °C	17.1° C	Medio

Fuente: Autor

Diagnóstico:

La variación de temperatura ΔT de la resistencia de cemento se encuentra dentro de su temperatura de trabajo que es de 60°C se puede determinar que el elemento es aceptable para el funcionamiento.

Acción a seguir:

El fusible debe ser inspeccionado semestrales o cuando se realicen tareas de mantenimiento para establecer si sus parámetros de funcionamiento son los correctos.

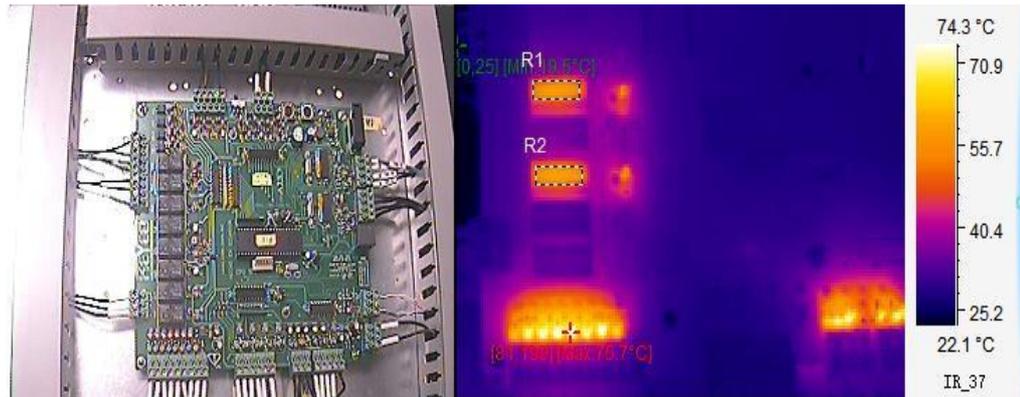


Figura 4. 7 Tarjeta electrónica de Variadores de frecuencia de motores asíncronos

Fuente: Autor

Tabla 4. 6. Diagnóstico de severidad del relé de estado solido

Elemento	T(max)	ΔT	Severidad
Midtex MDX2401	62.6 °C	43.5°C	Elevada

Fuente. El autor

Diagnóstico:

Existe un sobre calentamiento en el relé de mando ya que presenta un ΔT elevada, ya que este elemento soporta temperaturas de trabajo de 65°C, el cual podría afectar el correcto funcionamiento de la tarjeta electrónica y conllevara al paro del motor asíncrono.

Acciones a seguir:

Este elemento deberá ser inspeccionado mensualmente en función del plan de mantenimiento, para verificar la variación de temperatura y determinar las posibles fallas presentes en su funcionamiento.

4.3.3 Análisis termográfico de elementos de control.

Se inspecciona dispositivos relés de estado sólido, un contactor y breakers. Véase en la figura 4.8 la inspección termográfica.

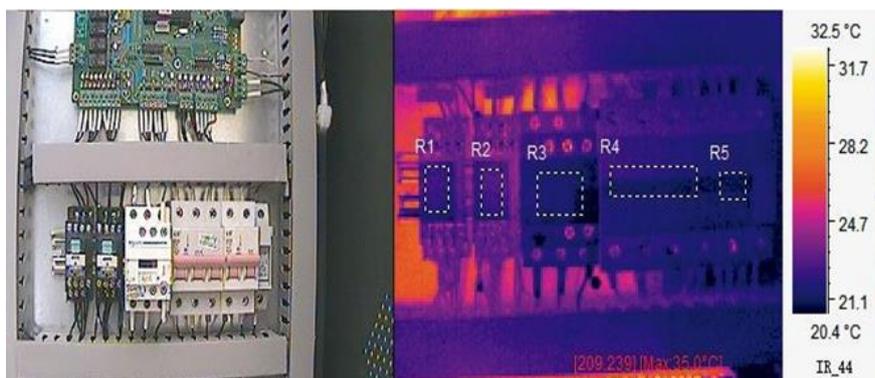


Figura 4. 8 Relés, Breakers y Contactores

Fuente: Autor

En la tabla 4.7 se muestran valores de algunos dispositivos de control y seguridad.

Tabla 4. 7 Diagnóstico de severidad del banco de seguridad de potencia

Elementos		T(max)	ΔT	Severidad
Relé	SIEMENS LZX: PT570024	22.8 °C	3.7° C	Baja
Relé	SIEMENS LZX: PT570024	23.4 °C	4.3° C	Baja
Contactador	TESYS CAD 32	22.2 °C	3.1° C	Baja
Breakers	LS BKN C6 400V	22.7 °C	3.6° C	Baja
Breakers	LS BKN C10 400V	22.0 °C	2.9° C	Baja

Fuente. El autor

Diagnóstico:

Cada uno de los elementos de seguridad trabaja en su temperatura normal, sin presentar alguna variación que los podría afectar su funcionamiento.

Acciones a seguir:

Cada uno de los elementos, deberán ser inspeccionados trimestralmente para establecer su correcto funcionamiento y descartar fallas.

4.3.4 Análisis termográfico de elementos de protección.

Consta de relés de estado sólido, de un contactor y protección de relé



Figura 4. 9 Elementos de protección

Fuente: Autor

Tabla 4. 8 Diagnóstico de severidad del banco de seguridad de potencia 2

Elementos		T(max)	ΔT	Severidad
Relé de estado solido	SIEMENS LZX: PT570730	44.4 °C	25.3°C	Alta
Relé de estado solido	SIEMENS LZX: PT570730	44.1 °C	25°C	Alta
Contactora	Tesys CAD 32	43.2 °C	24.1°C	Alta
Protección relé	Camsco VP-002	44.2 °C	25.1°C	Alta

Fuente: Autor

Diagnóstico:

Cada uno de los elementos se encuentra con un aumento de temperatura considerable, lo cual no excede su límite de temperatura de trabajo que es de 65°C, verificando que las temperaturas son normales para su funcionamiento.

Acción a seguir:

Cada elemento deberá ser inspeccionado semestralmente en función al plan de mantenimiento para identificar que sus parámetros de funcionamiento estén correctos y para establecer si los elementos presentan algún tipo de falla.

4.3.5 Análisis Termográfico de Guarda Motor

Estos elementos son encargados de proteger el motor en caso de alguna variación que pudiese afectar el correcto funcionamiento del motor. La figura 4.10 muestra un guarda motor.

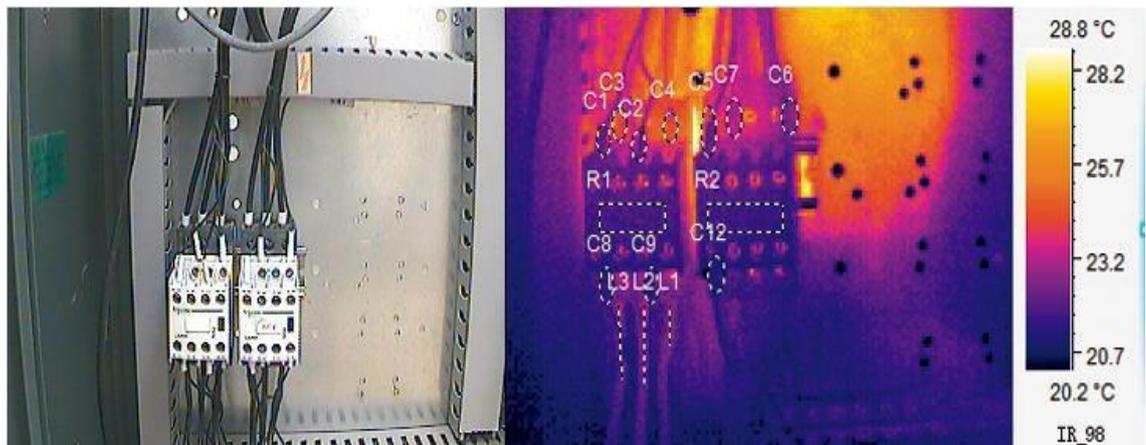


Figura 4. 10 Guarda motor

Fuente: Autor

La tabla 4.9 muestra valores de temperatura del guarda motor

Tabla 4. 9 Diagnóstico de severidad del guarda motor

Elemento		T(max)	ΔT	Severidad
Guarda motor	Tesys LADN31	22.2 °C	3.1°C	Baja
Guarda motor	Tesys LADN31	22.2 °C	3.1°C	Baja

Fuente: Autor

Diagnóstico:

Los guardas motores soportan 65°C ya que su función es proteger se encuentran en buen estado y en temperatura normal de trabajo, sin presentar ningún aumento de temperatura que pueda afectar su funcionamiento.

Acciones a seguir:

Realizar y registrar inspecciones semestrales en función al plan de mantenimiento por posibles fallas, que se puedan presentar.

Tabla 4. 10 Resumen de severidad de los elementos inspeccionados

Severidad	Nº
Elevada	1
Alta	5
Medios	1
Baja	8

Fuente: El autor

4.4 Inspección Termográfica

4.4.1 Tablero Eléctrico para Zaranda

A continuación, en la figura 4.11 se puede observar el tablero para Zaranda.

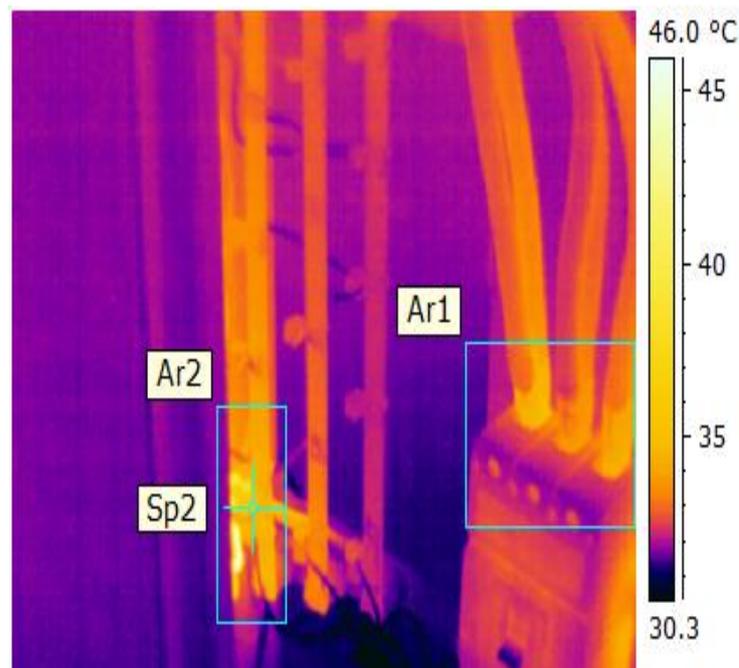


Ubicación	Salas de tableros eléctricos de avícola
Equipo	Tablero para zaranda

Figura 4. 11 Tablero eléctrico de avícola

Fuente. El autor

En la figura 4.12 se puede ver una imagen de termografía.



Ar1 Max. Temperatura	34.9 °C
Ar2 Max. Temperatura	46.0 °C
Sp2 Temperatura	34.8 °C

Figura 4. 12 Termograma

Fuente. El autor

Los análisis sobre la operación en el tablero eléctrico y equipos eléctricos se sintetizan en:

- Localización de la falla: ninguna
- Clasificación del problema: ninguna
- Causas del problema: ninguna
- Recomendaciones: ninguna

4.4.2 Tablero Eléctrico para Parapelles

La figura 4.13 muestra el tablero eléctrico de avícola INAVISA.

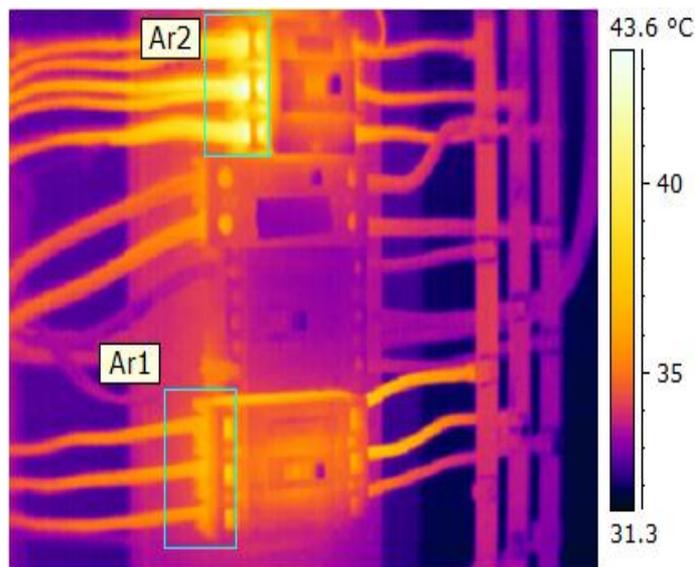


Ubicación	Salas de tableros eléctricos de avícola INAVISA
Equipo	Tablero para parapelles

Figura 4. 13 Tablero eléctrico de avícola

Fuente. El autor

La figura 4.14 muestra una imagen de termografía del tablero eléctrico de avícola mencionada.



Ar1 Max. Temperatura	38.1 °C
Ar2 Max. Temperatura	44.3 °C

Figura 4. 14 Termograma

Fuente. El autor

Los análisis de operación en el tablero eléctrico y los equipos eléctricos, se resumen en:

- Localización de la falla: Bornes de contactor
- Clasificación del problema: Precaución
- Causas del problema: Contacto deficiente entre conductor y borne de contactor. Suciedad en conexiones y posibles tornillos flojos.
- Recomendaciones: Limpiar la superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y borne de contactor. Asimismo, ajustar los tornillos suficientemente.

4.4.3 Banco de Transformadores para Avícola

En la figura 4.15 se aprecia un banco de transformadores de potencia, que alimentan de energía eléctrica a tableros de distribución de línea de procesados de Avícola INAVISA, en Manta.

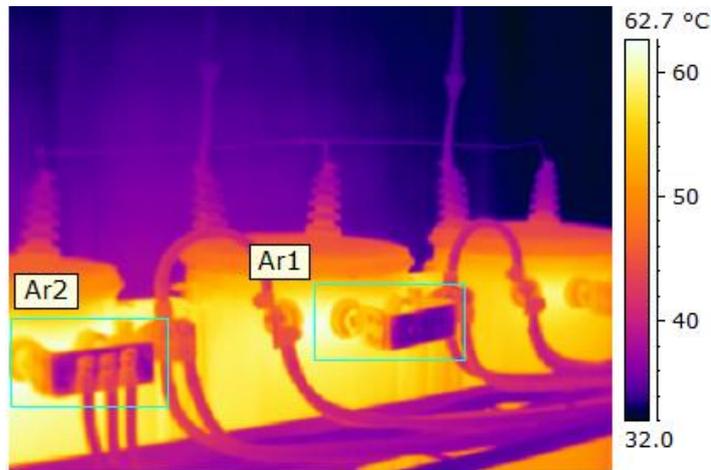


Ubicación	Subestación Eléctrica
Equipo	Banco de Transformadores Avícola

Figura 4. 15 Banco de transformadores Avícola

Fuente. El autor

En la figura 4.16 se puede observar una imagen de termografía del banco de transformadores Avícola.



Ar1 Max. Temperatura	61.8 °C
Ar2 Max. Temperatura	62.6 °C

Figura 4. 16 Termograma

Fuente. El autor

El análisis de operación de la subestación eléctrica y el equipo de banco de transformadores, se resumen en:

- Localización de la falla: ninguna

- Clasificación del problema: ninguna
- Causas del problema: ninguna
- Recomendaciones: ninguna

Banco de Transformadores #2

En la figura 4.17 se aprecia un banco de transformadores #2, el cual alimentan de energía eléctrica a tableros de distribución de línea de procesados de Avícola INAVISA, en Manta.

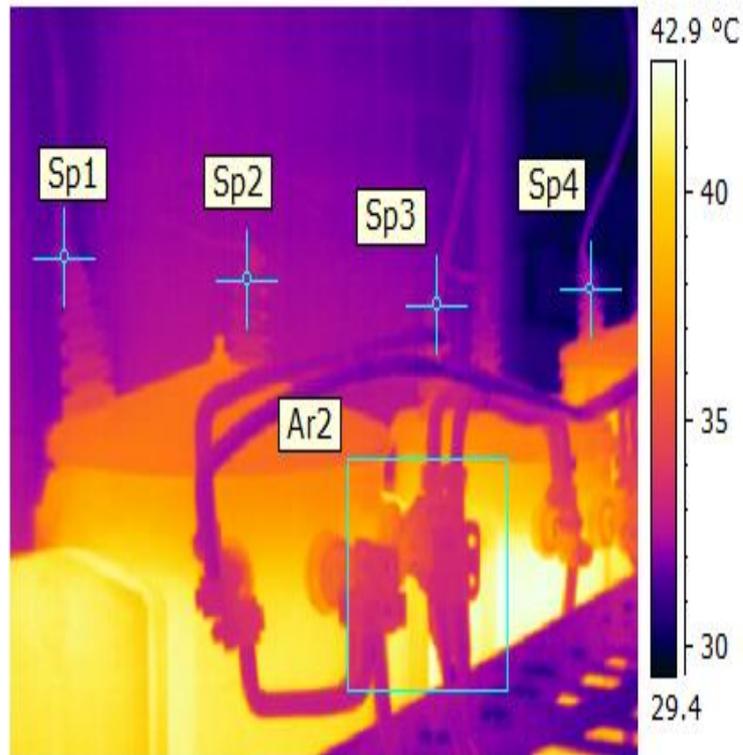


Ubicación	Subestación Eléctrica #2
Equipo	Banco de Transformadores # 2

Figura 4. 17 Banco de transformadores #2

Fuente. El autor

En la figura 4.18 se puede observar una imagen de termografía del banco de transformadores #2 de Avícola.



Ar2 Max. Temperatura	42.9 °C
Sp1 Temperatura	32.3 °C
Sp2 Temperatura	32.5 °C
Sp3 Temperatura	32.4 °C
Sp4 Temperatura	32.2 °C

Figura 4. 18 Termograma

Fuente. El autor

El análisis de operación de la subestación eléctrica #2 y el equipo de banco de transformadores #2, se resumen en:

- Localización de la falla: ninguna
- Clasificación del problema: ninguna
- Causas del problema: ninguna
- Recomendaciones: ninguna

4.4.5 Tablero Eléctrico Compresor #1-100 Hp

En la figura 4.19 muestra un tablero eléctrico compresor #1, para Avícola INAVISA.

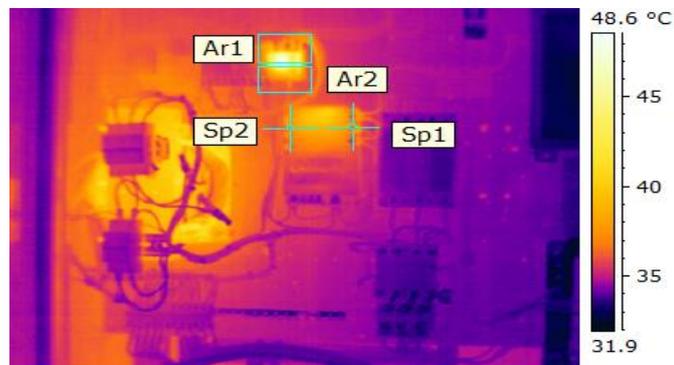


Ubicación	Equipo Blend
Equipo	Tablero Eléctrico Compresor #1-100 Hp

Figura 4. 19 Tablero Eléctrico Compresor #1

Fuente. El autor

A continuación, en la figura 4.20 se puede observar una imagen de termografía del tablero eléctrico compresor #1-100 Hp.



Ar1 Max. Temperatura	46.9 °C
Ar2 Max. Temperatura	48.6 °C
Sp1 Temperatura	36.3 °C
Sp2 Temperatura	37.0 °C

Figura 4. 20 Termograma

Fuente. El autor

Análisis y recomendaciones:

- Localización de la falla: ninguna
- Clasificación del problema: ninguna
- Causas del problema: ninguna

4.4.6 Tablero Eléctrico Equipo # 1

En la figura 4.21 puede apreciar el tablero eléctrico de equipo #1.

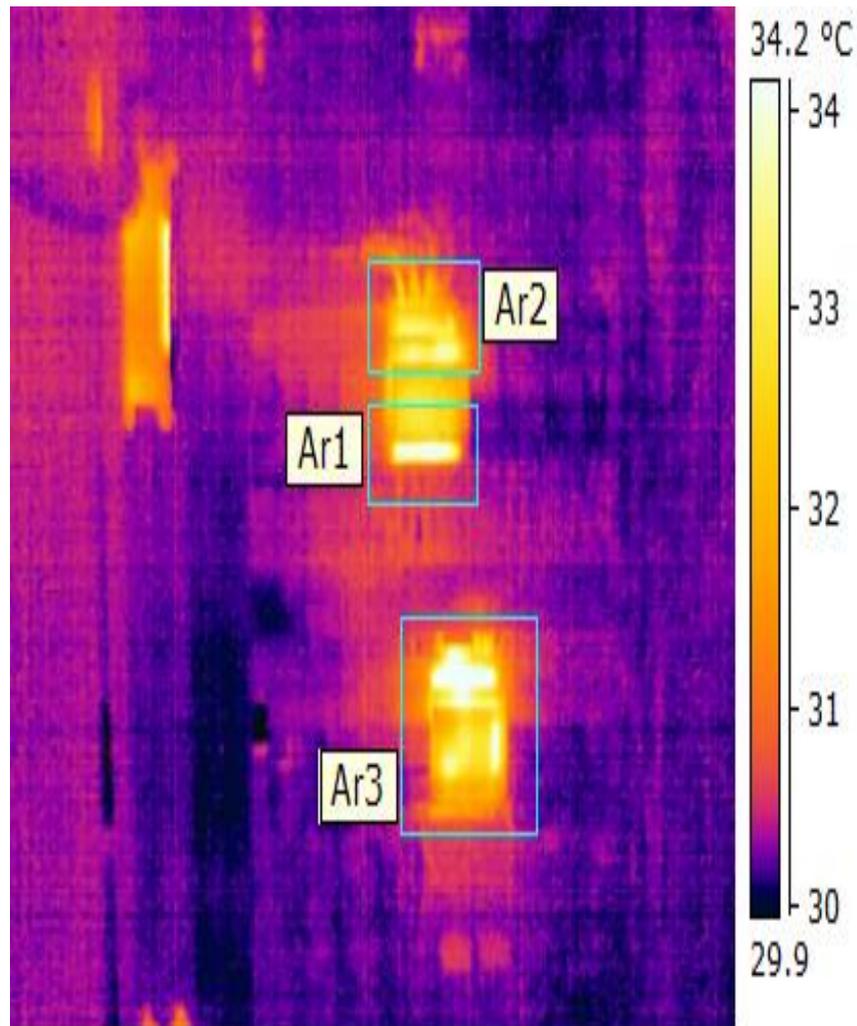


Ubicación	Cámara Aséptica
Equipo	Tablero Eléctrico Equipo # 1

Figura 4. 21 Tablero Eléctrico Equipo # 1

Fuente. El autor

La figura 4.22 muestra una imagen de termografía del Tablero Eléctrico Equipo # 1.



Ar1 Max. Temperatura	35.1 °C
Ar2 Max. Temperatura	33.8 °C
Ar3 Max. Temperaturea	38.0 °C

Figura 4. 22 Termograma

Fuente. El autor

Análisis y recomendaciones:

- Localización de la falla: ninguna
- Clasificación del problema: ninguna
- Causas del problema: ninguna
- Recomendaciones: ninguna

Conclusiones

A través del diagnóstico termográfico se puede descubrir, comparar y determinar una variación de temperatura (comparando con registros anteriores; diarios, semanales y/o mensuales), a infraestructuras eléctricas y mecánicas, entonces se pueden detectar fallas que comienzan a producirse y que podrían generar, a corto o mediano plazo, una parada del proceso productivo de la planta y por consiguiente un posible escenario peligroso que afecten al personal e instalaciones de la planta.

El diagnóstico termográfico en sistemas eléctricos puede detectar componentes defectuosos basándose en la elevación de la temperatura como resultado de un aumento anormal de su resistencia óhmica. Si se trata de motores eléctrico, ayuda a la identificación de fallas causadas por el calor excesivo del devanado, aislamientos defectuosos, entre otros aspectos más.

La termografía se utiliza para determinar puntos calientes en la superficie de un motor mientras está operando. El enfriamiento deficiente debido a la alta temperatura ambiente, los conductos obstruidos, etc., son ejemplos típicos de estrés por temperatura no inducido eléctricamente tanto en el motor como en el sistema de aislamiento. Las sustancias químicas abrasivas en el aire, la operación húmeda y la operación a gran altitud son algunas de las tensiones ambientales comunes.

Las fallas en los cojinetes y en las bobinas son las fallas más comunes en los motores. La razón fundamental suele ser el calor excesivo.

Las prácticas de mantenimiento preventivo frecuentemente limitan las mediciones eléctricas en línea para interpretar los niveles actuales.

La mejor manera de garantizar un mantenimiento y monitoreo preventivo exitoso es realizar pruebas de acuerdo con NEMA y otras normas profesionales.

Recomendaciones

En caso de registrarse mediante una termografía puntos calientes en las conexiones, debe proceder a limpiar y reajustar los mismos.

Periódicamente debe revisarse todas las conexiones externas del transformador para verificar sus condiciones. Se revise en los tableros eléctricos el ajuste general de tornillos, juntas, etc.

Esto evita posibles fallas que implique un riesgo mayor al funcionamiento del equipo, así se puede evitar la parada de máquina en producción de la planta INAVISA.

Realizar acciones de mantenimiento preventivo ligados a los resultados de las acciones de monitoreo periódicas efectuadas por termografía y otras técnicas como vibración de motor, ultrasonido etc.

Periódicamente debe revisarse todas las conexiones a tierra del transformador para verificar sus condiciones. Esto evita posibles fallas que implique un riesgo mayor al funcionamiento del equipo.

Bibliografía

Land Instruments International. (2004). *GUÍA BÁSICA PARA LA TERMOGRAFÍA USANDO IMÁGENES TÉRMICAS*.

APLITER. (2014). *Aplicaciones de la Termografía Infrarroja: MANTENIMIENTO PREDICTIVO*. Obtenido de <http://apliter.com/es/noticia/aplicaciones-de-la-termografia-infrarroja-mantenimiento-predictivo>

Cedeño, D., & María Zambrano. (2016). *INCIDENCIA DE LOS RIESGOS FÍSICOS Y MECÁNICOS EN LA SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL DE LOS TRABAJADORES DE LA PLANTA AVIPECHICAL*. Obtenido de <http://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/502/1/TMA101.pdf>

INDUNOVA. (2014). *Termografía: ¿Cuáles son las causas que originan puntos calientes en un sistema eléctrico?* Obtenido de https://indunova.es/es_ES/termografia-cuales-son-las-causas-que-originan-puntos-calientes-en-un-sistema-electrico/

Institution of Engineering and Technology (IET) . (2015).

Instituto de energía y termodinámica - UPB. (2015).

Loján, F. (2018). *Estudio termográfico y análisis preventivo del sistema eléctrico y motores eléctricos en la procesadora Bojan S.A.* Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/11352/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-149.pdf>

Picazo Ródenas, M. (2016). *DIAGNÓSTICO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS MEDIANTE TÉCNICAS DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA*. Obtenido de UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA-DPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA: <https://es.scribd.com/document/352736657/PICAZO-Diagnostico->

de-Maquinas-Elctricas-Mediante-Tecnicas-de-Termografia-
Infrarroja

- Quintana, P. (2016). *Termografía en motores eléctricos*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2762>
- Roydisa. (2018). *Placa de identificación de motores eléctricos*. Obtenido de <https://www.roydisa.es/placa-de-identificacion-de-motores-electricos-que-nos-dice/>
- Schwoegler, M. (2014). *Fundamentos de la termografía infrarroja*.
- SIEMENS. (2010). *Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of DC Motors*. Obtenido de <http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?dcd:1:1:1>.
- Todo productividad. (2010). *Los motores de corriente continua y sus aplicaciones en eficiencia energética*. Obtenido de <http://todoproductividad.blogspot.com/2010/07/los-motores-de-corriente-continua-y-sus.html>
- Traxco. (2016). *Problemas en motores eléctricos*. Obtenido de <https://www.traxco.es/problemas-de-motores-electricos/>
- UTN. (2012). *MÁQUINAS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS*. Obtenido de http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs/APUNTES_MAQUINAS_ELECTRICAS-_U_3_v1.1.pdf
- Vollmer, M., Möllmann, , K., & Royo, P. (2013). *TERMOGRAFÍA INFRARROJA*. Valencia, España: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA VALENCIA.
- Wegnet. (2012). *Daños en bobinados de motores eléctricos*. Obtenido de <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-danos-em-enrolamentos-motores-trifasicos-50009255-guia-de-instalacao-portugues-br.pdf>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Izquierdo Sócola, Ismael Alex** con C.C: 0910356146 autor del trabajo de titulación: **Análisis termográfico del sistema de accionamiento eléctrico en la avícola INAVISA, en la ciudad de Manta**, previo a la obtención del Título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánico** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, **18 Febrero de 2019**

Izquierdo Sócola, Ismael Alex

C.C: 0910356146



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Análisis termográfico del sistema de accionamiento eléctrico en la avícola INAVISA, en la ciudad de Manta.		
AUTOR(ES)	Izquierdo Sócola, Ismael Alex		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael, MSc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Eléctrico-Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico-Mecánico con Mención en Gestión Empresarial Industrial		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	DE 15 de marzo del 2019	No. PÁGINAS:	DE 80
ÁREAS TEMÁTICAS:	Potencia eléctrica, Máquinas eléctricas estáticas, Manufactura		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Motor Eléctrico, Termografía, Sistema Eléctrico, Mantenimiento Predictivo.		

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):

El presente trabajo de titulación plantea como objetivo principal, el análisis termográfico a máquinas eléctricas giratorias en la industria INAVISA de la ciudad de Manta, a través del diagnóstico termográfico a motores eléctricos, conexiones, bornes y puntos críticos por temperatura de motores eléctricos. De esa manera se puede reducir costosas reparaciones o reposiciones de los mismos. Asimismo, la termografía puede proporcionar un diagnóstico rápido de los problemas en la puesta en servicio, la operación y el mantenimiento de máquinas eléctricas en una industria.

La metodología empleada es descriptiva por cuanto detalla el método de análisis de sistema eléctrico y diagnóstico de fallos de motores, a través de la termografía emplea el método empírico por cuanto se maneja equipo y software de



diagnóstico termográfico. Como resultado del trabajo se expondrá estado de operación de motores eléctricos y transportadores mecánicos que utiliza la planta INAVISA de la ciudad de Manta.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-991290710	E-mail: (alexlibra11@hotmail.com)
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Ing. 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):		