



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**TEMA:**

**Estudio termográfico y análisis preventivo del sistema  
eléctrico y motores eléctricos en la procesadora Bojan S.A**

**AUTOR:**

**Loján Feijoo, Fausto Fabián**

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

**TUTOR:**

**MSc. Heras Sánchez, Miguel Armando**

**Guayaquil - Ecuador**

**14 de septiembre del 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

### **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Loján Feijoo, Fausto Fabián** como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico Mecánico.

### **TUTOR**

---

**MSc. Heras Sánchez, Miguel Armando**

### **DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**MSc. Heras Sánchez, Miguel Armando**

**Guayaquil, 14 de septiembre del 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Loján Feijoo, Fausto Fabián**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Estudio termográfico y análisis preventivo del sistema eléctrico y motores eléctricos en la procesadora Bojan S.A,** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica** ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

**Guayaquil, 14 de septiembre del 2018**

**EL AUTOR:**

---

**LOJÁN FEIJOO, FAUSTO FABIÁN**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

## AUTORIZACIÓN

Yo, **Loján Feijoo, Fausto Fabián**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Estudio termográfico y análisis preventivo del sistema eléctrico y motores eléctricos en la procesadora Bojan S.A.**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, 14 de septiembre del 2018**

**EL AUTOR:**

---

**LOJÁN FEIJOO, FAUSTO FABIÁN**

## REPORTE URKUND

The screenshot shows the URKUND web interface. At the top, there is a navigation bar with the URKUND logo and user information for Orlando Pineda Aguilar. Below this, a sidebar contains document details: 'Documento: TESIS FINAL FAUSTO LOJAN - 28.0324 (341158070)', 'Presentado: 2018-08-30 20:32 (-05:00)', 'Presentado por: orlandopineda\_7@hotmail.com', 'Recibido: orlando.pineda.112@analisis.arkund.com', and 'Mensaje: TESIS FAUSTO LOJAN OK. [Mostrar el mensaje completo](#)'. A yellow box highlights '3% de estas 40 páginas, se componen de texto presente en 1 fuente.'. To the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) table is visible, containing several entries with categories and links. The main content area displays the thesis title: 'DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL'. Below the title, it lists the author 'AUTOR: [Lujan Fejoo, Fausto Fabián](#)', the work description 'Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánica', the tutor 'TUTOR: Heras Sánchez, Armando', and the location 'Guayaquil - Ecuador'. At the bottom, there is a 'Mostrar todo' button.

Reporte Urkund del Trabajo de Titulación denominado: **Estudio termográfico y análisis preventivo del sistema eléctrico y motores eléctricos en la procesadora Bojan S.A** del estudiante **Loján Feijoo, Fausto Fabián**. Se encuentra al 3 % de coincidencias.

**Atentamente**

**Ing. Armando Heras Sánchez, MSc.**

Revisor del Trabajo de Titulación

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios todopoderoso por llenarme de sabiduría, comprensión, dedicación y paciencia ante los obstáculos que me pude topar a lo largo de mi carrera.

A mi familia, en especial a mi madre, mi padre y mi tía que siempre han estado ahí para apoyarme en cada una de mis decisiones; por ser partícipe de este camino lleno de alegrías, tristezas, esperanzas, anhelos y metas; por todo el amor y cariño que me han brindado sin esperar nada a cambio, pues ahora pueden tener la grata recompensa de haberme guiado por el camino del bien.

A mis compañeros de estudios, Carlos B, Javier C, Jean V, Francisco M. Que han estado en todo momento desde que empezamos la carrera universitaria apoyándonos mutuamente.

A las personas que compartieron momentos trascendentales y anécdotas en mi vida fuera de mi hogar Carlos A, Cristhian R, Francisco R, Diego A, Galo C, Stalin S. Siempre estarán presentes en mi corazón.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a las personas que forma parte de mi vida, mi esposa Daniela González, mi hijo Daniel Lojan, a mis sobrinas que llenan de alegría mi corazón Dannita, Samira y Marie.



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**ING. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS M.Sc.**

DECANO

---

**ING. RAÚL MONTENEGRO TEJADA, M.Sc.**

COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA

---

**ING. VALLEJO SAMANIEGO, LUIS VICENTE M.Sc.**

OPONENTE



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO 1.....	2
INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Antecedente.....	2
1.2 Justificación.....	3
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
PARTE I MARCO TEÓRICO.....	5
CAPÍTULO 2.....	5
MOTORES ELÉCTRICOS.....	5
2.1 Descripción General.....	5
2.2 Construcción de un motor .....	7
2.2.1 El estator .....	7
2.2.1.1 Marco del motor.....	7
2.2.1.2 Trayectoria magnética .....	7
2.2.1.3 Conjunto de devanados eléctricos aislados.....	8

2.2.2	El Rotor.....	8
2.2.2.1	Motor de inducción del tipo de jaula de ardilla .....	9
2.2.2.2	Motor de tipo de rotor bobinado de inducción.....	9
2.2.3	Operación .....	10
2.3	Clasificación según uso industrial .....	12
2.3.1	Motores de corriente continua .....	13
2.3.2	Motores Asíncronos:.....	14
2.3.3	Clasificación de los Motores Asíncronos .....	15
2.3.4	Motores Síncronos.....	20
2.3.4.1	Características de operación de los motores síncronos .....	20
2.4	Parámetros de Selección en Motores .....	20
2.4.1	Análisis del Rendimiento .....	20
2.4.2	Selección Óptima de la Potencia de Motores .....	22
2.5	Instalación de Motores Trifásicos en lugar de Monofásicos .....	23
2.6	Leyes de funcionamiento del Motor Eléctrico.....	24
2.7	Fallas frecuentes en Motores Eléctricos.....	28
2.7.1	Fallas en los sistemas de protección y control .....	29
2.7.2	Fallas originadas en la operación .....	29
2.7.3	Fallas debidas a la no calidad de la energía .....	30
2.8	Fallos Eléctricos .....	36
2.8.1	Fallos en el Estator .....	36
2.8.2	Fallo en el núcleo del estator. ....	37
2.8.3	Fallo en el devanado del estator. ....	37

2.8.4 Fallas en el Rotor.....	39
CAPÍTULO 3.....	42
LA TERMOGRAFÍA EN MOTORES ELÉCTRICOS .....	42
3.1 La termografía.....	42
3.2 La Cámara Termográfica .....	43
3.3 Termografía infrarroja en fallas de motores eléctricos .....	44
3.3.1 Termogramas.....	44
3.3.2 Parámetros técnicos de una cámara térmica.....	45
PARTE II APORTACIONES.....	48
CAPÍTULO 4.....	48
LEVANTAMIENTO DE DATOS DE LAS MÁQUINAS.....	48
4.1 Equipos de línea de producción de puré de banano.....	48
4.1.1 Cámara de maduración.....	48
4.1.2 Lavadora .....	49
4.1.3 Banda de selección.....	50
4.1.4 Banda elevadora .....	50
4.1.5 Pulpeadora a vacío .....	51
4.1.6 Inactivador enzimático de superficie raspada .....	51
4.1.7 Turbo separador centrífugo.....	52
4.1.8 Desaireador .....	52
4.1.9 Pasteurizadores de superficie raspada .....	53
4.1.10 Llenadoras asépticas .....	53

CAPÍTULO 5.....	55
ANÁLISIS TERMOGRÁFICO.....	55
5.1 Inspección termográfica.....	56
5.1.1 Tablero de Distribución # 1 Superior.....	57
5.1.2 Tablero de Distribución # 1 Inferior .....	58
5.1.3 Tablero de Distribución # 2 Superior.....	59
5.1.4 Tablero de Distribución # 2 Inferior .....	61
5.1.5 Tablero de Distribución # 3 Superior.....	62
5.1.6 Panel de Distribución # 3 Inferior .....	64
5.1.7 Banco de condensador de banano y maracuyá .....	65
5.1.8 Tablero Banano # 3 Superior .....	66
5.1.9 Tablero Banano # 3 Medio .....	67
5.1.10 Tablero de Banano # 2 Superior .....	68
5.1.11 Tablero de Distribución de Bombas Alumbrado Superior .....	70
5.1.12 Tablero de Distribución Bombas - Alumbrado Inferior .....	71
5.1.13 Tablero de Distribución Principal Blend Superior .....	72
5.1.14 Breacker Principal Blend Superior .....	74
5.1.15 Breacker Principal Blend Inferior.....	75
5.1.16 Banco de Transformadores Banano y Maracuyá.....	76
5.1.17 Tablero Banco Condensador (cámara maduración) .....	77
5.1.18 Breacker Principal Superior (Cámara de Maduración).....	78
CAPÍTULO 6.....	80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	80

6.1 CONCLUSIONES .....	80
6.2 RECOMENDACIONES .....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2:

Figura: 2. 1 Un motor de inducción (disecado) .....	6
Figura: 2. 2 Circuito magnético del estator y rotor de un motor de inducción	7
Figura: 2. 3 Estator de un motor de inducción .....	8
Figura: 2. 4 Rotor de jaula de ardilla .....	9
Figura: 2. 5 Rotor de anillo deslizante.....	10
Figura: 2. 6 Tipos de motores de corriente directa (CD) .....	13
Figura: 2. 7 Constitución de un motor de jaula de ardilla. ....	16
Figura: 2. 8 Características típicas de motores asíncronos .....	18
Figura: 2. 9: Curvas de operación y arranques estándares .....	19
Figura: 2. 10 Variadores de velocidad .....	19
Figura: 2. 11 Eficiencia de motores.....	20
Figura: 2. 12 Naturaleza de las pérdidas en motores .....	21
Figura: 2. 13 Elección de un motor eléctrico óptimo .....	22
Figura: 2. 14 Selección de motores en función de su potencia y velocidad .	22
Figura: 2. 15 Motor monofásico .....	23
Figura: 2. 16 Perturbaciones frecuentes que afectan la calidad de la potencia eléctrica .....	31
Figura: 2. 17 Fuentes de fallo en las máquinas eléctricas rotativas.....	34
Figura: 2. 18 Principales fallos de máquinas eléctricas, según la naturaleza del fallo .....	35
Figura: 2. 19 Clasificación de los principales fallos de máquinas eléctricas	35

Figura: 2. 20 Clasificación propia de fallos eléctricos .....	36
Figura: 2. 21 Cortocircuito en el devanado estático.....	39
Figura: 2. 22 Muestras de barras rotas: protrusión de barras hacia el exterior (a), desprendimiento de fragmentos de barras rotas (b), rotor con barras rotas (c).....	40
<b>Capítulo 3:</b>	
Figura: 3. 1 termografía aplicada a un motor eléctrico.....	43
Figura: 3. 2 Cámara termográfica .....	44
Figura: 3. 3 Cámara térmica con grabación de imágenes y sonido .....	45
<b>Capítulo 4:</b>	
Figura: 4. 1 Interior de una cámara de maduración .....	49
Figura 4. 2 Lavadora.....	49
Figura 4. 3 Banda de selección.....	50
Figura 4. 4 Banda elavadora.....	50
Figura 4. 5 Pulpeadora a vacío .....	51
Figura 4. 6 Inactivador enzimático de superficie raspada .....	51
Figura 4. 7 Turbo separador centrífugo .....	52
Figura 4. 8 Desaireador .....	52
Figura 4. 9 Pasteurizador de superficie raspada.....	53
Figura 4. 10 Pasteurizador de superficie raspada.....	54

## Capítulo 5:

Figura: 5. 1 Inspección por medio de Termogramas.....	56
Figura 5. 2 Tablero de distribución #1 superior.....	57
Figura: 5. 3 Termograma .....	58
Figura: 5. 4 Tablero de distribución # 1 inferior.....	58
Figura: 5. 5 Termograma .....	59
Figura: 5. 6 Tablero de distribución # 2 superior.....	59
Figura: 5. 7 Termograma .....	60
Figura: 5. 8 Tablero de distribución # 2 inferior.....	61
Figura: 5. 9 Termograma .....	61
Figura: 5. 10 Tablero de distribución # 3 superior.....	62
Figura: 5. 11 Termograma .....	63
Figura: 5. 12 Panel de distribución # 3 Inferior .....	64
Figura: 5. 13 Termograma .....	64
Figura: 5. 14 Banco de condensador banano y maracuyá.....	65
Figura: 5. 15 Termograma .....	65
Figura: 5. 16 Tablero banano # 3 superior.....	66
Figura 5. 17 Termograma .....	66
Figura: 5. 18 Tablero banano # 3 Medio .....	67
Figura: 5. 19 Termograma .....	67
Figura: 5. 20 Tablero de Banano # 2 Superior.....	68
Figura: 5. 21 Termograma .....	69
Figura: 5. 22 Tablero de distribución de bombas- alumbrado superior .....	70



Figura: 5. 23 Termograma .....	70
Figura: 5. 24 Tablero de distribución de bombas- alumbrado inferior .....	71
Figura 5. 25 Termograma .....	72
Figura: 5. 26 Tablero de distribución principal Blend superior .....	72
Figura: 5. 27 Termograma .....	73
Figura: 5. 28 Breacker principal Blend superior .....	74
Figura: 5. 29 Termograma .....	74
Figura: 5. 30 Breacker principal Blend inferior .....	75
Figura: 5. 31 Termograma .....	75
Figura: 5. 32 Banco de transformadores de Banano y Maracuyá .....	76
Figura: 5. 33 Termograma .....	77
Figura: 5. 34 Tablero banco condensador (cámara maduración) .....	77
Figura: 5. 35 Termograma .....	78
Figura: 5. 36 Breacker Principal Superior (Cámara de maduración).....	78
Figura: 5. 37 Termograma .....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo 2:

Tabla 2. 1 Varias clases de motor de inducción de jaula de ardilla.....	12
Tabla 2. 2 Factores de potencia típicos en motores asíncronos.....	18
Tabla 2. 3 Causas y efectos de las fallas más frecuentes en un motor eléctrico .....	32
Tabla 3. 1 Ventajas y desventajas de las prácticas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo (de ejecución) .....	47

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación plantea como objetivo principal el monitoreo de sistemas eléctricos y análisis preventivo de motores eléctricos en la industria a través del diagnóstico termográfico, de tal manera que abarque análisis de tableros eléctricos, conexiones, bornes, transformadores, fusibles y empalmes eléctricos y puntos críticos por temperatura de motores eléctricos, con el fin de detectar un problema potencial. 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 exploratorio por cuanto se obtendrá información vital para formalizar el análisis del estado eléctrico de infraestructura de fuerza y de motores de inducción en la planta industrial Bojan S.A. Como resultado del trabajo se emitirá conclusiones y recomendaciones que se expresará a través del análisis termográfico, esto permite ahorrar tiempo, recursos y seguridad industrial del personal de trabajo de la industria Bojan S.A.

**PALABRAS CLAVES:** ANÁLISIS INFRARROJO, TERMOGRAFÍA. SISTEMA ELÉCTRICO, MOTOR INDUCCIÓN, MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

## **ABSTRACT**

The present work of titulation raises like main objective the monitoring of electrical systems and preventive analysis of electric motors in the industry through the thermographic diagnosis, in such a way that it includes analysis of electrical panels, connections, terminals, transformers, fuses and electrical connections and critical points by temperature of electric motors, in order to detect a potential problem. The methodology used is descriptive in that it details the method of electrical system analysis and motor failure diagnosis through thermography, it uses the exploratory method in that vital information will be obtained to formalize the analysis of the electrical status of power infrastructure and induction motors in the Bojan industrial plant. As a result of the work, conclusions and recommendations will be issued that will be expressed through the thermographic analysis, this saves time, resources and industrial safety of the work personnel of the Bojan industry.

**KEY WORDS:** INFRARED ANALYSIS, THERMOGRAPHY. ELECTRICAL SYSTEM, INDUCTION MOTOR, PREDICTIVE MAINTENANCE

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Antecedente**

La Planta procesadora Bojan S.A., ubicada en la ciudad de Machala provincia de El Oro, desde hace más de una década desarrolla la industrialización de derivados del banano no exportable, inició con la elaboración del puré de banano aséptico (100% natural) y en últimos años ha diversificado sus productos y procesa en su totalidad con la misma tecnología aséptica; mango y limón. En el procesamiento debe lograr las exigencias de competitividad y eficiencia para su exportación. Es por aquello que requiere la disponibilidad y operación de las diversas máquinas.

El proceso de mantenimiento en la planta no es el adecuado por aquello se pretende el diagnóstico planificado y eficiente del estado de estructura del sistema eléctrico y motores, para así proveer el adecuado mantenimiento y disponibilidad de todas las máquinas, aumentando su disponibilidad, y reduciendo las fallas inoportunas; alcanzando así la optimización de la calidad y la disminución de costos de mantenimiento.

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 relevante importancia debido a la enorme cantidad de energía consumida en los procesos mecánicos, térmicos y eléctricos; y al alto costo subsecuente de la energía desperdiciada.

Usualmente, la medición de flujos térmicos involucra la medición de temperatura, siendo necesario entonces un dispositivo que cambie de color en un pequeño rango de temperatura, haciéndose necesaria la utilización de la termografía infrarroja (TI), que permite la realización de un correcto mapeo superficial de temperatura aun en presencia de altos gradientes de temperatura espacial y/o flujo térmico.

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

## **1.2 Justificación**

El procedimiento de diagnóstico termográfico a través de la cámara termográfica suministra imágenes térmicas para así mostrar puntos críticos de temperatura las cuales según la norma técnica la valora como pérdidas de calor en partes sometidas a demasiado esfuerzo mecánico, térmico y eléctrico principalmente en motores y en equipos industriales

## **1.3 Planteamiento del Problema**

Baja disposición o disponibilidad de máquinas por proceso de mantenimiento en la planta procesadora Bojan S.A. se presenta intempestivas paralizaciones que afectan la productividad de la planta.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Aplicar estudio termográfico y análisis preventivo del sistema eléctrico y motores eléctricos en la procesadora Bojan S.A.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Describir la operación de máquinas en procesamiento de puré de banano.
- Identificar el estado del sistema eléctrico y motores de la planta procesadora Bojan S.A.
- Establecer el diagnóstico de fallas en sistema eléctrico y motores eléctricos de la línea de procesamiento de puré de banano en planta Bojan S.A

## **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 línea de producción de puré de banano en la procesadora Bojan S.A

Exploratorio: Por cuanto se debe aplicar procedimiento termográfico al sistema eléctrico y motores de la planta Bojan S.A como alternativa de diagnóstico para un mantenimiento eficiente.

Explicativo: Por cuanto aporta con estipulaciones y recomendaciones de fallas en motores eléctricos de inducción, línea de proceso de puré de banano, así como detallar el método de diagnóstico de fallas en tablero el eléctrico y motores a través de uso de cámaras termográficas.

## **PARTE I      MARCO TEÓRICO**

### **CAPÍTULO 2**

#### **MOTORES ELÉCTRICOS**

##### **2.1 Descripción General**

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.

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)

Pero según (Picazo Ródenas, 2016) los motores eléctricos rotativas son aquellas que permiten la conversión entre distintos tipos de energía, gracias a la combinación de los efectos de campos magnéticos y corrientes eléctricas. Mediante su utilización, es posible obtener energía eléctrica a partir de energía mecánica y realizar el proceso inverso, actuando como generador o como motor respectivamente.

En efecto, en todo motor eléctrico existen dos tipos de devanados: 'el inductor', que origina el campo magnético para inducir las tensiones correspondientes y el segundo devanado, denominado 'inducido', en ella salen las corrientes eléctricas que producen el par de funcionamiento deseado (torque). El espacio entre el rotor y el estator es constante y éstos reciben el nombre de 'entrehierro'. Pues, el efecto de las intensidades que atraviesan el rotor y el estator, crean campos magnéticos en el entrehierro. Por lo tanto, la interacción de estos campos magnéticos con las intensidades que atraviesan



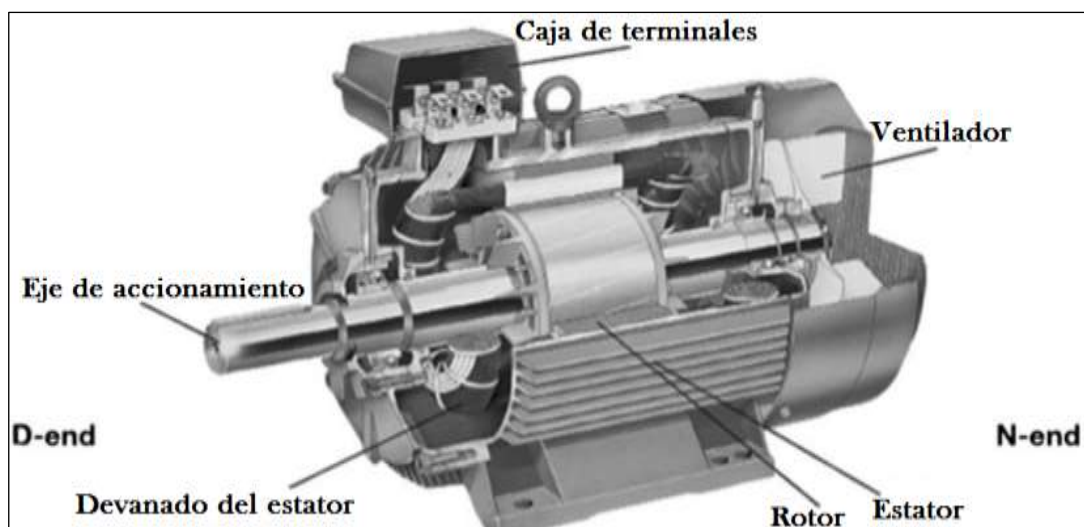
los conductores del rotor, origina unas fuerzas tangenciales que hacen girar el rotor produciéndose de este modo la energía mecánica.

Sin embargo, un motor de inducción comprende un circuito magnético que interconecta dos circuitos eléctricos que se colocan en las dos partes principales de la máquina:

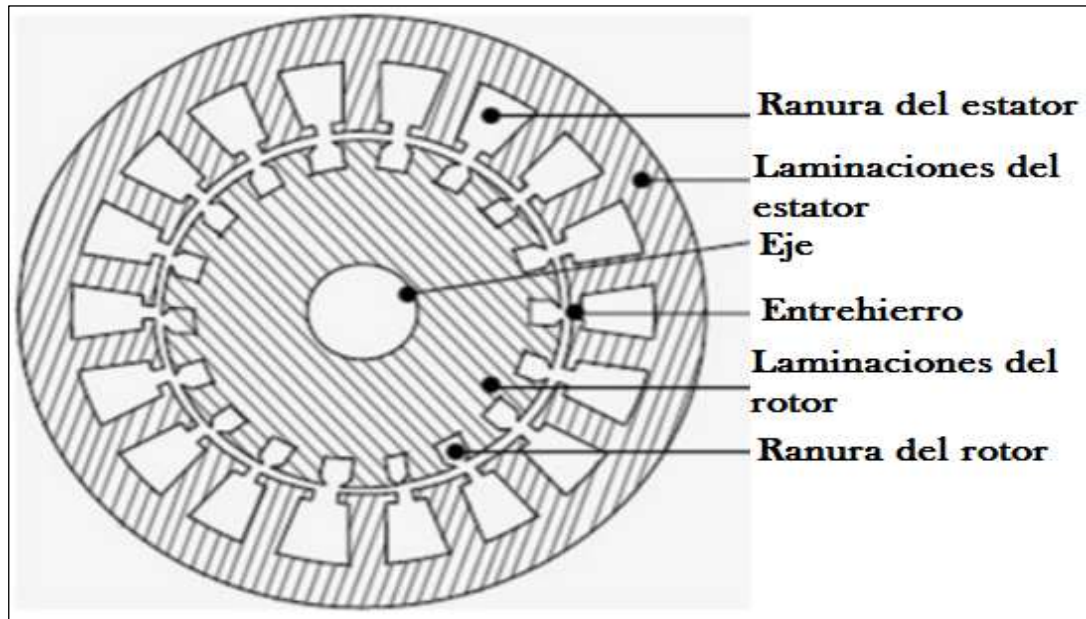
- La parte estacionaria llamada 'estator'
- La parte giratoria llamada 'rotor'. La potencia se transfiere de una parte a otra, mediante la inducción electromagnética. Para esta máquina de inducción se conoce como un dispositivo de conversión de energía electromecánica que convierte la energía eléctrica en energía mecánica.

El rotor está soportado en cojinetes en cada extremo. Generalmente, tanto el estator como el rotor constan de dos circuitos:

- Un circuito eléctrico para llevar corriente y normalmente de cobre aislado o aluminio aislado
- Un circuito magnético, que se muestra en la figura 2.1, para transportar el flujo magnético hecho de material magnético laminado, normalmente de acero (figura 2.2).



**Figura: 2. 1 Un motor de inducción (disecado)**  
**Fuente: (Baker, 2009)**



**Figura: 2. 2 Circuito magnético del estator y rotor de un motor de inducción**  
**Fuente: (Baker, 2009)**

## **2.2 Construcción de un motor**

Se detalla sus partes más esenciales:

### **2.2.1 El estator**

El estator, que se muestra en la figura 2.3, es la parte estacionaria externa del motor. Consiste en el marco cilíndrico exterior, el camino magnético y un conjunto de devanados eléctricos aislados.

#### **2.2.1.1 Marco del motor**

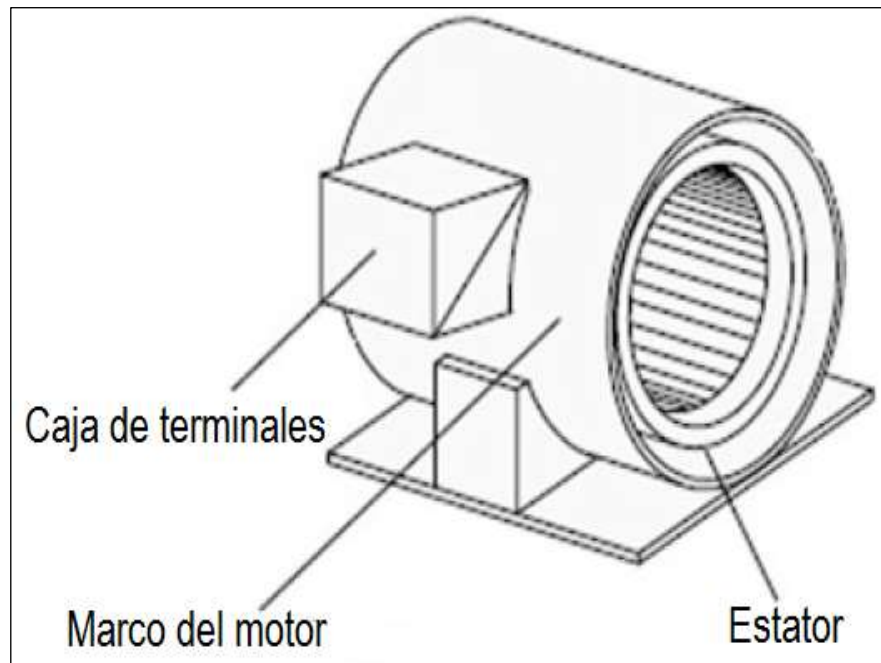
Está hecho de aleación de fundición de hierro o de aluminio o de chapa de acero soldada. Esto incluye normalmente pies para el montaje de pie del motor o una brida para cualquier otro tipo de montaje del motor.

#### **2.2.1.2 Trayectoria magnética**

Comprende un conjunto de laminaciones de acero aleado de alta calidad con soporte en el marco del estator cilíndrico exterior. El camino magnético está laminado para reducir las pérdidas por corrientes parásitas y el calentamiento.

### 2.2.1.3 Conjunto de devanados eléctricos aislados

Para un motor trifásico, el circuito del estator tiene tres conjuntos de bobinas, uno para cada fase, que está separado por  $120^\circ$  y se excita por un suministro trifásico. Estas bobinas se colocan dentro de las ranuras de la ruta magnética laminada.



*Figura: 2. 3 Estator de un motor de inducción*  
*Fuente: (Baker, 2009)*

### 2.2.2 El Rotor

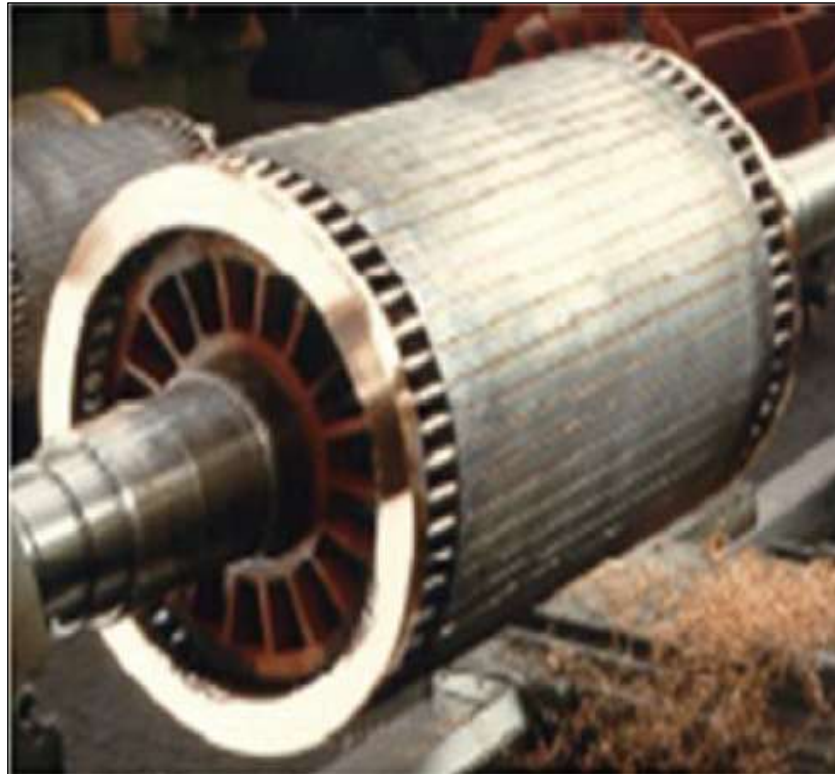
Es la parte giratoria del motor. Se coloca dentro del orificio del estator y gira coaxialmente con el estator. Al igual que el estator, el rotor también está hecho de un conjunto de láminas delgadas ranuradas, llamadas laminaciones, de sustancia electromagnética (núcleo de acero especial) prensados juntos en forma de un cilindro. Las hojas delgadas están aisladas entre sí por medio de papel, barniz. Las ranuras consisten en el circuito eléctrico y la sustancia electromagnética cilíndrica actúa como ruta magnética.

Dependiendo del rotor, los motores de inducción de bobinado se clasifican en dos grupos:

- a) motor de inducción tipo jaula de ardilla
- b) motor de inducción de rotor bobinado

### 2.2.2.1 Motor de inducción del tipo de jaula de ardilla

El rotor comprende un conjunto de barras hechas de cobre o aluminio o aleación como conductores de rotor, que están incrustados en las ranuras del rotor. Esto le da una construcción muy resistente del rotor. Las barras de rotor están conectadas en ambos extremos a un anillo de extremo para hacer una trayectoria cercana. La figura 2.4 muestra un rotor tipo jaula de ardilla.



*Figura: 2. 4 Rotor de jaula de ardilla*  
*Fuente: (Baker, 2009)*

### 2.2.2.2 Motor de tipo de rotor bobinado de inducción

En este caso, los conductores del rotor son devanados aislados que no están en cortocircuito con los anillos extremos, pero los terminales de los devanados se sacan para conectarlos a tres números de anillos colectores aislados que están montados en el eje, tal como se muestra en la figura 2.5. Las conexiones eléctricas externas al rotor se realizan mediante cepillos colocados en los anillos deslizantes. Para la presencia de estos anillos deslizantes, este tipo de motor también se denomina motor de inducción de anillo deslizante.



**Figura: 2. 5 Rotor de anillo deslizante**  
**Fuente: (Baker, 2009).**

Además de las dos partes principales anteriores, un motor de inducción consta de otras partes que se nombran de la siguiente manera:

- **Bridas de extremo:** hay dos bridas de extremo que se utilizan para soportar los dos cojinetes en ambos extremos del motor.
- **Rodamientos:** hay dos conjuntos de rodamientos que se colocan en ambos extremos del rotor y se utilizan para soportar el eje giratorio.
- **Eje:** está hecho de acero y se utiliza para transmitir el par generado a la carga.
- **Ventilador de enfriamiento:** normalmente se encuentra en el extremo opuesto del lado de la carga, llamado extremo no conductor del motor, para el enfriamiento forzado del estator y el rotor.
- **Caja de terminales:** está en la parte superior o en cualquier lado del bastidor cilíndrico exterior del estator para recibir las conexiones eléctricas externas.

### 2.2.3 Operación

Cuando el devanado del estator de un motor de inducción se conecta a un suministro trifásico, se produce en él un campo magnético giratorio uniforme, que induce f.e.m. en el rotor que es libre de girar coaxialmente con el núcleo del estator con la ayuda de cojinetes de bolas. El rotor está en cortocircuito, ya sea a través de los anillos de extremo o una resistencia

externa y se producen corrientes debido a este f.e.m inducido. Esta corriente interactúa con el campo magnético rotativo para desarrollar un par en el rotor en la dirección del campo magnético giratorio. Como el rotor puede girar libremente, el par hará que se mueva en la dirección del campo del estator. Esto hace que un motor de inducción trifásico sea de arranque automático.

Al transformar esta energía eléctrica en energía mecánica, en un motor de inducción se producen algunas pérdidas que son las siguientes:

- Fricción y pérdidas por viento, 5-15%
- Pérdidas de hierro o núcleo, 15-25%
- Pérdidas del estator, 25-40%
- Pérdidas del rotor, 15-25%
- Pérdidas por carga perdida, 10-20%.

La eficiencia del motor a plena carga varía de aproximadamente 85 a 97%. Los motores de inducción son más simples, económicos y eficientes. Entre ellos, el motor de inducción de jaula de ardilla es más robusto y funciona de manera más eficiente en comparación con el motor de inducción de rotor bobinado.

Si el voltaje de suministro y la frecuencia son constantes, entonces un motor de inducción de jaula de ardilla funciona a una velocidad constante, lo que lo hace adecuado para su uso en un accionamiento de velocidad constante. Sin embargo, varios diseños estándar de motores de inducción de jaula de ardilla están disponibles en el mercado para cumplir con los requisitos de diferentes condiciones de arranque y funcionamiento de diversas aplicaciones industriales. Estos se clasifican como clase A, clase B, clase C y clase D.

En la tabla 2.1, se presenta una comparación de diferentes clases de motores de inducción de jaula de ardilla.

**Tabla 2. 1 Varias clases de motor de inducción de jaula de ardilla**

	<b>Clase A</b>	<b>Clase B</b>	<b>Clase C</b>	<b>Clase D</b>
<b>Propiedades</b>	Par de arranque normal, alta corriente de arranque y deslizamiento de operación bajo.	Par de arranque normal, baja corriente de arranque y bajo deslizamiento de operación.	Alto par de arranque y baja corriente de arranque.	Alto par de arranque, baja corriente de arranque y alto deslizamiento operativo.
<b>Usos</b>	Ventilador, carga de la bomba, entre otros, donde el par es bajo al inicio.	Para un accionamiento de velocidad constante, como una bomba, un soplador.	Compresor, transportadores, bloqueadores, etc.	Para conducir cargas intermitentes, Ej. punzonadora, entre otros.

**Elaborado: Autor**

### **2.3 Clasificación según uso industrial**

Los motores eléctricos, desde el punto de vista de su utilización industrial, se clasifican en:

#### **Corriente continua:**

- Derivación
- Independiente
- Serie
- Compuesto (*Compound*)

#### **Corriente alterna**

- Asíncronos
  - Rotor en corto circuito.
  - Rotor bobinado.
- Síncronos



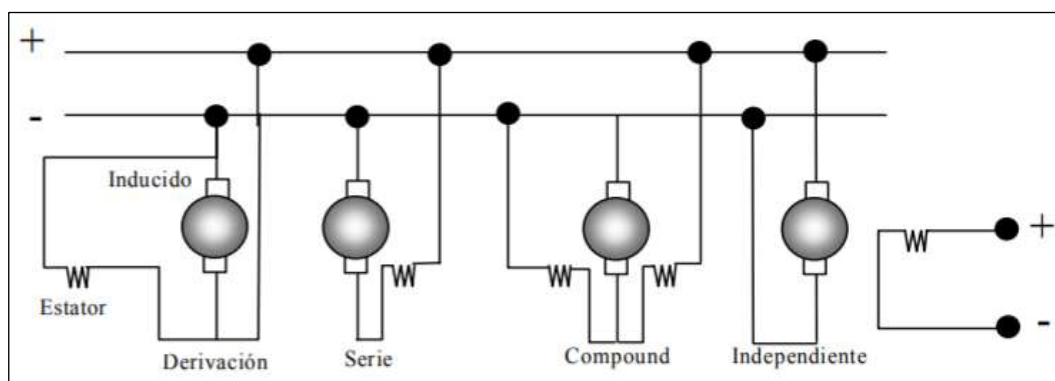
### 2.3.1 Motores de corriente continua

Los motores de corriente continua son de gran facilidad para la regulación de velocidad, cambios o inversiones rápidas de la marcha, y sin necesidad de contar de equipos costosos, es posible efectuar control automático de torques y velocidades. Por las ventajas mencionadas previamente, se utilizan principalmente en industrias Papeleras, Textilerías, Químicas, Siderúrgicas y Metalúrgicas. En estos motores, el estator está formado por polos principales y auxiliares excitados por corriente continua. Asimismo, el rotor se alimenta con corriente continua mediante el colector de delgas y las escobillas.

**Tipos de Motores:** Dependiendo de la forma en que se alimentan los devanados del estator se clasifican:

- **En derivación:** El estator se alimenta con la misma tensión que el inducido.
- **Independiente:** El estator y el inducido se alimentan con fuentes separadas o independientes.
- **En serie:** El estator y el inducido se conectan de modo tal que por ellos circule la misma corriente.
- **Compound:** Es una combinación de las conexiones en serie y en derivación. (Picazo Ródenas, 2016)

A continuación, se puede ver en la figura 2.6 los tipos de motores de corriente directa (CD).



**Figura: 2. 6 Tipos de motores de corriente directa (CD)**  
**Fuente: (Institution of Engineering and Technology –IET, 2016)**



En los motores en derivación, el flujo por polo es prácticamente constante, y considerando que el par del motor es proporcional a la corriente y que la velocidad disminuye linealmente al aumentar esta, se tiene un motor en el que la velocidad varía muy poco cuando varía el par, por lo cual se utilizan en casos donde la velocidad debe ser lo más independiente posible de la carga.

Los **motores con excitación** independiente son prácticamente iguales a los anteriores.

En los **motores serie**, la corriente del inducido atraviesa los polos y como el flujo producido en un polo depende de la corriente, el flujo será variable. El comportamiento típico de dicho motor es el siguiente:

- El par del motor crece al principio en forma cuadrática, más adelante, crece en forma lineal.
- La velocidad disminuye más que proporcionalmente al crecer la intensidad. Por lo cual, se tiene un par muy elevado a velocidades pequeñas (arranque) y velocidades muy grandes con pares muy pequeños.

Este tipo de motores no puede funcionar en vacío puesto que en estas condiciones el flujo es muy pequeño y según la velocidad aumenta produciéndose un embalamiento. No pueden usarse en aplicaciones donde la carga pueda faltar ocasionalmente. Suelen utilizarse para tracción eléctrica, grúas, etc.

Los **Compuestos**, tienen características intermedias a los dos anteriores. Presentan elevados pares de arranque y no tienen velocidades tan altas a bajas cargas. (Instituto de energía y termodinámica - UPB, 2015)

### 2.3.2 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).

Pero según (Picazo Ródenas, 2016), 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 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).

En concomitante, se sabe que el motor trifásico de inducción, al igual que el resto de máquinas eléctricas, consta de dos partes diferenciadas, mencionadas inicialmente en el enunciado, que son la parte '*fija o estator*' y la parte '*giratoria o rotor*'. Ambas se encuentran alejadas por un pequeño espacio libre, que recibe el nombre de entrehierro, que permite el libre giro del rotor en el interior de la máquina. (Fraile Mora, 2008) & (Picazo Ródenas, 2016).

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.

### **2.3.3 Clasificación de los motores asíncronos**

Según el (Instituto de energía y termodinámica - UPB, 2015), los motores asíncronos se clasifican de acuerdo a la forma constructiva del rotor. Dicha clasificación es la siguiente:

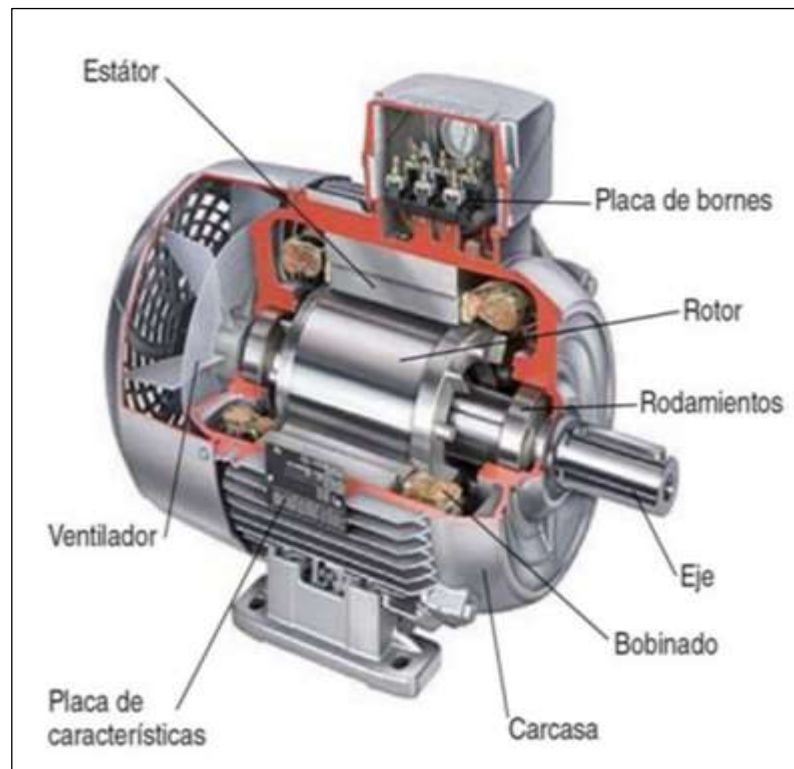
- **Jaula de ardilla:** El rotor está compuesto por un conjunto de barras conductoras de cobre unidas en sus extremos por anillos.

- **Rotor bobinado:** El rotor está 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).

En la figura 2.7 se aprecian los principales elementos de un motor de corriente alterna, de inducción tipo jaula de ardilla.



**Figura: 2. 7 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 resistente 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.

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. El Eje del motor, también conocido como flecha, es el encargado de transmitir la potencia mecánica desarrollada por el motor. Éste recibe un tratamiento térmico para evitar problemas con deformación y fatiga. El núcleo de chapas tiene las mismas características que las del estator. Las barras y anillos de cortocircuito son fabricadas con aluminio, cobre o bronce y se encuentran fundidos a presión en una pieza única. El motor también dispone de otros elementos auxiliares, como: la caja de bornes, sistema de ventilación y entrehierro. (Picazo Ródenas, 2016).

### **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  $\downarrow$

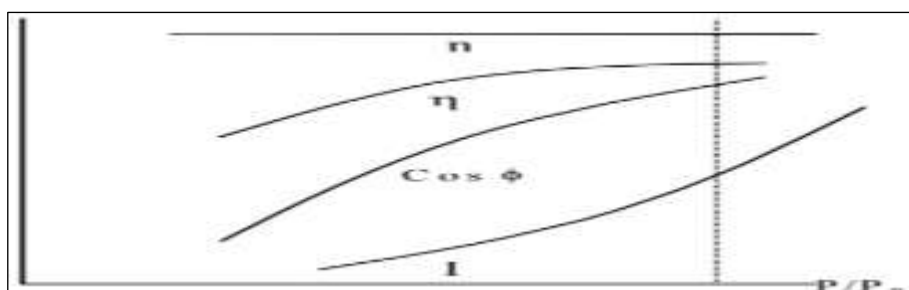
**Factor de potencia ( $fp$ ):** Los motores asíncronos presentan consumos de energía reactiva altos. Por lo tanto, presentan  $fp$  bajos. El  $fp$  tiende a mejorar a medida que aumenta la potencia y la velocidad del motor. Un ejemplo de ésta se presenta en la tabla 2.2.

**Tabla 2. 2 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 2.8 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. 8 Características típicas de motores asíncronos**

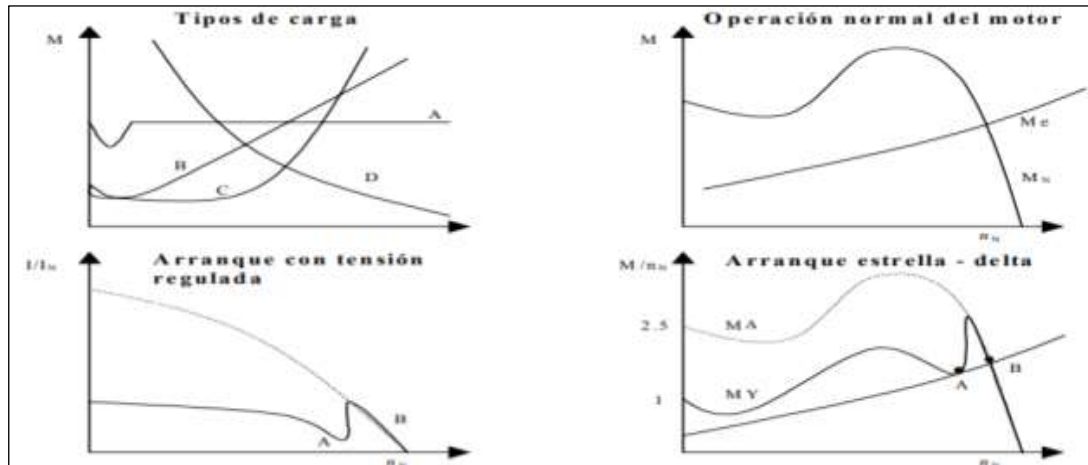
Fuente: (Institution of Engineering and Technology (IET) , 2015)

**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.

Para escoger el motor, se debe establecer el tipo de carga:

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

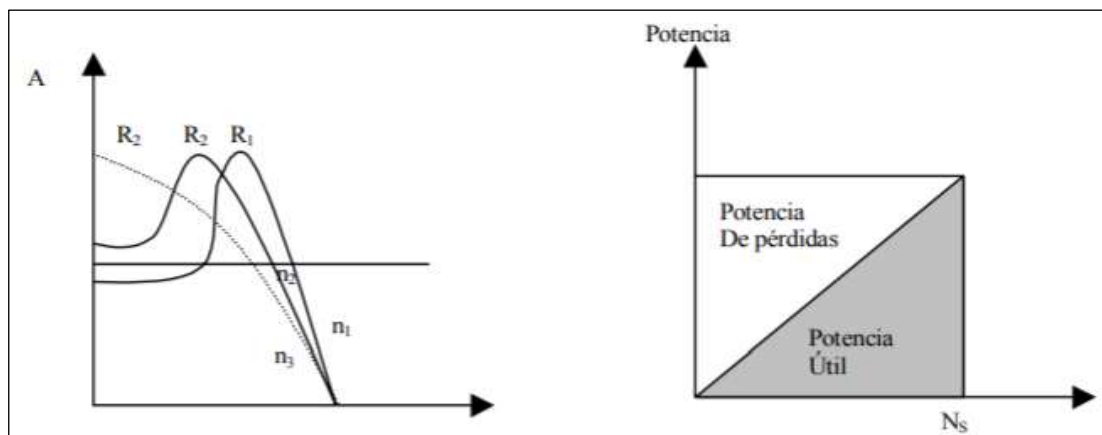
Las curvas de operación del motor, así como los tipos de arranques más usuales, se pueden apreciar en la figura 2.9.



**Figura: 2. 9: Curvas de operación y arranques estándares**  
**Fuente: (IET, 2015)**

**Variación de velocidad:** Los motores asincrónicos 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 2.10.



**Figura: 2. 10 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.

### 2.3.4 Motores síncronos

Los motores síncronos 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)

#### 2.3.4.1 Características de operación de los motores síncronos

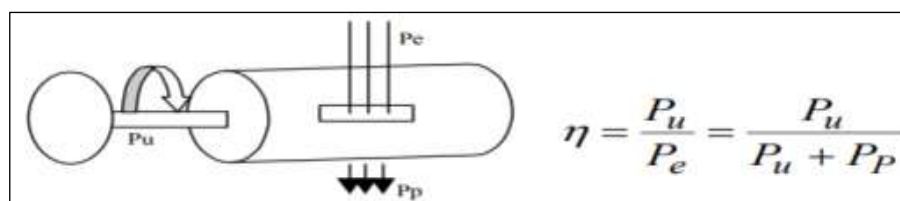
Aparte de girar a velocidad constante, los motores síncronos muestran las siguientes características de operación:

- 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)

## 2.4 Parámetros de selección en motores

### 2.4.1 Análisis del rendimiento

En la transformación de energía eléctrica en mecánica (que tiene lugar en un motor), una parte de la energía eléctrica tomada de la red se convierte en calor, constituyendo lo que son las pérdidas de un motor, tal como se muestra en la figura 2.11.



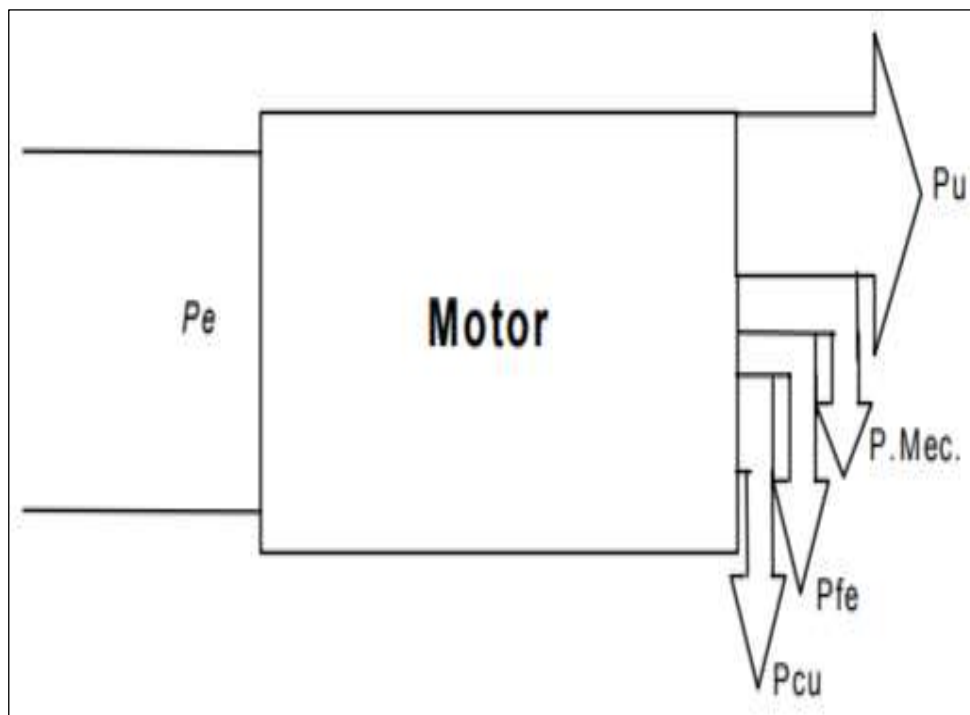
**Figura: 2. 11 Eficiencia de motores**

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

Las pérdidas que se producen en todos los motores eléctricos son fundamentalmente de tres tipos:

- Pérdidas eléctricas en devanados y otras partes de la maquinaria ( $P_{cu}$ ). Éstas corresponden a las pérdidas por efecto Joule ( $I^2.R$ ) y las pérdidas producidas en las escobillas (motores de C.C.).
- Pérdidas producidas en los circuitos magnéticos, o pérdidas en el hierro ( $P_{fe}$ ).
- Pérdidas mecánicas debidas a rozamientos y ventilación ( $P_{mec}$ ). También se incluye en este grupo aquellas originadas por el roce en los cojinetes, del aire y de las escobillas, así como la potencia absorbida por el ventilador.

En la figura 2.12 se puede apreciar, mediante un diagrama de *Sankey*, las pérdidas que se suscitan en un motor convencional.



**Figura: 2. 12 Naturaleza de las pérdidas en motores**  
**Fuente: (Institution of Engineering and Technology (IET) , 2015)**

El cálculo exacto de las pérdidas no se puede determinar fácilmente, dada la gran variedad de formas constructivas y de los tipos de ventilación. No obstante, actualmente existe un sinnúmero de tablas y programas que permiten, por comparación con motores similares, determinarlas con

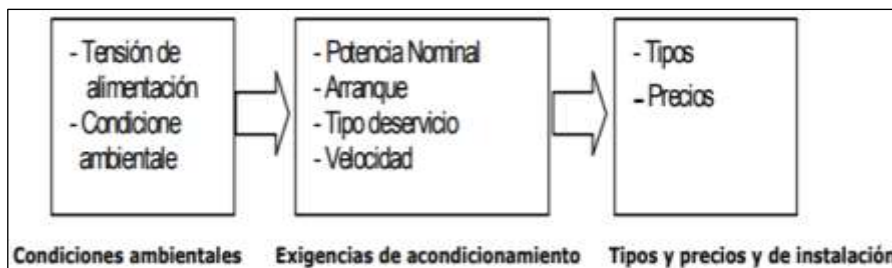


excelentes resultados. Es importante aclarar, que, para un motor determinado, las pérdidas aumentan a medida que crece la velocidad de rotación del motor.

### 2.4.2 Selección óptima de la potencia de motores

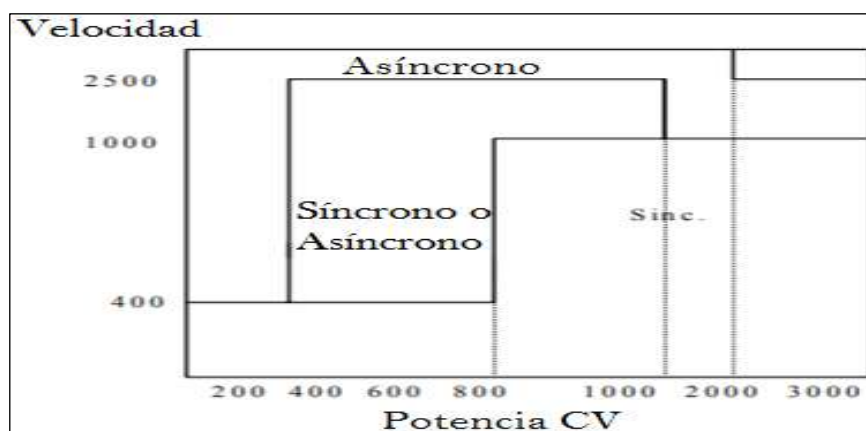
Para una aplicación específica, la elección de un motor eléctrico bueno resulta una complejidad (debido a los muchos factores que hay que tener en cuenta); es decir, no existe una norma ni pauta exacta y precisa que se aplique en todos los casos. Por tanto, se pretende dar algunas orientaciones que faciliten y/o permitan seleccionar un motor adecuado y óptimo.

No obstante, a continuación, en la figura 2.13 se señala algunos factores relevantes a tener en cuenta para la elección de un motor:



**Figura: 2. 13 Elección de un motor eléctrico óptimo**  
Elaborado: Autor

Posteriormente y teniendo en consideración la carga requerida y la velocidad de operación, se puede apreciar en la figura 2.14 un esquema que permite elegir la conveniencia entre motores síncronos y asíncronos.



**Figura: 2. 14 Selección de motores en función de su potencia y velocidad**  
Fuente: (Institution of Engineering and Technology (IET) , 2015)

## 2.5 Instalación de motores trifásicos en lugar de monofásicos

Para ciertas aplicaciones, en donde la potencia requerida es pequeña, son de mucha utilidad los motores monofásicos. A continuación, se detalla las aplicaciones más comunes:

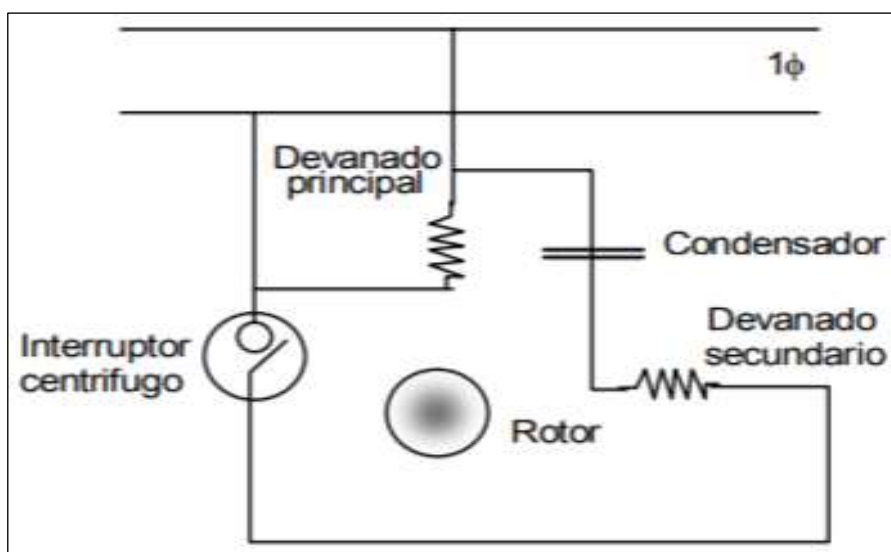
**Electrodomésticos:** Aspiradoras, frigoríficos, ventiladores, batidoras, etc.

**Industria y comercio:** Máquinas y herramientas portátiles, pequeños accionamientos, entre otros.

Y en general, en todos aquellos casos en donde son requeridos equipos pequeños y para control, a pesar de lo anterior, la utilización de estos motores es bastante desfavorable frente a los trifásicos debido a los siguientes factores:

- La caída de velocidad al aumentar el par resistente es mayor.
- La eficiencia es menor.
- El factor de potencia es menor.
- Su par de arranque es nulo, no puede arrancar por sí mismo

En este último caso, se recomienda que, en un motor monofásico, el arranque sea, tal como se puede observar en la figura 2.15.



**Figura: 2. 15 Motor monofásico**

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

## 2.6 Leyes de funcionamiento del motor eléctrico

A continuación, se presentan las leyes fundamentales y los parámetros principales que rigen el funcionamiento de los motores asíncronos, tal como manifiesta el catedrático (Fraile Mora, 2008)

**Ley de Faraday.** Cuando el flujo magnético concatenado por una espira varía, se genera en ella una fuerza electromotriz conocida como fuerza electromotriz inducida. La variación del flujo abarcado por la espira puede deberse a tres causas diferentes: la variación temporal del campo magnético en el que está inmersa la espira, la variación de la posición relativa de la espira dentro de un campo constante o una combinación de las dos causas anteriores. En cualquier caso, la fuerza electromotriz inducida en la espira sólo depende de la variación del flujo abarcado por ella sin importar su origen.

La ley de inducción electromagnética fue anunciada por Faraday en 1831 y afirma que “el valor absoluto de la fuerza electromotriz inducida está determinado por la velocidad de variación del flujo que la genera”: No obstante, el sentido de la fuerza electromotriz se determina a partir de la ley de *Lenz*, el cual especifica que “la fuerza electromotriz inducida debe ser tal, que tienda a establecer una corriente por el circuito magnético que se oponga a la variación del flujo que la produce”

Por lo tanto, en un motor asíncrono, este fenómeno se manifiesta al energizar el devanado del estator. Cuando se conecta a una fuente de suministro trifásica, se produce un campo magnético de una magnitud constante que gira en el entrehierro a una velocidad sincrónica (o de sincronismo). Este campo rotatorio induce una fuerza electromotriz (f.e.m) en el devanado o jaula del rotor. Como el rotor está constituido por barras cortocircuitadas, la tensión inducida produce también una corriente inducida en ellas, produciendo su vez su propio campo magnético, que es el mismo que interactúa con el campo magnético principal, experimentándose una fuerza o par que hace girar al rotor. (Fraile Mora, 2008).

A este par desarrollado se le conoce como par de arranque. Cuando el motor es energizado con una carga inicial, se requiere que el par de la carga sea menor que el par de arranque para que el rotor comience a girar. Cuando el motor arranca sin carga, el rotor alcanzará rápidamente una velocidad muy cercana a la velocidad de sincronismo. Sin embargo, nunca podrá girar a esta velocidad debido a que sus bobinas parecerían fijas respecto al campo rotatorio y no habría f.e.m inducida en ellas.

Al no existir una f.e.m inducida en el rotor, no circularía ninguna corriente y como consecuencia, no se manifestaría ninguna fuerza debida a la no interacción de los campos magnéticos del rotor y estator. En el funcionamiento de un motor de inducción hay magnitudes y aspectos importantes que sirven como indicadores de su funcionamiento y como delimitadores de las condiciones en las cuales debe funcionar el motor. Entre estos aspectos se encuentran la potencia mecánica, potencia eléctrica, velocidad nominal, par nominal, corriente consumida, clase de servicio y clase de aislamiento. (Fraile Mora, 2008)

A continuación, se define algunos de estos aspectos:

**Potencia mecánica ( $P_{mec}$ ).** La potencia mecánica es la potencia que desarrolla el motor en su eje en un instante dado bajo unas condiciones de carga específicas. Depende del par y de la velocidad de giro del eje, según la siguiente expresión:

$$P_{mec} = T \cdot \omega_{eje} \quad (W)$$

Donde:

T: es el par en el eje (en N.m)

$\omega_{eje}$ : es la velocidad angular del rotor (en rad/s).

**Potencia eléctrica ( $P_{elec}$ ).** La potencia eléctrica es la potencia demandada por el motor para su funcionamiento y su valor se expresa de la siguiente manera:

$$P_{elec} = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_l \cdot \cos\varphi \quad (W)$$

Donde:

$U_l$ : es la tensión de línea

$I_l$ : es la corriente de la línea

$\Phi$ : es el ángulo que forma la potencia aparente, con respecto a la activa en el triángulo de potencias.

**Par nominal (T).** El par motor es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia. La potencia desarrollada por el par motor es proporcional a la velocidad angular del eje de transmisión. Su valor se expresa de la siguiente manera:

$$T = P_{mec} / \omega_{eje} \quad (\text{N}\cdot\text{m})$$

Donde:

$P_{mec}$ : es la potencia mecánica del eje

$\omega_{eje}$ : es la velocidad angular del rotor.

**Rendimiento ( $\eta$ ).** El rendimiento se refiere a la eficiencia con la que un motor eléctrico produce la energía consumida (potencia eléctrica) para generar potencia útil en el eje (potencia mecánica). Pues, el orden de magnitud del rendimiento para los motores eléctricos se encuentra entre 70-80% para motores pequeños y más del 90 % para motores de cientos de kW. La siguiente fórmula se expresa así:

$$\eta = \frac{\text{Potencia en el eje del motor}}{\text{Potencia consumida}}$$

**Deslizamiento (S).** El deslizamiento se refiere a la diferencia relativa entre la velocidad del campo magnético (velocidad de sincronismo) y la velocidad del rotor.

$$S = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Donde:

$n_s$ : es la velocidad de sincronismo

$n$ : es la velocidad angular del rotor.

**Clase de servicio.** Otro de los factores que contribuye en el calentamiento del motor, junto a los factores ambientales y el grado de carga, es la clase de

servicio, el cual hace referencia al conjunto de regímenes a los que está sometida la máquina. En efecto, si una máquina muestra alternancia de ciclos de trabajo con fuerte carga y ciclos casi en vacío, sin carga o incluso parada, alcanzará menos temperatura que otra que trabaje continuamente con fuertes cargas. (Fraile Mora, 2008).

Entre los siguientes conceptos se puede distinguir lo siguiente:

**Régimen de una máquina eléctrica rotativa:** conjunto de valores numéricos de aquellas magnitudes eléctricas que caracterizan sus diferentes estados de funcionamiento.

**Servicio:** conjunto de regímenes, incluyendo los periodos de funcionamiento en vacío y reposo, a los que está sometida una máquina, teniendo en cuenta su duración y secuencia en el tiempo.

Las clases de servicio se encuentran normalizadas de la siguiente manera; según (Picazo Ródenas, 2016)

S1: Servicio continuo.

S2: Servicio temporal.

S3: Tipo de servicio periódico intermitente sin arranque.

S4: Servicio periódico intermitente con arranque.

S5: Servicio periódico intermitente con arranque y frenado eléctrico.

S6: Tipo de servicio de funcionamiento continuo.

S7: Servicio de funcionamiento continuo con arranque y frenado eléctrico

S8: Servicio periódico de funcionamiento continuo con cambios de carga/velocidad relacionados.

S9: Servicio con variaciones de carga y velocidad no periódicas. (Fraile Mora, 2008)

**Clase de aislamiento:** La función principal del aislamiento en las máquinas eléctricas, consiste en separar partes que se encuentran a diferentes potenciales (conductores entre sí, con respecto a la carcasa, a las chapas magnéticas, entre otros.). La capacidad de un aislante para soportar temperatura sin degradarse es una cualidad muy importante, por lo que las normas los clasifican por las temperaturas límites que soportan. Esta temperatura límite define la vida útil de los materiales y compuestos, es decir, el periodo de tiempo en el que mantiene sus características físicas y químicas sin degradarse de manera excesiva como para hacer peligrar el sistema de aislamiento de la máquina. (Picazo Ródenas, 2016)

## **2.7 Fallas frecuentes en motores eléctricos**

Se define falla eléctrica como cualquier evento que impide la normal operación de algún equipo, esquema o componente de control y protección. Esta definición permite el registro de eventos, aun cuando el equipo afectado no se encuentre plenamente inoperativo, situación muy frecuente en el campo del control y protección de sistemas eléctricos. Por otra parte, se define atención correctiva como un procedimiento preestablecido y destinado a retornar a su estado normal de operación al objeto afectado por la falla. (Instituto de energía y termodinámica - UPB, 2015).

Sin embargo, existen varios enfoques para analizar y evaluar el impacto de las fallas sobre los equipos del sistema eléctrico de las Industrias; en general basadas en la evaluación de la potencia o energía pérdida con ocasión de cada falla. Con respecto a las fallas en un motor eléctrico, por lo regular estas pueden ser originadas por:

- Fallas en los sistemas de protección y control
- Fallas ocasionadas en la operación
- Fallas causadas por la falta de calidad de la potencia

### **2.7.1 Fallas en los sistemas de protección y control**

Si bien existen fallas relacionadas con la operación de los equipos y la no calidad de la energía, es el sistema de protección y control quien finalmente realiza una acción determinada. La esencia de los trabajos del área responsable del sistema de protección y control, hacen que el enfoque relacionado con la pérdida de potencia no sea adecuado por cuanto muchas de las fallas que afectan a tales equipos no llegan a producir interrupción. (Instituto de energía y termodinámica - UPB, 2015).

### **2.7.2 Fallas originadas en la operación**

A este enfoque pertenecen las fallas asociadas a los incrementos de temperatura en equipos, y problemas de vibración mecánica. En el primer caso, la sobrecarga de los motores y conductores son consecuentes a la circulación de corrientes elevadas que originan. Al mismo tiempo, las pérdidas de energía, ineficiencias en los procesos, costos extras en la operación y mantenimiento, calentamiento excesivo de las partes, e incluso, hasta la misma destrucción del equipo si los sistemas de control y protección no son los adecuados.

No obstante, la calidad de la energía se ve gravemente afectada, puesto que las sobre corrientes originan caídas de tensión considerables. Para compensar las fallas eléctricas por incrementos de temperatura, es necesario realizar, entre otros, una limpieza periódica de las partes del motor y los conductores, chequeos a los sistemas de protección y pruebas termográficas en barrajes, conductores, carcasas, puntos de conexión y aislamientos térmicos.

Con respecto a las vibraciones mecánicas, son el resultado de fuerzas magnéticas desiguales que actúan sobre el rotor o sobre el estator. Dichas fuerzas desiguales pueden ser causadas:

- Rotor que no es redondo.



- Chumaceras del inducido que son excéntricas.
- Falta de alineamiento entre el rotor y el estator.
- Entrehierro no uniforme.
- Perforación elíptica del estator.
- Devanados abiertos o en corto circuito.
- Hierro del rotor en corto circuito.

Las vibraciones ocasionadas por los problemas eléctricos responden generalmente, a la cantidad de carga situada en el motor. A medida que se modifica la carga, la amplitud y/o las lecturas de fase pueden indicar cambios significativos. Esto explica por qué los motores eléctricos que han sido probados y balanceados en condiciones sin carga muestran cambios drásticos de los niveles de vibración cuando vuelven a ser puestos en servicio.

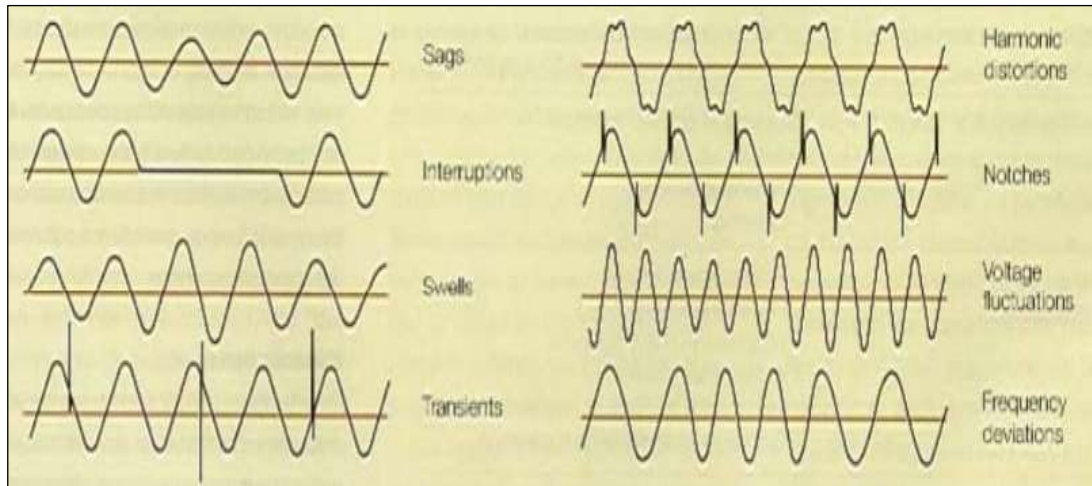
Un caso particular de vibraciones mecánicas lo constituyen las poleas desgastadas y bandas destempladas en accionamientos mecánicos, cuyo efecto en motores es la presencia de desbalances de corriente que, a su vez, originan desbalances de tensión (pérdida de la calidad de la potencia). (Instituto de energía y termodinámica - UPB, 2015)

### **2.7.3 Fallas debidas a la no calidad de la energía**

Los problemas relacionados con la calidad de la energía están muy vinculados a una amplia gama de fenómenos. Aproximadamente en dos tercios de los casos se trata de fenómenos naturales, como los rayos.

Otras causas de la pérdida de la calidad de energía la constituyen la operación de equipos de gran potencia en la industria o en la red misma (por ejemplo, la conexión de condensadores) y, en general, una variedad de fenómenos que pueden llegar a producir caídas súbitas de tensión a nivel del consumidor y que hacen muy compleja la evaluación de la calidad de potencia.

En la figura 2.16 se puede ver la forma de onda con las principales perturbaciones que infringen contra la calidad de la potencia eléctrica.



**Figura: 2. 16 Perturbaciones frecuentes que afectan la calidad de la potencia eléctrica**  
Fuente: (Meléndez, Herraiz, & Colomer, 2005)

Las perturbaciones que normalmente afectan la calidad de la potencia se clasifican en las siguientes categorías:

- Fluctuaciones de voltaje.
- Variaciones temporales de alto y bajo voltaje.
- Interrupción continuo en equipos y/o en procesos.
- Armónicos.
- Transitorios.

A partir del estudio de la construcción y operación de un motor de inducción, revela que las piezas más vulnerables por falla en el motor de inducción son: el cojinete, el devanado del estator, la barra del rotor y el eje.

Además, debido a la falta de uniformidad del entrehierro entre la superficie interna del estator y el motor de la superficie externa del rotor; también se producen fallas. Diferentes estudios se han realizado hasta el momento para estudiar la fiabilidad de los motores, las fallas y su rendimiento.

En base a lo manifestado previamente, en la tabla 2.3 se puede apreciar las causas y efectos de las fallas más frecuentes que suceden en un motor eléctrico.

**Tabla 2. 3 Causas y efectos de las fallas más frecuentes en un motor eléctrico**

Perturbación	subgénero	Causa de la perturbación	Efecto de la perturbación (falla)
Aumento de la temperatura		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suciedad de las partes del motor.</li> <li>• Aislamientos térmicos defectuosos.</li> <li>• Cuchillas gastadas en molinos.</li> <li>• Sobrecarga de barrajes, cables y motores.</li> <li>• Sistemas de control desconfigurados.</li> <li>• Operación inadecuada de protecciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentamiento excesivo.</li> <li>• Destrucción de equipos.</li> <li>• Conatos de incendio.</li> <li>• Pérdidas de energía.</li> <li>• Paros indebidos.</li> <li>• Sobrecorrientes.</li> <li>• Caídas de tensión</li> <li>• Ineficiencia en el proceso.</li> <li>• Extracostos en operación y mantenimiento.</li> </ul>
Vibraciones Mecánicas		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotor que no es redondo.</li> <li>• Chumaceras del inducido que son excéntricas.</li> <li>• Falta de alineamiento entre el rotor y el estator.</li> <li>• Entrehierro no uniforme.</li> <li>• Perforación elíptica del estator.</li> <li>• Devanados abiertos o en corto circuito.</li> <li>• Hierro del rotor en corto circuito.</li> <li>• Bandas destempladas.</li> <li>• Poleas desgastadas en Accionamientos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentamiento excesivo.</li> <li>• Desgaste y destrucción del equipo (disminución considerable de la vida útil).</li> <li>• Pérdidas de energía.</li> <li>• Paros indebidos.</li> <li>• Sobrecorrientes.</li> <li>• Desbalances de corriente.</li> <li>• Desbalances de voltaje.</li> <li>• Ineficiencia en el proceso.</li> <li>• costos extras en operación y mantenimiento.</li> </ul>
	SAG S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corto circuito en un alimentador de alta potencia.</li> <li>• Arranque de motores de potencia alta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apertura indebida en contactores y dispositivos de protección.</li> <li>• Arranque no exitoso del motor que genera la perturbación.</li> </ul>
	SWEEL S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento temporal del voltaje durante un desbalance de fases en una falla sólida a tierra.</li> <li>• Falla de un sistema no aterrizado y de impedancia de secuencia cero infinita.</li> <li>• Fallas localizadas en sistemas de alimentación de 4 hilos y múltiple aterrizaje.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento temporal del voltaje.</li> <li>• Sobrevoltajes línea-tierra.</li> <li>• Operación inadecuada de dispositivos de control y protección.</li> <li>• Problemas de hardware por calentamiento en equipos de cómputo.</li> <li>• Destrucción de componentes electrónicos.</li> </ul>

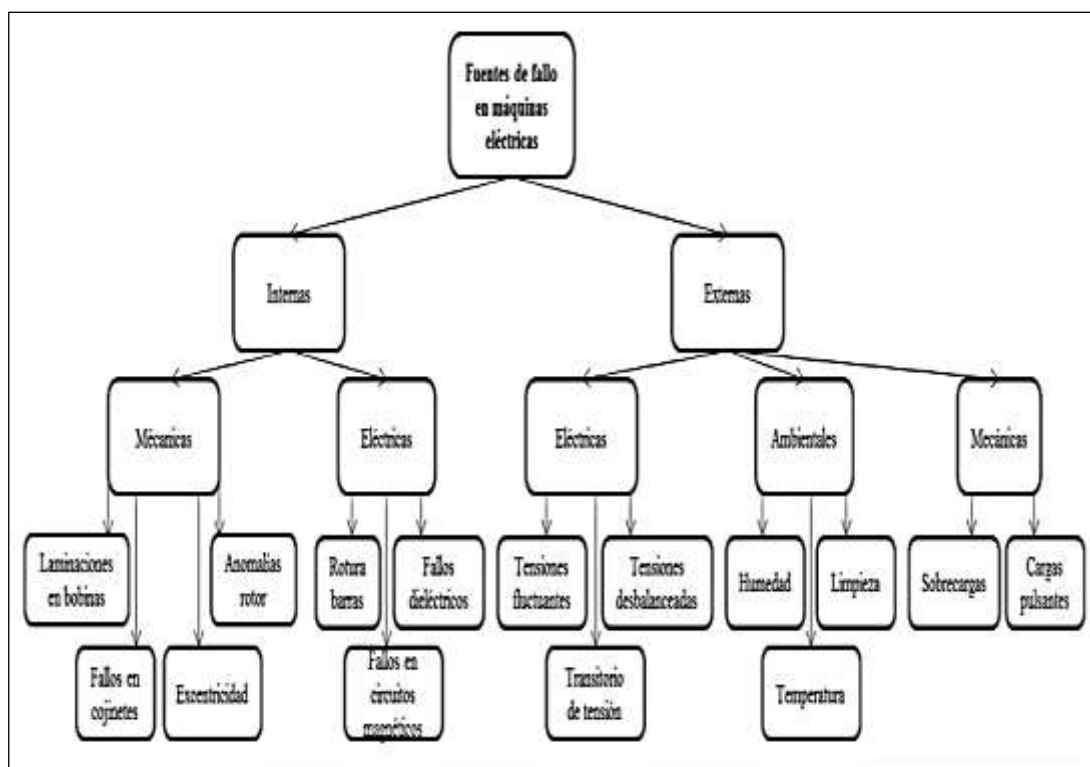
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños en discos duros o en cabezales de diferentes dispositivos.</li> </ul>
Variaciones momentáneas de bajo y alto voltaje (Cont.)	<p>Interrupciones (momentáneas, temporales y permanentes).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallas en el sistema de potencia.</li> <li>• Fallas en motores de gran consumo.</li> <li>• Mala operación de controles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paros indebidos en los equipos del proceso.</li> <li>• Ineficiencia en el proceso.</li> <li>• Costos extras en operación y mantenimiento.</li> <li>• Disminución de la vida útil de los equipos.</li> <li>• Se generan voltajes SAG (durante el intervalo el tiempo comprendido entre el inicio de la falla y el tiempo de operación del sistema de protección).</li> <li>• Pérdida de información y daños permanentes en discos duros.</li> </ul>
	<p>Sobretensiones</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apagado de equipos de gran consumo. Por ejemplo, aires acondicionados de gran potencia y máquinas industriales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterioro paulatino de los componentes de las computadoras y otros equipos.</li> <li>• Ocasionan en las computadoras pérdida de información, errores en la grabación de datos o daños permanentes.</li> </ul>
	<p>Subtensiones</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se originan cuando se encienden equipos de alto consumo de energía, como ascensores, motores y compresores.</li> <li>• Caídas de voltaje en las centrales de generación por excesiva demanda de potencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esfuerzo adicional para el funcionamiento de las fuentes de poder de las computadoras y equipo de control.</li> <li>• Errores en los archivos de datos.</li> <li>• Fallos o daños en los componentes eléctricos de los equipos de cómputo.</li> <li>• Algunos equipos no logran energizarse completamente.</li> </ul>
<p>Armónicos e Interarmónicos.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se originan por la operación de cargas no lineales y dispositivos que requieren de electrónica de potencia (convertidores, grandes motores de corriente directa y variadores de velocidad).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paros indebidos en equipos sensibles.</li> <li>• Pérdidas de energía.</li> <li>• Sobrecargas en los equipos.</li> <li>• Operación inadecuada de fusibles y equipos de protección.</li> <li>• Calentamientos excesivos.</li> <li>• Resonancias electromagnéticas.</li> <li>• Errores de medición (adelanto y retraso de los contadores de energía), etc.</li> </ul>

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

Asimismo, se puede observar las causas de fallos, ya sea internas o externas de una máquina o motor eléctrico, el cual se desglosa en la figura 2.17. Pues, las fuentes internas de fallos corresponden a pequeñas anomalías constructivas que desembocan en fallos mecánicos, tales como excentricidades, fallos en el rotor o laminaciones y en fallos eléctricos, tales como rotura de barras, fallos en los dieléctricos, fallo en circuitos magnéticos, entre otros.

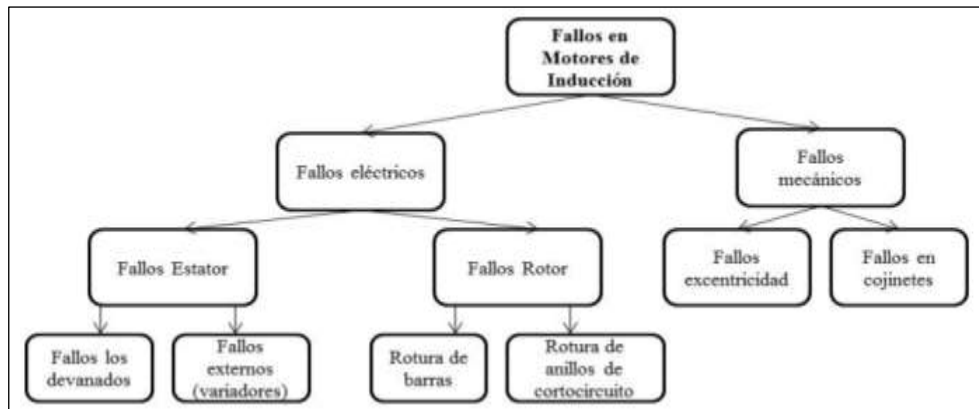
En cambio, las fuentes de 'fallos externas' no dependen de la máquina eléctrica sino de los equipos auxiliares y de la ubicación de la máquina eléctrica.

A su vez, se agrupan en fuentes de fallo eléctricas, como fluctuaciones en las tensiones de alimentación, tensiones desbalanceadas, en fuentes de fallo mecánicas, como sobrecargas, cargas pulsantes o fuentes ambientales, relacionadas con el entorno de trabajo, como sería la temperatura y la humedad (Singh, 2002) & (Puche, 2008).



**Figura: 2. 17 Fuentes de fallo en las máquinas eléctricas rotativas**  
**Fuente: (Instituto de energía y termodinámica - UPB, 2015)**

Por otra parte, en la figura 2.18 se representa una clasificación de los fallos según la naturaleza del fallo, ya sea de origen eléctrico o mecánico.



**Figura: 2. 18 Principales fallos de máquinas eléctricas, según la naturaleza del fallo**  
 Fuente: (Mirafzal, 2006) & (Picazo Ródenas, 2016)

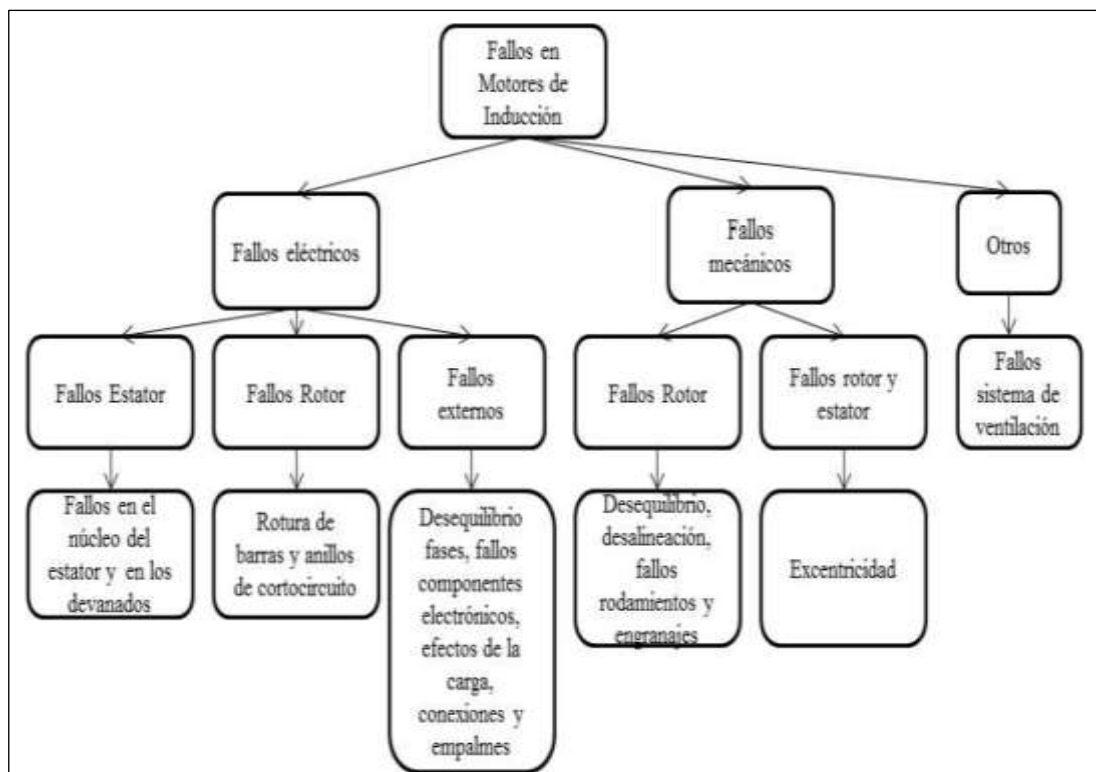
En la figura 2.19 se representa otro ejemplo de clasificación de fallos, en función de los elementos en los que se produce el fallo, rotor o estator (Puche, 2008) & (Picazo Ródenas, 2016)



**Figura: 2. 19 Clasificación de los principales fallos de máquinas eléctricas**  
 Fuente. (Singh, 2002)

A partir de las clasificaciones de los fallos mostradas, obtenidas de varias fuentes de referencias, se propone en ésta una clasificación propia de los fallos o averías. En primer lugar, se clasifican según su naturaleza física, ya sean eléctricos o mecánicos y a partir de ahí, en función de los elementos en los que se produce el fallo.

De esta forma, se puede señalar los principales fallos que se producen en las máquinas eléctricas rotativas, tal como se muestra en la figura 2.20.



**Figura: 2. 20 Clasificación propia de fallos eléctricos.**  
**Elaborado: Autor**

A continuación, se describen con detalles, los principales fallos en motores eléctricos.

## 2.8 Fallos eléctricos

### 2.8.1 Fallos en el estator

Tal y como se muestra en la Tabla 2.3 y Figura 2.20, los fallos en el estator suponen un gran porcentaje de averías que presentan los motores de inducción (37%). Dentro de estos fallos, se puede distinguir entre:

### **2.8.2 Fallo en el núcleo del estator**

El núcleo del estator de una máquina de inducción está diseñado para conducir el flujo electromagnético. Está constituido por delgadas láminas o chapas de acero aisladas que se apilan para evitar la circulación de corrientes parásitas en el núcleo del estator, ya que éstas disminuyen la eficiencia de la máquina. Los fallos en el núcleo del estator no son muy frecuentes comparados con los del aislamiento del devanado. Sin embargo, el proceso de reparación o reconstrucción resulta más caro, ya que requiere la sustitución del elemento completo. La mayoría de los fallos comienzan con daños en el aislante entre chapas.

Este hecho se debe a diversas causas como la formación de arcos eléctricos derivados de fallos en el devanado, aumento de temperatura, presencia de contaminantes químicos o partículas extrañas, sobreexcitación, holguras en el núcleo, restricciones o bloqueos en el sistema de ventilación del estator o incluso la presión aplicada durante rebobinado.

Todos ellos suponen un excesivo calentamiento en el núcleo o incluso vibraciones en los devanados sueltos del estator. Pero hay otras causas de fallo del núcleo como es el caso de una corriente de falta en el estator que puede dar lugar a que el núcleo funda (Tallam, 2007) & (IEE Guide, 2007) & (O'Donnell, 1985) & (Albrecht, 1986) & (Bonnett, 1992) & (O.V.Thorsen, 1999).

### **2.8.3 Fallo en el devanado del estator**

Los fallos del devanado estático representan una de las principales causas de fallo del motor. Se originan por una degradación gradual del aislamiento entre espiras o del aislamiento a tierra (muro aislante). Esta degradación es usualmente debida a una combinación de factores de origen diverso: vibraciones, fuentes de tensión diferencial, sobrecalentamiento o contaminación (Yun, 2007) & (Yoo, 2008-2009)

No obstante, la mayor parte de los fallos que se producen en el estator, se deben al fallo de aislamiento a tierra (23%) y la rotura de aislamiento (4%).



El fallo de aislamiento a tierra provoca una elevada corriente a tierra que podría suponer un fallo irreversible en el núcleo de la máquina. Si el fallo se detecta con antelación, la máquina se puede poner en funcionamiento tras el rebobinado del estator.

Hay que tener en consideración que el reemplazamiento de un motor supone un tiempo de inactividad importante ya que muchas aplicaciones industriales requieren ejes y acoplamientos a medida.

El deterioro del aislamiento del devanado comienza generalmente con un fallo entre espiras que afecta gradualmente a varias espiras del devanado. La corriente de falta, que es del orden del doble de la corriente durante el bloqueo del rotor, causa un calentamiento severo y localizado que se propaga a lo largo del devanado (Tallam, 2007).

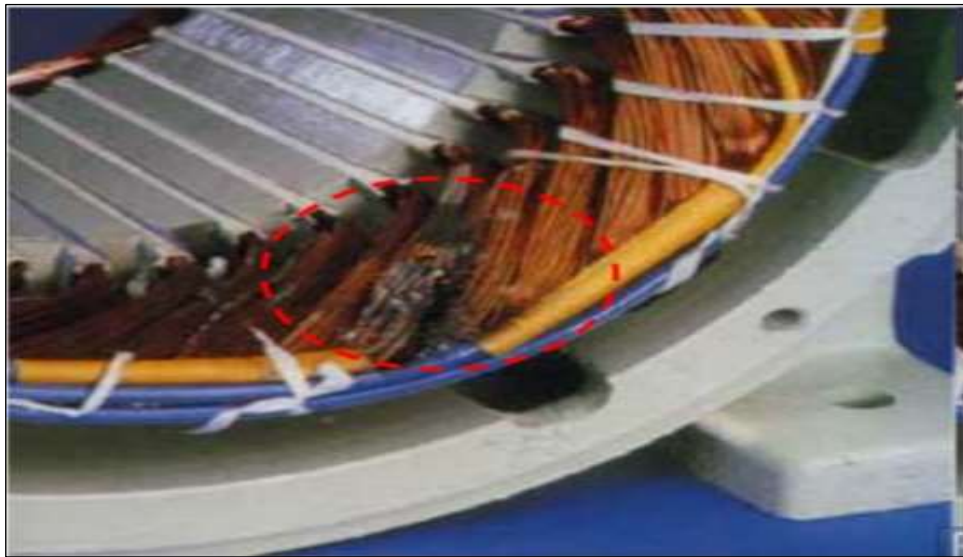
Lo ideal, es detectar este tipo de fallos con mucha antelación antes de que se produzcan ya que, dada su rápida evolución, es muy difícil planificar medidas de mantenimiento oportunas una vez el fallo está ya presente en la máquina, ya que el colapso es inminente.

Es por ello, que usualmente el estado del devanado se monitoriza mediante medidas periódicas de resistencia de aislamiento o índice de polarización, o incluso mediante la monitorización de las descargas parciales; estas pruebas dan idea de la degradación en el estado del aislante, permitiendo adoptar medidas oportunas con suficiente antelación, mucho antes de que el cortocircuito devenga. Existen, a este respecto, una variedad de ensayos *off-line* para controlar el estado del aislante, además de los antes citados: ensayo de la tangente de delta, ensayos de sobretensión, entre otros.

Los fallos en el núcleo y/o en el aislamiento del estator pueden producir, entre otras:

- Altas temperaturas de las bobinas, o del núcleo del estator.
- Láminas flojas del núcleo del estator, juntas en mal estado, etc.
- Pérdida de abrazadera en los anillos de cortocircuito.
- Contaminación debido al aceite, humedad y suciedad.
- Descargas eléctricas y desequilibrios en el suministro.
- Fugas en los sistemas de refrigeración. Altas temperaturas de las bobinas.
- Láminas flojas del núcleo del estator, juntas en mal estado, entre otros.

A continuación, se puede observar en la figura 2.21 un cortocircuito producido en el devanado estatórico.



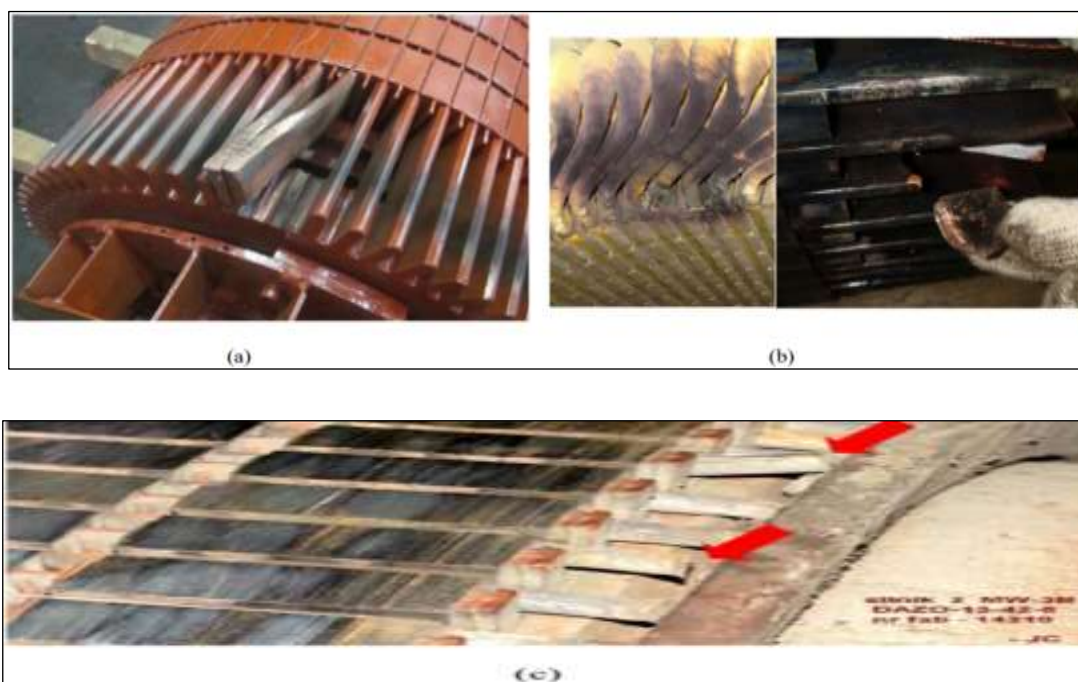
**Figura: 2. 21 Cortocircuito en el devanado estatórico.**  
**Fuente: (Castelli & Andrade, 2007)**

#### **2.8.4 Fallas en el rotor**

Las fallas que se suelen presentarse en el rotor de los motores de inducción, están relacionadas especialmente con las grandes temperaturas alcanzadas en este elemento, así como las elevadas fuerzas centrífugas que se producen en el extremo de las barras, en el punto de conexión con el anillo de corto circuito.

‘La rotura de barras’ es una de las fallas más comunes presentadas en el rotor. En varios trabajos se ha determinado, que la rotura de barras se debe principalmente a esfuerzos térmicos, esfuerzos magnéticos, vibraciones, esfuerzos residuales, esfuerzos dinámicos del par producido en el eje, fuerzas centrífugas, esfuerzos cíclicos, esfuerzos ambientales por contaminación e incluso esfuerzos mecánicos debido a laminaciones, fatiga, etc. (Nandi, 2005).

Si bien el desarrollo de este tipo de fallo es usualmente gradual y el motor puede continuar operando largo tiempo con una o varias barras rotóricas rotas; en ocasiones la rotura de una barra rotórica también ha llevado a efectos catastróficos en la máquina. Por ejemplo, en ocasiones fuerzas centrífugas elevadas han llevado a la protrusión de varias barras del rotor que han deteriorado el aislamiento estatórico llevando a la parada inmediata de la máquina (ver figura 2.22, (a)). En otras ocasiones, partes de la barra rota se han desprendido dañando el aislamiento del devanado estatórico y forzando la parada intempestiva de la máquina y, con ello del proceso de producción (figura 2.22, (b)). (La figura 2.22 (c) muestra la falla de rotura de barras en un rotor de un motor de minería.



**Figura: 2. 22 Muestras de barras rotas: protrusión de barras hacia el exterior (a), desprendimiento de fragmentos de barras rotas (b), rotor con barras rotas (c). Fuente: (Fandiño, 2012)**

Cuando una resistencia al paso de la corriente, que puede ser generada por una pequeña fisura, aparece en una barra, se manifiesta una gran disipación de calor alrededor de ese punto, por lo que los gradientes de temperatura derivados de este fenómeno contribuyen a que dicha grieta se acreciente, llevando finalmente a la ruptura total de la barra.

Comúnmente, la avería trasciende gradualmente hacia las barras adyacentes, debido a que la corriente que deja de conducir la barra que se rompe, se redistribuye entre las barras vecinas, ocasionando así un incremento de la corriente eléctrica (y de la temperatura) en dichas barras, lo que contribuye a que esas barras sean las más propensas a deteriorarse a posteriori, por lo que se inicia el proceso de aparición de nuevas grietas (Mota, 2013) & (Picazo Ródenas, 2016)

No obstante, dicha fractura suele empezar en los puntos de unión de la barra con el anillo de cortocircuito o en este mismo, ya que en dicha zona es donde suelen almacenarse los mayores esfuerzos electrodinámicos. Además de ser puntos relativamente 'débiles' al encontrarse la barra unida al anillo, mediante soldadura.

Por tanto, en el proceso de evolución de la avería hay que tener en consideración que las barras rotóricas soportan las fuerzas de frenado y aceleración del motor. En efecto, si la máquina sufre fluctuaciones bruscas en su velocidad de giro, originadas por su ciclo de trabajo, o por el tipo de máquina accionada, el fallo puede desarrollarse rápidamente como consecuencia de la fatiga de los materiales.

Además, debido a los regímenes transitorios térmicos del motor, la jaula puede sufrir movimientos diferenciales dentro del paquete magnético rotórico, lo que conduce habitualmente a la torsión y agrietamiento de los anillos. Una vez que una barra o anillo se ha agrietado, el proceso es degenerativo: la barra defectuosa se calienta en torno a la fisura hasta llegar a romperse.

## CAPÍTULO 3

### LA TERMOGRAFÍA EN MOTORES ELÉCTRICOS

#### 3.1 La termografía

Es la técnica que permite medir la temperatura superficial de un objeto sin necesidad de entrar en contacto físico con el mismo. Este hecho se consigue gracias a la captación de la radiación infrarroja que los cuerpos, por encima de 0° K, emiten como parte de la radiación electromagnética. Por tanto, se puede convertir las mediciones de dicha radiación en mediciones de temperatura.

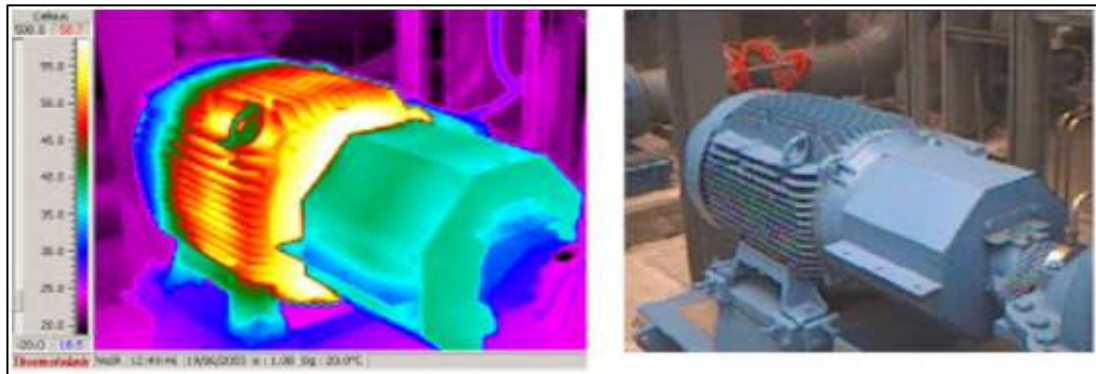
Hoy en día, la termografía infrarroja ha avanzado hasta el punto de poder generar una imagen térmica o termograma en dos dimensiones, de manera que permite conocer de forma instantánea la distribución superficial de la temperatura de un objeto para simplificar el análisis del proceso u objeto en estudio ( Vollmer, Möllmann, , & Royo, 2013) . Sin embargo, se puede decir que la termografía es una tecnología moderna que utiliza cámaras que miden y toman imágenes de la radiación infrarroja emitida por los cuerpos, sin necesidad de que haya luz visible. En los últimos años se ha convertido en una tecnología clave y factible con múltiples aplicaciones en muchos campos profesionales.

No obstante, en la actualidad, el control de la temperatura posee fines más sofisticados, ya que se controla la temperatura principalmente para fines productivos y de control de procesos. Pues, medir la temperatura es principalmente sustancial para poder controlarla u obtener información. En la actualidad, es posible hacerlo gracias al descubrimiento de ciertas propiedades en algunos materiales que generan una magnitud física en respuesta a un cambio de la temperatura medida.

Un ejemplo de este hecho sería el cambio de volumen de un termómetro de mercurio con la variación de la temperatura o la señal eléctrica

proporcional a un diferencial de temperatura que se genera en un termopar, sistemas de medida que necesitan contacto físico para poder medir. Sin embargo, no todos los sistemas de medida necesitan esta condición de contacto, como es el caso de la termografía infrarroja. (Picazo Ródenas, 2016).

A continuación, se puede ver en la figura 3.1 una termografía aplicada a un motor eléctrico.



**Figura: 3. 1 termografía aplicada a un motor eléctrico.**  
**Elaborado: Autor**

### **3.2 La Cámara termográfica**

En la actualidad, las cámaras termográficas se encuentran tan desarrolladas que permiten la captación en tiempo real de auténticas imágenes y secuencias térmicas que representan la distribución térmica superficial de los objetos observados. Con este dispositivo, la medida se realiza a distancia, sin necesidad de un tiempo de estabilización, con mayores posibilidades. Por tanto, resulta de gran utilidad en el amplio campo de investigación y desarrollo, con múltiples aplicaciones.

En general, los avances tecnológicos de la termografía infrarroja se deben principalmente al desarrollo de las partes fundamentales de la cámara termográfica, que son la óptica de precisión, el procesado inteligente de la señal electrónica y los detectores de infrarrojos de estructura matricial. Se han diseñado, por tanto nuevos sistemas de captura de imágenes siendo cada vez más pequeños, más compactos y ligeros, de mayores velocidades, sin olvidar una sustancial reducción de su precio.

De esta manera, antes de los progresos, la cámara de infrarrojos básicamente consistía en un detector con un sistema electromecánico de barrido de elevado ruido y limitado rendimiento, mientras que en la actualidad se cuentan con cámaras con detectores con interfaces digitales de 14 bits, valores de sensibilidad térmica desde 100mK hasta 50 mk, resolución infrarroja de hasta 640x480 píxeles, y frecuencias de muestreo de hasta decenas de KHz (Picazo Ródenas, 2016).

Véase en la figura 3.2 una cámara termográfica



**Figura: 3. 2 Cámara termográfica**  
**Elaborado: Autor**

### **3.3 Termografía infrarroja en fallas de motores eléctricos**

Cuando las instalaciones de fabricación industrial o general usan mantenimiento predictivo, muchas incluyen voluntariamente imágenes infrarrojas (IR) como parte de sus inspecciones eléctricas

#### **3.3.1 Termogramas**

Las cámaras termográficas detectan la energía infrarroja emitida, transmitida o reflejada por todos los materiales a temperaturas superiores al cero absoluto (0° Kelvin) y convierten el factor de energía en una lectura de temperatura o termograma.



Un termograma es la imagen térmica del objeto que está emitiendo, transmitiendo o reflejando la energía infrarroja, mostrada por la cámara. (OMEGA, 2014). La figura 3.3 muestra una cámara térmica (hasta 350 °C) con grabación de imágenes y sonido. Incluye software de análisis para computador.



**Figura: 3. 3 Cámara térmica con grabación de imágenes y sonido**  
**Elaborado: Autor**

### **3.3.2 Parámetros técnicos de una cámara térmica**

A continuación, se describe algunos parámetros técnicos para la selección de una cámara termográfica:

**Resolución del Detector:** este es un elemento importante de una cámara infrarroja, que dará mejores resultados de visualización.

**Frecuencia de refresco imagen:** Existen frecuencia de imagen de 9Hz, 30Hz, 50Hz y 60 Hz. Cuando menor es la frecuencia de imagen el costo es menor, porque son de imágenes cuadro por cuadro, no recomendable si las inspecciones son de constante movimiento u objetos a larga distancia. Escoger siempre una cámara de 60Hz porque son de imagen a tiempo real, es decir, no existe retardo en las imágenes y facilita las inspecciones.



**Precisión:** Las mediciones tienen que ser exactas, en algunos casos, la precisión es fundamental. Por eso se elige una cámara termográfica menores a  $\pm 2\%$  ó  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  de margen de error.

**Rango de temperatura:** El rango de temperatura depende de la aplicación de la cámara infrarroja, si solo son aplicaciones eléctricas suficientes con un rango de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $350^{\circ}\text{C}$  (si un metal sobre pasa los  $400^{\circ}\text{C}$  a más no se necesita una cámara infrarroja porque a simple vista veras el metal al rojo vivo). Pero, si las inspecciones son a calderas, hornos o equipos de altas temperaturas, se necesita rangos hasta los  $2000^{\circ}\text{C}$ .

**Duración de baterías:** Es un elemento a tener en cuenta cuando se trata de inspecciones al aire libre como, por ejemplo, a Líneas de Transmisión eléctrica. La duración mínima de una batería debe de ser de 2.5 horas, y si incluye la función ahorro energía es un punto extra a la hora de tomar una decisión.

**Diseño ergonómico y ligero:** El peso de la cámara es otro punto importante, te facilitara cuando te movilices dentro de una planta o en el campo. La ergonomía de la Cámara Ir es fundamental, tienen que ser ajustable a la mano y dedos para evitar trastornos en las articulaciones.

**Software para el análisis y reporte:** debe tener las siguientes características: a) Plantillas editables. b) Compatible con Microsoft Office. c) Asistente para elaborar reportes. (Sector Electricidad, 2015).

A continuación, se detalla en la tabla 3.1 las ventajas y desventajas de las prácticas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, se expone que por procedimientos de los programas de mantenimiento preventivo utilizando cámaras térmicas se puede mejorar o ser eficientes en la operación y mantenimiento de máquinas de un proceso industrial.

**Tabla 3. 1 Ventajas y desventajas de las prácticas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo (de ejecución)**

	Predictivo	Preventivo	Correctivo
<b>Descripción</b>	Monitoreo continuo o inspección de mantenimiento periódico para detectar cualquier síntoma de falla del sistema	Tiempo o mantenimiento periódico.  El sistema se elimina o se detiene para su mantenimiento, incluso si no hay falla	Ocurre solo cuando un componente, cadena de fallas, falla primaria o sistema secundario se descomponen
<b>Ventaja</b>	El mantenimiento se puede hacer cuando la planta está en funcionamiento, o cuando el sistema está fuera de línea  El tiempo de inactividad para la reparación se reduce  El costo general de mantenimiento se reduce	Trabajo de mantenimiento programado y regular  El costo general de mantenimiento es más fácil de administrar	Menos trabajo de supervisión e inspección para el mantenimiento de la planta o el personal de la instalación  Elimina la necesidad de crear cronogramas de mantenimiento
<b>Desventaja</b>	Cargas pesadas de trabajo con varias inspecciones y métodos de monitoreo para el personal de mantenimiento de la instalación	El costo de mantenimiento sigue siendo alto, las piezas se reemplazan, aunque no hayan llegado al final de la vida útil	Las averías y reparaciones inesperadas interrumpen la producción  Riesgo de tiempo de inactividad prolongado si se deben pedir piezas especiales  El costo general es alto ya que las instalaciones de producción deben cerrarse inesperadamente

**Elaborado: Autor**

## **PARTE II APORTACIONES**

### **CAPÍTULO 4**

#### **LEVANTAMIENTO DE DATOS DE LAS MÁQUINAS**

##### **4.1 Equipos de línea de producción de puré de banano**

Después de haber especificado los procesos a los cuales será sometido el banano orgánico para la obtención del puré, es imprescindible establecer la tecnología y equipos para llevar a cabo dichos procesos.

La línea de producción estará compuesta por operaciones manuales y mecanizadas; pues, al inicio del proceso es necesario que las actividades se desarrollen de manera manual, como son la recepción, lavado y pelado de la fruta. No obstante, el proceso de maduración es mecánico y luego se realiza el pulpeado, homogeneizado, desaireado, esterilizado y envasado. Estos son operaciones mecánicas, bajo supervisión de personal operario formalmente capacitado (Guzmán Velásquez, 2014) & (Tropical Food Machinery, 2016).

A continuación, se detallan los principales equipos a utilizar:

##### **4.1.1 Cámara de maduración**

Este equipo posee una dimensión de 8 m. de largo x 5 m. de fondo x 3 m. de altura; tienen paredes y techo con paneles térmicos, con láminas (exterior e interior) de acero inoxidable.

Asimismo, la cámara de maduración está equipada con dos unidades condensadoras de 1 HP, enfriada por aire, equipada con un compresor hermético para refrigerante R22, para después operar a 220/1/60 con una capacidad frigorífica de 37.305 BTU a 9 °C. Además, está equipada con dos evaporadores, uno para cada unidad condensadora, con capacidad de 17.200 BTU/h a 12 °C para operar a 220/1/60.

La operatividad de la cámara de maduración depende del volumen de procesamiento de banano, que posee la empresa.

En la figura 4.1 se puede observar sus interiores. (Guzmán Velásquez, 2014) & (Demerutis, 2014)



**Figura: 4. 1 Interior de una cámara de maduración**  
**Elaborado: Autor**

#### **4.1.2 Lavadora**

Este equipo realiza operaciones de prelavado y lavado por inmersión de las frutas en agua, con una fuerte turbulencia inyectando aire. La lavadora está compuesta de un tanque (donde se realiza la inmersión), una bomba de recirculación de agua, un compresor, una banda transportadora. Véase la figura 4.2.



**Figura 4. 2 Lavadora**  
**Elaborado: Autor**

#### 4.1.3 Banda de selección

Este equipo se emplea para realizar el pelado de la fruta, ya que se puede regular su velocidad de transporte. Además, se puede emplear 8 operadores, los cuales pelan el banano de manera eficiente y rápida para posteriormente sea trasladado en la banda elevadora hacia la pulpeadora. Está compuesta de un regulador de velocidad, una banda de acero inoxidable AISI 304, como se puede apreciar en la figura 4.3.



**Figura 4. 3 Banda de selección**  
**Elaborado: Autor**

#### 4.1.4 Banda elevadora

El elevador recibe la fruta pelada y la transporta hacia la siguiente máquina de la línea (pulpeadora a vacío). Esta banda está fabricada de acero inoxidable AISI 304 y puede desplazar entre 5000 y 8000 kg/h de banano. Dicha banda se puede observar en la figura 4.4.



**Figura 4. 4 Banda elevadora**  
**Elaborado: Autor**

#### **4.1.5 Pulpeadora a vacío**

Esta máquina tritura la pulpa al vacío, evitando así que la pulpa esté en contacto con el oxígeno del aire, y reduciendo el riesgo de pardeamiento enzimático del producto. El equipo está compuesto de un tornillo helicoidal giratorio, una rejilla con agujeros, bomba de vacío, regulador de velocidad. Todos los componentes que se encuentran en contacto con la fruta son de acero inoxidable AISI 304. En la figura 4.5 se aprecia la Pulpeadora.



*Figura 4. 5 Pulpeadora a vacío  
Elaborado: Autor*

#### **4.1.6 Inactivador enzimático de superficie raspada**

Este equipo calienta el puré, a la temperatura deseada efectuando el tratamiento de inactivación enzimática que facilita las operaciones sucesivas de prensado y separación de semillas. Está compuesto de un cuerpo cilíndrico horizontal, un motor, válvulas de suministro y descarga del producto. Las partes están fabricadas de acero inoxidable AISI 304. Véase la figura 4.6



*Figura 4. 6 Inactivador enzimático de superficie raspada  
Elaborado: Autor*

#### 4.1.7 Turbo separador centrífugo

Este equipo ejecuta la refinación del producto en dos etapas, mediante la acción de un rotor con golpeadores axiales de ángulo regulable. Pues, el producto sale de una placa de tamiz con agujeros calibrada para lograr la separación requerida.

La máquina que se aprecia en la figura 4.7, posee un cilindro vertical completo con tamiz, un rotor interno con bateadores axiales y sus partes están fabricadas de acero inoxidable AISI 304. (Guzmán Velásquez, 2014)



*Figura 4. 7 Turbo separador centrífugo  
Elaborado: Autor*

#### 4.1.8 Desaireador

Este equipo elimina el oxígeno contenido en el producto, a través de la acción del vacío, evitando de esa manera, su oxidación y a su vez, ayuda a aumentar su estabilidad.



*Figura 4. 8 Desaireador  
Elaborado: Autor*



El desaireador que se observa en la figura 4.8, está compuesto de un cuerpo cilíndrico vertical con escotilla, para la limpieza de interiores, bomba de vacío y un sistema de tubos. Las partes están fabricadas de acero inoxidable AISI 304.

#### **4.1.9 Pasteurizadores de superficie raspada**

El pasteurizador es perfecto para el tratamiento de purés y jugos concentrados de frutas, que tienen elevada viscosidad. La misma, se puede ver en la figura 4.10. En este caso el puré de banano pasa por el interior de un tubo, dentro del cual actúa con raspadores que limpian continuamente la superficie de intercambio de calor.

El sistema funciona a presión en todo momento y los tubos están protegidos por barreras de vapor, para asegurar la esterilidad del producto. Véase el equipo pasteurizador en la figura 4.9



**Figura 4. 9 Pasteurizador de superficie raspada**  
*Elaborado: Autor*

#### **4.1.10 Llenadoras asépticas**

Han sido realizadas específicamente para llenar bolsas previamente esterilizadas, de multicapa, con capacidad de 3 a 1000 litros. Este equipo se adapta a la variedad de envases que pueden contener las bolsas asépticas, por ejemplo: bidones plásticos, cajas de cartón, cilindros metálicos, entre



otros; tal como se puede observar en la figura 4.10. Por tanto, el envasado aséptico reduce los costos de procesamiento, almacenamiento y transporte. Las partes en contacto con el producto están fabricadas de acero inoxidable AISI 304. (Guzmán Velásquez, 2014)



**Figura 4. 10 Pasteurizador de superficie raspada**  
**Elaborado: Autor**

En el siguiente capítulo se detalla el procedimiento y análisis termográfico a tableros, motores y otros equipos eléctricos de la línea de producción de puré de banano de la procesadora Bojan S.A.

## **CAPÍTULO 5**

### **ANÁLISIS TERMOGRÁFICO**

Las imágenes térmicas de la línea de producción de puré de banano y maracuyá de la procesadora Bojan S.A determinará por medio de la termografía, que los motores eléctricos en condiciones de funcionamiento reflejaran temperatura de su superficie. A diferencia de un termómetro infrarrojo que solo captura la temperatura en un solo punto, una cámara termográfica puede capturar temperaturas en miles de puntos a la vez, para todos los componentes críticos: el motor, el acoplamiento del eje, los cojinetes del motor y del eje y la caja de engranajes, etc.

Idealmente, los motores operaran en condiciones normales de funcionamiento. Todos los motores deben indicar la temperatura de funcionamiento normal en la placa de identificación. Y aunque la cámara de infrarrojos no puede ver el interior del motor, la temperatura de la superficie exterior es un indicador de la temperatura interna. A medida que el motor se calienta más adentro, también se calienta más en la superficie exterior.

A través de imágenes térmicas se monitorea fallas en circuitos eléctricos con el fin de solucionar problemas de conexiones sueltas, demasiado apretadas o corroídas en sistemas eléctricos comparando las temperaturas de las conexiones dentro de los paneles.

Hay que tener en cuenta, que cada motor está diseñado para operar a una temperatura interna específica. Los otros componentes no deben estar tan calientes como la carcasa del motor. Por lo tanto, un termógrafo experimentado que también tenga conocimientos sobre motores puede usar imágenes térmicas para identificar condiciones tales como flujo de aire inadecuado, falla inminente del rodamiento, problemas de acoplamiento del eje y degradación del aislamiento en el rotor o estator de un motor.

En una bomba, una diferencia de temperatura a lo largo de un sello o junta es la "firma" de una falla. Una mancha en la carcasa adyacente a un rodamiento puede indicar una falla inminente del rodamiento, aunque probablemente no podrá determinar la causa raíz de una imagen térmica sola. Tal vez haya un problema de lubricación o tal vez desalineación en el disco.

### 5.1 Inspección termográfica

La inspección termográfica se desarrolló bajo condiciones normales de operación, de acuerdo a la planificación prevista.

**Figura: 5. 1 Inspección por medio de Termogramas**

Área	Equipo	Estado
Salas de Tableros Eléctricos Banano y Maracuyá	Tablero de Distribución #1 Superior	Normal
Salas de Tableros Eléctricos Banano y Maracuyá	Tablero de Distribución #1 Inferior	Normal
Salas de Tableros Eléctricos Banano y Maracuyá	Tablero de Distribución # 2 Superior	Precaución
Salas de Tableros Eléctricos Banano y Maracuyá	Tablero de Distribución # 2 Inferior	Alerta
Salas de Tableros Eléctricos Banano y maracuyá	Tablero de Distribución # 3 Superior	Normal
Salas de Tableros Eléctricos Banano y Maracuyá	Panel de Distribución # 3 Inferior	Normal
Salas de Tableros Eléctricos Banano y Maracuyá.	Banco de Condensador Banano y Maracuyá	Normal
Salas de Tableros Eléctricos Banano y Maracuyá.	Tablero Banano # 3 Superior	Normal
Salas de Tableros Eléctricos Banano y Maracuyá.	Tablero Banano # 3 Medio	Alerta
Salas de Tableros Eléctricos Banano y Maracuyá	Tablero de Banano # 2 Superior	Normal
Subestación Eléctrica #1 Blend	Tablero de Distribución Bombas Alumbrado Superior	Precaución
Subestación Eléctrica # 1 Blend	Tablero de Distribución Bombas Alumbrado Inferior	Normal

Subestación Eléctrica # 1 Blend	Tablero de Distribución Principal Blend Superior	Precaución
Subestación Eléctrica # 1 Blend	Breacker Principal Blend Superior	Normal
Subestación Eléctrica # 1 Blend	Breacker Principal Blend Inferior	Normal
Subestación Eléctrica # 1 Blend	Banco Transformadores Banano y Maracuyá	Normal
Subestación Eléctrica # 2	Tablero Banco Condensador (Cámara Maduración)	Normal
Subestación Eléctrica # 2	Breacker Principal (Cámara Maduración) Superior	Normal

**Fuente: Autor**

### 5.1.1 Tablero de distribución # 1 Superior

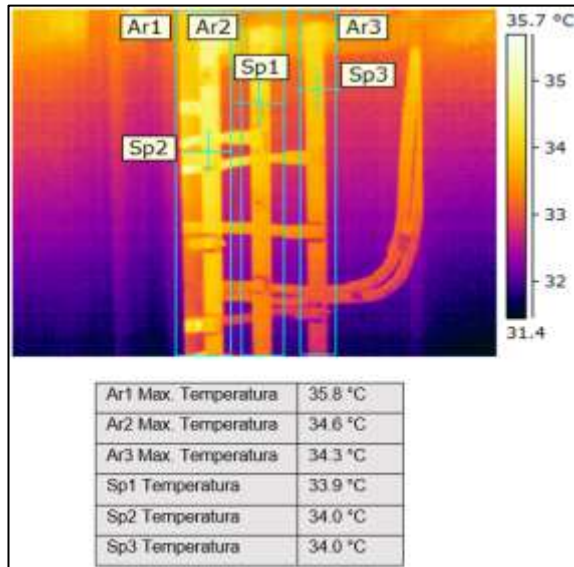
A continuación, en la figura 5.2 se puede apreciar el tablero de distribución # 1 superior.



**Figura 5. 2 Tablero de distribución #1 superior**

**Fuente: Autor**

En la figura 5.3 se puede ver la imagen de termografía del tablero de distribución #1 superior.



**Figura: 5. 3 Termograma**  
**Fuente: Autor**

Luego, se hace los análisis sobre la operación en tablero eléctrico, distribución y a equipos eléctricos.

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

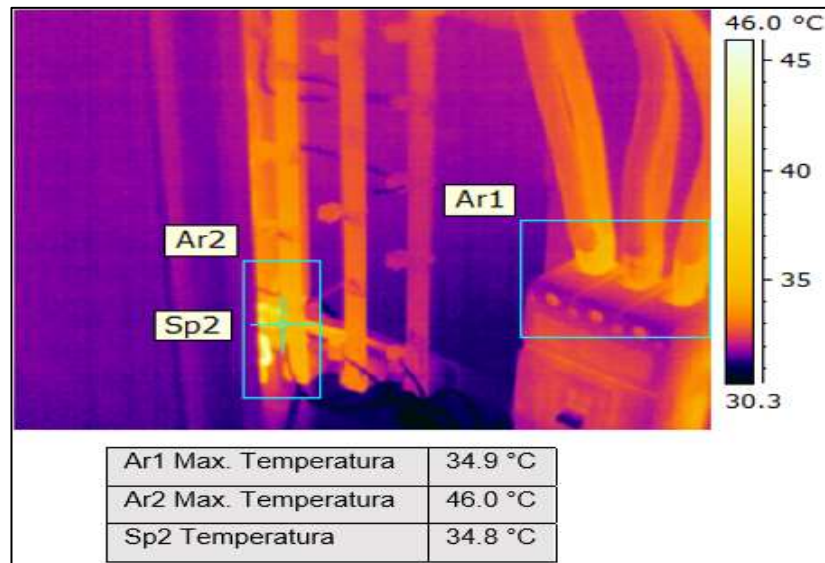
### 5.1.2 Tablero de distribución # 1 Inferior

En la figura 5.4 se puede ver el tablero de distribución # 1 inferior.



**Figura: 5. 4 Tablero de distribución # 1 inferior**  
**Fuente: Autor**

En la figura 5.5 se puede ver una imagen de termografía.



**Figura: 5. 5 Termograma**  
**Fuente: Autor**

Los análisis sobre la operación en el tablero eléctrico, distribución y equipos eléctricos, se resumen en:

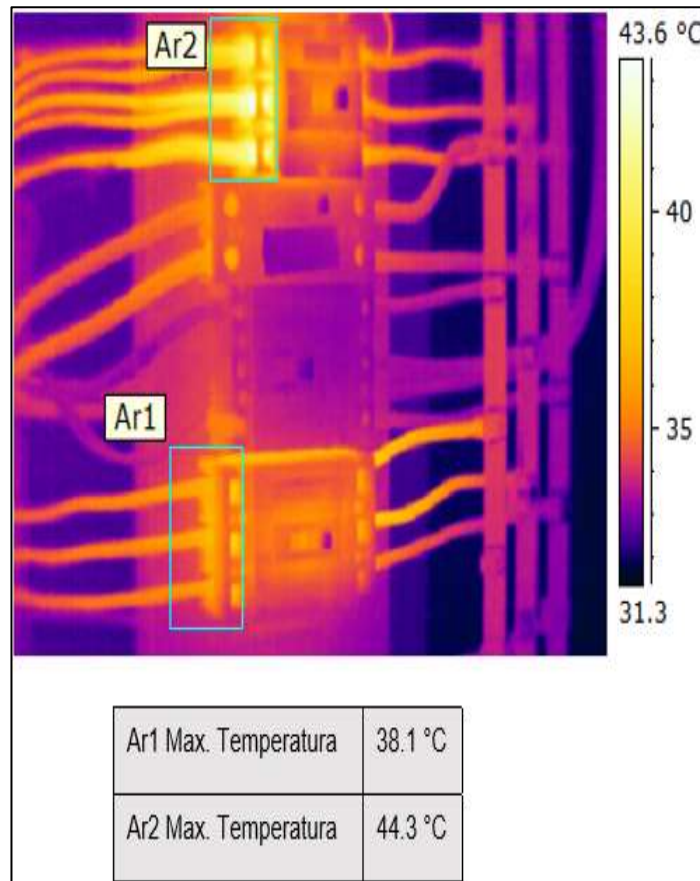
- Localización de la falla: ninguna
- Clasificación del problema: ninguna
- Causas del problema: ninguna
- Recomendaciones: ninguna

### 5.1.3 Tablero de distribución # 2 Superior



**Figura: 5. 6 Tablero de distribución # 2 superior**  
**Fuente: Autor**

En la figura 5.7 se puede apreciar una imagen de termografía del tablero eléctrico de Distribución # 2 Superior.



**Figura: 5. 7 Termograma**  
**Fuente: Autor**

Los análisis de operación en el tablero de distribución 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.

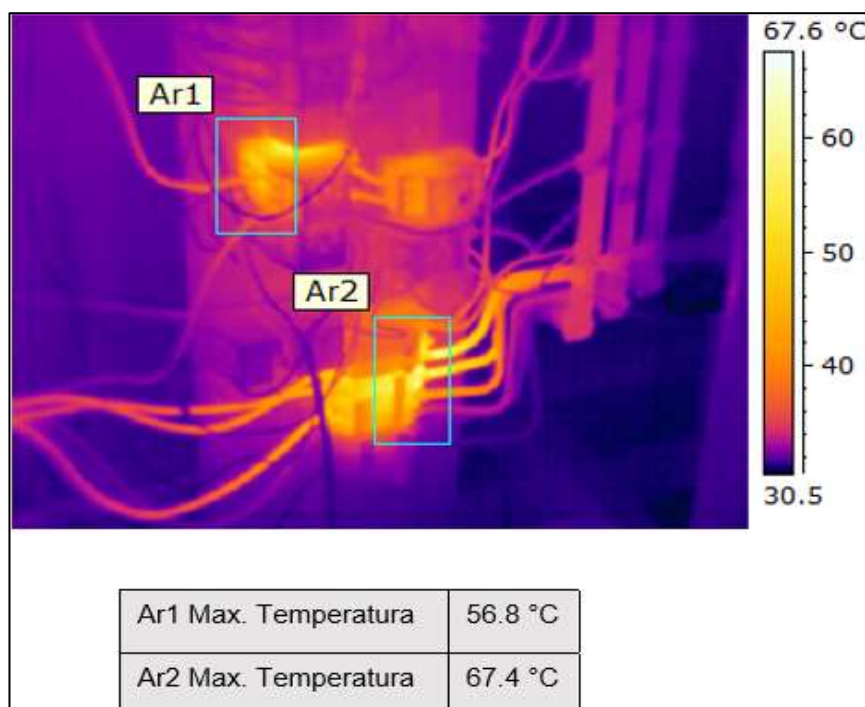


#### 5.1.4 Tablero de distribución # 2 Inferior



**Figura: 5. 8 Tablero de distribución # 2 inferior**  
**Fuente: Autor**

En la figura 5.9 se puede apreciar una imagen de termografía.



**Figura: 5. 9 Termograma**  
**Fuente: Autor**

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



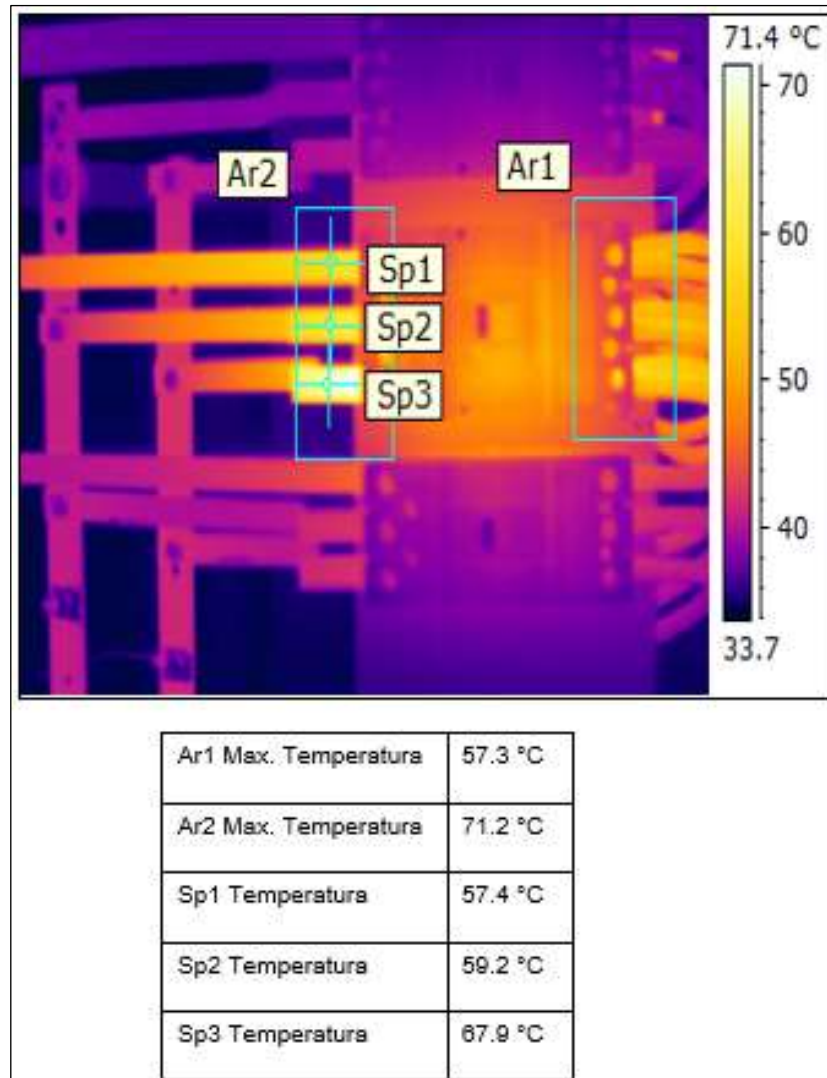
- Localización de la falla: Bornes de contactor
- Clasificación del problema: Alerta
- Causas del problema: Contacto insuficiente entre conductor y borne de contactor. Aparte de la suciedad en las conexiones y los tornillos flojos probables.
- Recomendaciones: Limpiar siempre la superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y borne de contactor. Igualmente, ajustar los tornillos suficientemente.

### 5.1.5 Tablero de distribución # 3 Superior



**Figura: 5. 10 Tablero de distribución # 3 superior**  
**Fuente: El autor**

En la figura 5.11 se puede observar una imagen de termografía del tablero eléctrico de Distribución # 3 Superior.



**Figura: 5. 11 Termograma**  
**Fuente: Autor**

Los análisis sobre la operación en el tablero eléctrico, distribución y equipos eléctricos, se resumen en:

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

### 5.1.6 Panel de distribución # 3 Inferior



Ubicación	Salas de tableros eléctricos de banano y maracuyá.
Equipo	Panel de distribución # 3 Inferior

**Figura: 5. 12 Panel de distribución # 3 Inferior**  
**Fuente: Autor**

En la figura 5.13 se puede observar una imagen de termografía.



Ar2 Max. Temperatura	37.3 °C
Ar3 Max. Temperatura	37.4 °C

**Figura: 5. 13 Termograma**  
**Fuente: Autor**

Los análisis de operación en el tablero eléctrico y los equipos de panel de distribución # 3 inferior, se resumen en:

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

- Causas del problema: ninguna
- Recomendaciones: ninguna

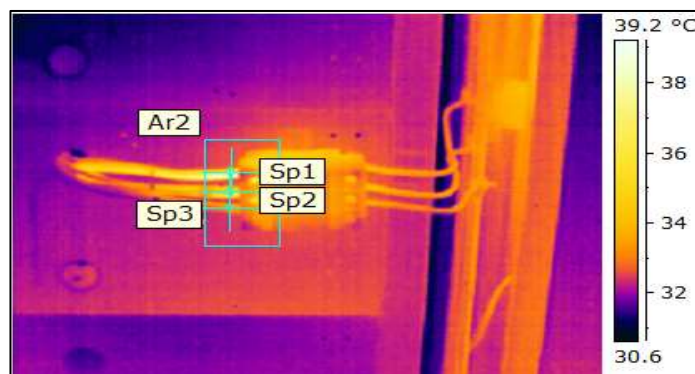
### 5.1.7 Banco de condensador de banano y maracuyá



Ubicación	Salas de tableros eléctricos línea de puré de banano y maracuyá.
<b>Equipo</b>	<b>Banco de condensador, línea puré de banano y maracuyá</b>

**Figura: 5. 14 Banco de condensador banano y maracuyá**  
**Fuente: Autor**

En la figura 5.15 se puede observar una imagen de termografía del Banco de condensador para línea de puré de banano y maracuyá.



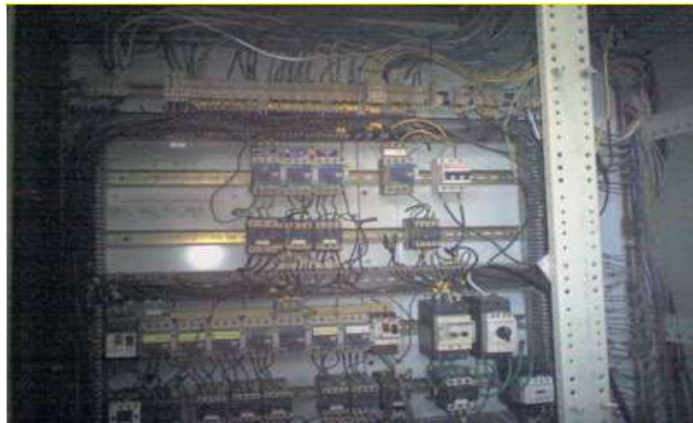
Ar2 Max. Temperatura	39.4 °C
Sp1 Temperatura	36.4 °C
Sp2 Temperatura	34.8 °C
Sp3 Temperatura	33.1 °C

**Figura: 5. 15 Termograma**  
**Fuente: Autor**

Los análisis de operación en el tablero eléctrico y los equipos de banco de condensador de línea de puré de banano y maracuyá, se resumen en:

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

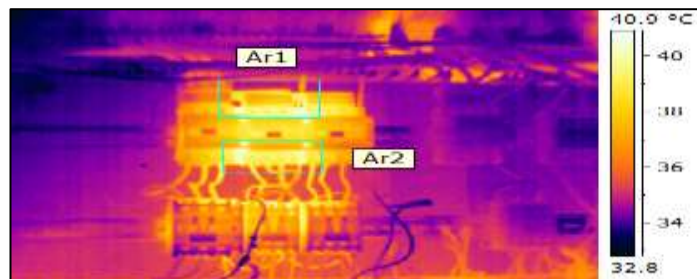
### 5.1.8 Tablero banano # 3 superior



Ubicación	Salas de tableros eléctricos de banano y maracuyá.
Equipo	Tablero Banano # 3 Superior

**Figura: 5. 16 Tablero banano # 3 superior**  
**Elaborado: Autor**

En la figura 5.17 se puede observar una imagen de termografía.



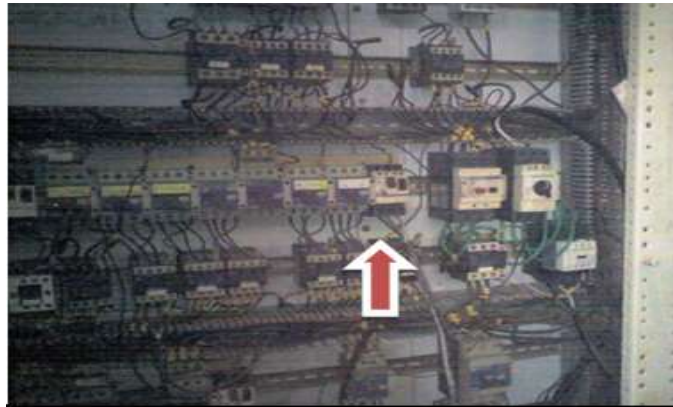
Ar1 Max. Temperatura	40.7 °C
Ar2 Max. Temperatura	41.1 °C

**Figura 5. 17 Termograma**  
**Elaborado: Autor**

Los análisis de operación del tablero de banano # 3 superior, se resumen en lo siguiente:

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

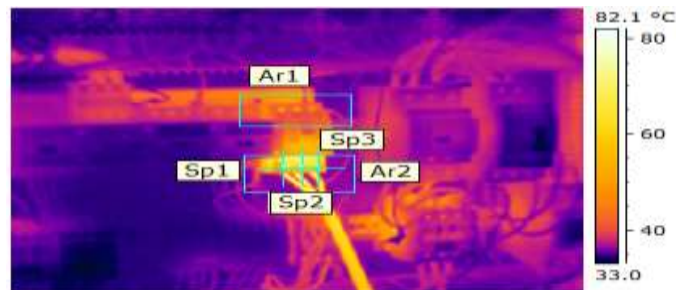
### 5.1.9 Tablero banano # 3 medio



Ubicación	Salas de tableros eléctricos de banano y maracuyá.
Equipo	Tablero banano # 3 Medio

**Figura: 5. 18 Tablero banano # 3 Medio**  
**Fuente: Autor**

En la figura 5.19 se puede ver una imagen de termografía.



Ar1 Max. Temperatura	50.7 °C
Ar2 Max. Temperatura	82.1 °C
Sp1 Temperatura	79.3 °C
Sp2 Temperatura	65.6 °C
Sp3 Temperatura	57.7 °C

**Figura: 5. 19 Termograma**  
**Fuente: Autor**



Los análisis de operación en el tablero eléctrico y en equipo de tablero banano # 3 medio, se resumen en:

- Localización de la falla: bornes de contactor
- Clasificación del problema: Alerta
- Causas del problema: contacto insuficiente entre conductor y borne de contactor. Aparte de la suciedad en las conexiones y probables tornillos flojos.
- Recomendaciones: limpiar siempre la superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y borne de contactor. Igualmente, ajustar los tornillos suficientemente.

#### 5.1.10 Tablero de banano # 2 superior

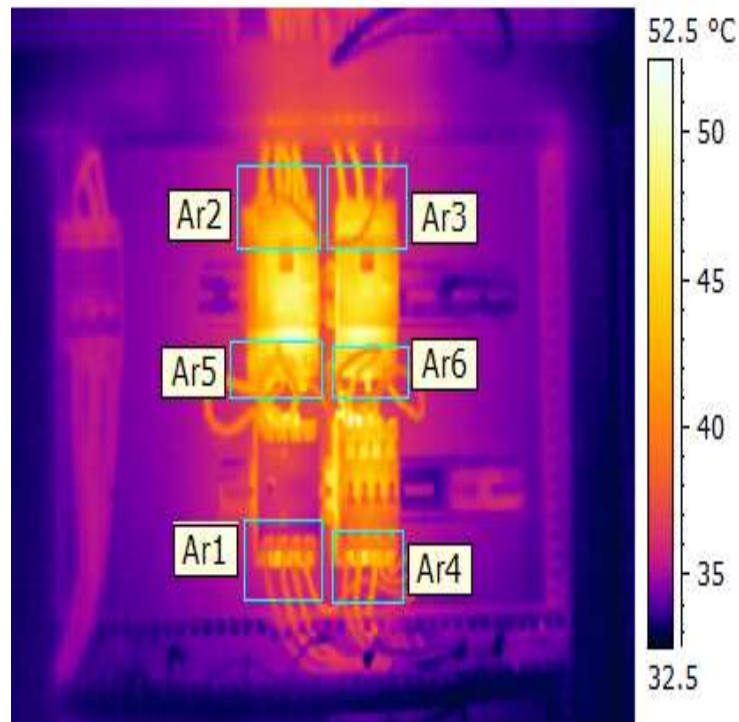


Ubicación	Salas de tableros eléctricos de banano y maracuyá.
Equipo	Tablero de Banano # 2 Superior

**Figura: 5. 20 Tablero de Banano # 2 Superior**

**Elaborado: Autor**

En la figura 5.21 se puede apreciar la termografía.



Ar1 Max. Temperatura	45.5 °C
Ar2 Max. Temperatura	45.7 °C
Ar3 Max. Temperatura	46.6 °C
Ar4 Max. Temperatura	49.8 °C
Ar5 Max. Temperatura	49.5 °C
Ar6 Max. Temperatura	48.4 °C

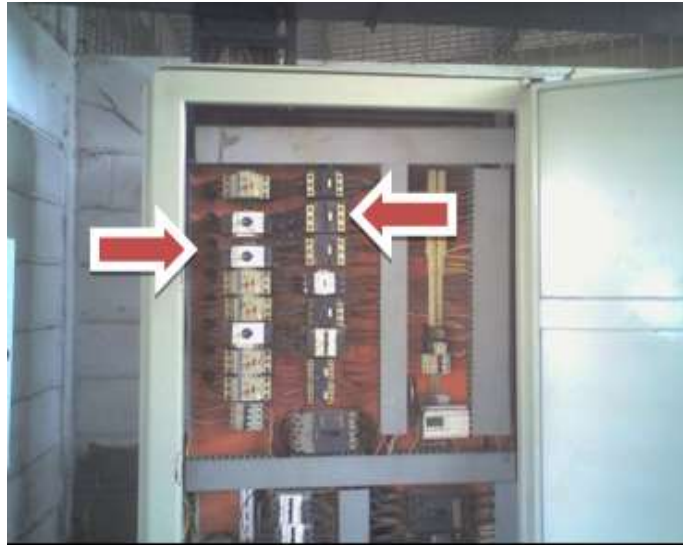
**Figura: 5. 21 Termograma**  
**Fuente: Autor**

El análisis de operación en el tablero eléctrico y en equipo de banano # 2 superior, se resumen en:

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



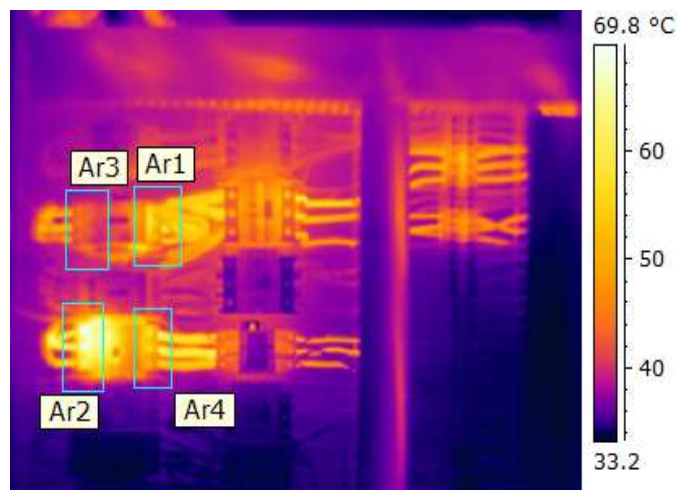
### 5.1.11 Tablero de distribución de bombas alumbrado superior



Ubicación	Subestación eléctrica # 1 Blend
Equipo	Tablero de distribución de bombas- alumbrado superior

**Figura: 5. 22 Tablero de distribución de bombas- alumbrado superior**  
Elaborado: Autor

En la figura 5.23 se puede apreciar una imagen de termografía.



Ar1 Max. Temperatura	60.8 °C
Ar2 Max. Temperatura	69.4 °C
Ar3 Max. Temperatura	52.0 °C
Ar4 Max. Temperatura	65.1 °C

**Figura: 5. 23 Termograma**  
Elaborado: Autor

El análisis de operación en subestación eléctrica y en equipo de tablero de distribución de bombas y alumbrado superior, se resumen en:

- Localización de la falla: bornes de contactor
- Clasificación del problema: Precaución
- Causas del problema: contacto insuficiente entre conductor y borne de contactor. Aparte de la suciedad en las conexiones y probables tornillos flojos.
- Recomendaciones: limpiar siempre la superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y borne de contactor. Igualmente, ajustar los tornillos suficientemente.

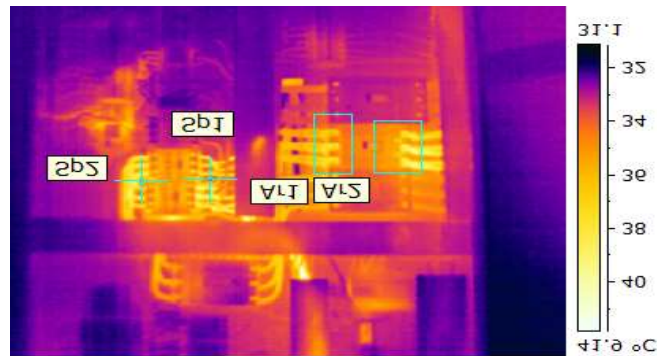
#### 5.1.12 Tablero de distribución bombas - alumbrado inferior



Ubicación	Subestación Eléctrica # 1 Blend
Equipo	Tablero de distribución de bombas- alumbrado inferior

**Figura: 5. 24 Tablero de distribución de bombas- alumbrado inferior**  
**Fuente: Autor**

En la figura 5.25 se puede apreciar la termografía.



Ar1 Max. Temperatura	37.9 °C
Ar2 Max. Temperatura	40.0 °C
Sp1 Temperatura	34.1 °C
<b>Sp2 Temperatura</b>	<b>35.4 °C</b>

**Figura 5. 25 Termograma**  
**Elaborado por: El autor**

El análisis de operación de subestación eléctrica y en equipo de tablero de distribución de bombas- alumbrado inferior, se sintetiza en:

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

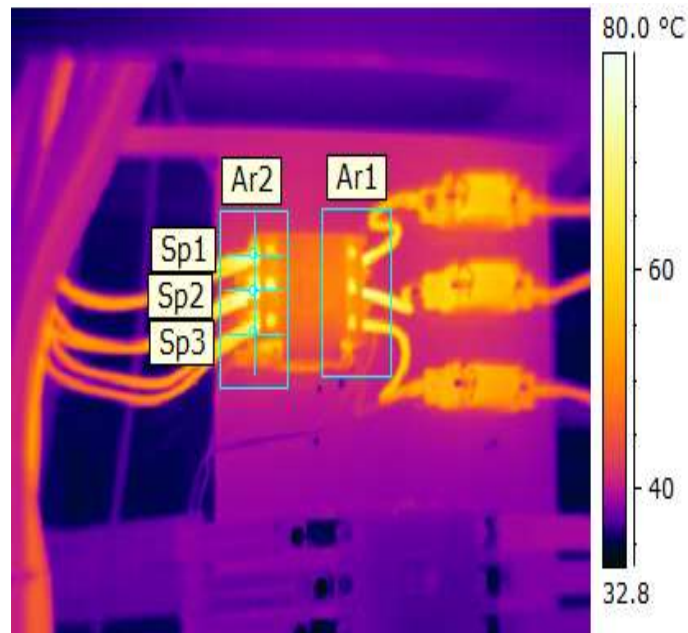
### 5.1.13 Tablero de distribución principal blend superior



Ubicación	Subestación Eléctrica # 1 Blend
Equipo	Tablero de distribución principal Blend superior

**Figura: 5. 26 Tablero de distribución principal Blend superior**  
**Elaborado: Autor**

A continuación, en la figura 5.27 se puede apreciar la imagen de termografía del tablero de Distribución Principal Blend Superior.



Ar1 Max. Temperatura	77.3 °C
Ar2 Max. Temperatura	80.1 °C
Sp1 Temperatura	73.3 °C
Sp2 Temperatura	79.9 °C
Sp3 Temperatura	49.8 °C

**Figura: 5. 27 Termograma**  
**Elaborado: Autor**

El análisis de operación de subestación eléctrica y el equipo de tablero de distribución principal, se resumen en:

- Localización de la falla: bornes de Breaker y fusibles
- Clasificación del problema: precaución
- Causas del problema: contacto deficiente o con desgaste
- Recomendaciones: limpiar siempre la superficie de unión y asegurar buen contacto entre conductor y borne de contactor. Asimismo, ajustar los tornillos suficientemente.

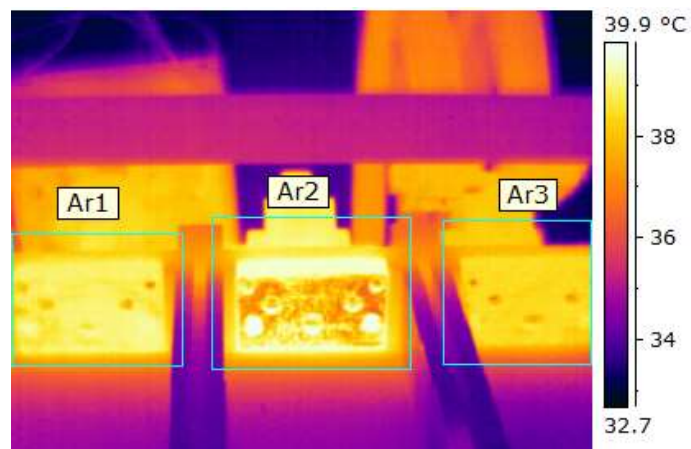
### 5.1.14 Breacker principal blend superior



Ubicación	Subestación Eléctrica # 1 Blend
Equipo	Breaker principal Blend superior

**Figura: 5. 28 Breaker principal Blend superior**  
**Elaborado: Autor**

A continuación, en la figura 5.29 se puede apreciar una imagen de termografía.



Ar1 Max. Temperatura	39.4 °C
Ar2 Max. Temperatura	39.9 °C
Ar3 Max. Temperatura	38.9 °C

**Figura: 5. 29 Termograma**  
**Elaborado: Autor**

El análisis de operación de subestación eléctrica y en equipo de tablero de distribución principal Blend superior, se resumen en:

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

- Causas del problema: ninguna
- Recomendaciones: ninguna

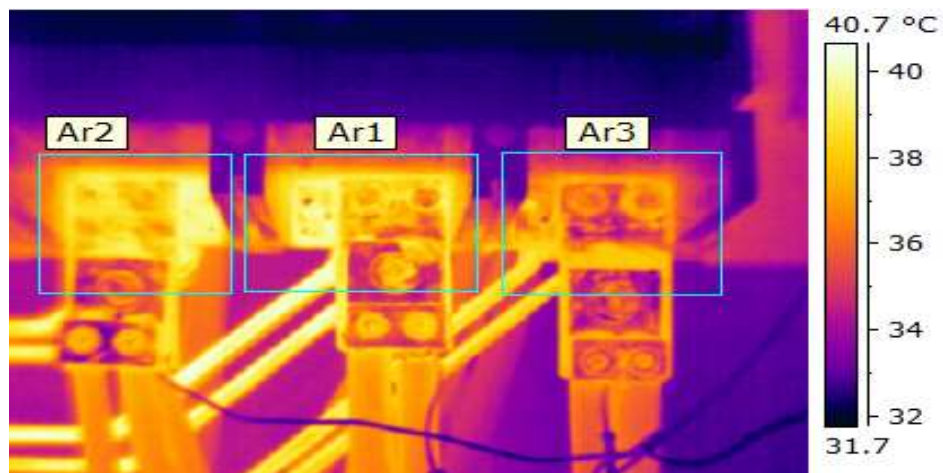
### 5.1.15 Breaker principal blend inferior



Ubicación	Subestación Eléctrica # 1 Blend
Equipo	Breaker principal Blend inferior

**Figura: 5. 30 Breaker principal Blend inferior**  
**Elaborado: Auto**

En la figura 5.31 se puede apreciar una imagen de termografía del Breaker Principal Blend Inferior.



Ar1 Max. Temperatura	40.4 °C
Ar2 Max. Temperatura	39.9 °C
Ar3 Max. Temperatura	39.0 °C

**Figura: 5. 31 Termograma**  
**Elaborado: Autor**



El análisis de operación de subestación eléctrica y el equipo Breacker principal Blend inferior, se resumen en:

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

#### 5.1.16 Banco de transformadores banano y maracuyá

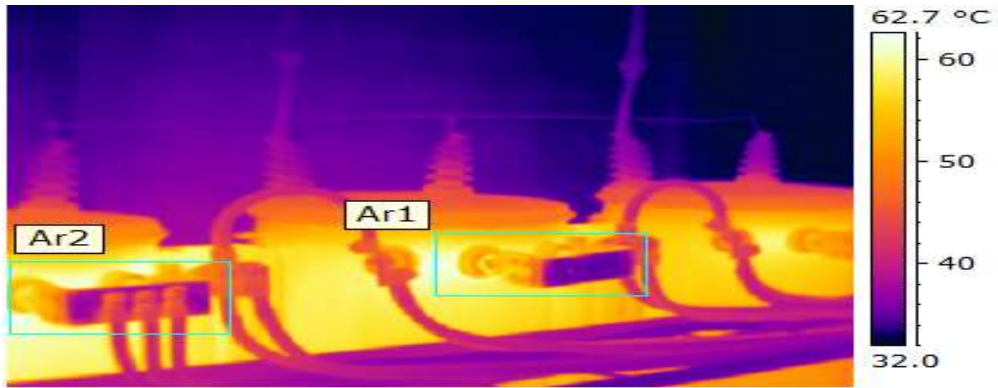
En la figura 5.31 se aprecia un banco de transformadores de potencia, que alimentan de energía eléctrica a tableros de distribución de línea de procesados de puré de banano y maracuyá.



Ubicación	Subestación Eléctrica # 1 Blend
Equipo	Banco Transformadores Banano y Maracuyá

**Figura: 5. 32 Banco de transformadores de Banano y Maracuyá**  
**Elaborado: Autor**

En la figura 5.33 se puede observar una imagen de termografía del banco de transformadores.



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

**Figura: 5. 33 Termograma**  
**Elaborado: Autor**

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

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

### 5.1.17 Tablero banco condensador (cámara maduración)

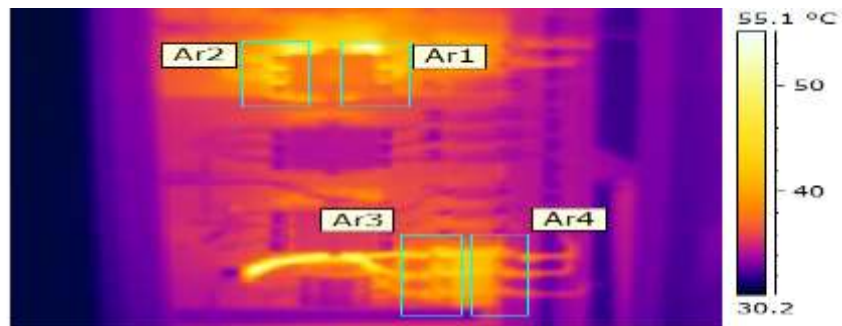


Ubicación	Subestación Eléctrica # 2 Blend
Equipo	Tablero Banco Condensador (cámara maduración)

**Figura: 5. 34 Tablero banco condensador (cámara maduración)**  
**Elaborado: Autor**



A continuación, en la figura 5.35 se puede apreciar la imagen de termografía.



Ar1 Max. Temperatura	55.0 °C
Ar2 Max. Temperatura	49.4 °C
Ar3 Max. Temperatura	44.1 °C
Ar4 Max. Temperatura	42.9 °C

**Figura: 5. 35 Termograma**  
**Elaborado: Autor**

El análisis de operación de subestación eléctrica y el equipo de tablero Banco Condensador, se resumen en:

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

#### 5.1.18 Breacker principal superior (cámara de maduración)



Ubicación	Subestación Eléctrica # 2
Equipo	Breacker Principal Superior (Cámara de maduración)

**Figura: 5. 36 Breacker Principal Superior (Cámara de maduración)**  
**Elaborado: Autor**

En la figura 5.37 se puede apreciar una imagen de termografía.



Ar2 Max. Temperatura	40.7 °C
Sp1 Temperatura	38.8 °C
Sp2 Temperatura	39.8 °C
Sp3 Temperatura	38.3 °C

**Figura: 5. 37 Termograma**  
**Elaborado: Autor**

El análisis de operación de subestación eléctrica y el equipo de Breacker Principal Superior (Cámara de maduración) se resumen en:

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

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

En la industria, en general, la mayoría de las fallas en motores de baja tensión está relacionada con los rodamientos del motor, siendo el monitoreo de condiciones la principal herramienta para detectar problemas en etapa temprana. De esta forma se pueden tomar medidas correctivas, evitando así que el rodamiento llegue a tener problemas y genere una falla catastrófica en el motor y sus componentes.

La vida útil de un motor eléctrico de baja tensión depende de cómo fue hecha la instalación del equipo, si fue correctamente alineado, si fue desalineado en su base, de las condiciones en las que opera, su aplicación y las mantenciones realizadas de acuerdo a manual de fabricante.

Las fallas de motores, en un 60% corresponden a una falla del rodamiento. Falla que, en algunas ocasiones, no es percibida hasta que el motor deja de operar. Y al llegar a ese punto significa que el rodamiento generó roces mecánicos, destruyó componentes como el eje o la tapa del motor, y habrá que realizar trabajos reconstructivos mayores para dejar el motor nuevamente en condición de operar.

La termografía permite ‘visualizar’ al interior de los motores eléctricos, para diagnosticar y prevenir fallas en su operación, ahorrar energía y reducir los tiempos de parada.

El sobrecalentamiento, detectado por termografía, refleja un problema con el diseño o la instalación de la unidad.

Las imágenes térmicas de los motores eléctricos muestran sus condiciones de funcionamiento a través de la temperatura de superficie. Este método de seguimiento resulta esencial para lograr minimizar el número de

averías inesperadas en el motor de los sistemas principales de los procesos de procesado de puré de banano.

Los componentes a capturar en una termografía de un motor son los siguientes: el cuerpo del motor, el acoplamiento del eje, el rodamiento del motor y eje y el cuadro de conexiones.

Los análisis termográficos individuales en tableros eléctricos, motores y demás equipos, de procesados de puré en la planta Bojan S.A permitirá tomar acciones relacionadas al mantenimiento preventivo y correctivo.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Retirar las cubiertas y protecciones de los dispositivos mecánicos para permitir realizar un análisis termográfico de sus elementos internos (por ejemplo, ejes y cojinetes).

Considerar la instalación de pequeñas puertas con bisagras o utilice mallas metálicas en vez de cubiertas opacas.

En cuanto al procedimiento, hay que tener en cuenta que los problemas mecánicos se suelen encontrar comparando las temperaturas de superficie de elementos similares que funcionen en circunstancias parecidas.

Diseñar una rutina de inspección, para disponer de imágenes de referencia para comparar en posteriores inspecciones.

Realizar el procedimiento termográfico cuando los motores están trabajando en sus condiciones normales de trabajo. La temperatura de funcionamiento normal de un motor la encontraremos en su placa de características.

En un programa de mantenimiento en motores eléctricos para evitar los gastos de costosas averías, incluir diagnósticos de fallas mediante técnicas termográficas para la supervisión del estado de los motores eléctricos.

Aplicar en lo posible el mantenimiento preventivo para optimizar el tiempo del mantenimiento, maximización de la reserva de uso de piezas y equipos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldana, D. (2007). *Aplicación de la termografía infrarroja como método de inspección no destructivo para el mantenimiento predictivo del proceso de extrusión de tubería en PVC*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/59301/1/TESIS-%20MAESTR%C3%8DA%20EN%20INGENIERIA%20MEC%C3%81NICA%20-DIDIER%20ALDANA%20RODR%C3%8DGUEZ%20-79953235.pdf>
- Baker. (2009). *Pruebas y diagnóstico de motores eléctricos en servicio*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1254>
- Castelli, M., & Andrade, M. (2007). *Metodología de Monitoreo, Detección y Diagnóstico de Fallos en Motores Asíncronos de Inducción*. Obtenido de Universidad de Montevideo. – IEEE Member & ALFEX S.A. – IEEE Senior Member : [http://www.um.edu.uy/\\_upload/\\_investigacion/web\\_investigacion\\_66\\_metodologiademonitoreo.pdf](http://www.um.edu.uy/_upload/_investigacion/web_investigacion_66_metodologiademonitoreo.pdf)
- Comunidad de ingeniería eléctrica. (2016). *Causas de fallas en los motores eléctricos y sus efectos*. Obtenido de <http://engineering.electrical-equipment.org/energy-efficiency-motors/causes-faults-electric-motors-effects.html>
- Coparoman. (2015). *Sobre corriente eléctrica*. Obtenido de <http://coparoman.blogspot.com/2015/01/sobre-corriente-electrica.html>
- Demerutis, C. (2014). *Alternativas prácticas a la maduración controlada del banano*. Obtenido de <http://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/bananomaduracion?e=8490508/3718906>
- Dinámica de Maquinaria. (2015). *VIBRACIONES EN MOTORES ELECTRICOS*. Obtenido de <http://dinamicademaquinariaesimecu.blogspot.com/2015/04/en-la-rama-de-la-ingenieria-son-las.html>

- Fandiño, H. (2012). *Diagnóstico e identificación de fallas en motores industriales a través del análisis de imágenes termográficas*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/7187/1/7110006.2012.pdf>
- Farías, H. (2018). *Incremento de vida útil de motores*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3235&xit=monitor-eo-de-condiciones-incremento-de-vida-util-de-motores>
- FLIR. (2010). *Termografías para diagnósticos eléctricos y mecánicos*. Obtenido de [https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820483/T820483\\_ES.pdf](https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820483/T820483_ES.pdf)
- Fraile Mora, J. (2008). *Máquinas Eléctricas*. México: McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- Fraile Mora, J. (2008). *Máquinas Eléctricas*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Guzmán Velásquez, P. (2014). *ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA ELABORACIÓN DE PURÉ DE BANANO ORGÁNICO DE LA REGIÓN PIURA*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE PIURA-FACULTAD DE INGENIERÍA-Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas:  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2044/ING\\_546.pdf?sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2044/ING_546.pdf?sequence=1)
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Matodología de la Investigación*. México: McGraaw Hill.
- Hidalgo, J. (2018). *Análisis de las zonas de falla de Motores Eléctricos*. Obtenido de <https://motoresygeneradores.com/ensayos/198-analisis-de-las-zonas-de-falla-de-motores-electricos>
- Institution of Engineering and Technology (IET) . (2015).
- Instituto de energía y termodinámica - UPB. (2015).

- Infrared Training Center. (2016). *Thermography Introduction to level 1. Infrared Training Center*. Sweden: ITC.
- Krause, P. (1986). *Analysis of electric machinery*. New York: Mc-Graw Hill.
- Meléndez, J., Herraiz, S., & Colomer, J. (2005). *Calidad de onda en el servicio eléctrico*. Obtenido de Universitat de Girona.
- Murillo, W. (2016). *Mantenimiento Predictivo para Motores Eléctricos*. Obtenido de <https://docplayer.es/4601174-Mantenimiento-predictivo-para-motores-electricos-ing-william-murillo.html>
- OMEGA. (2014). *Cámara termográfica*.
- Palacios, J. (2015). *ANÁLISIS TERMOGRÁFICO*. Obtenido de <https://www.juanpalacios.es/wp-content/uploads/2015/12/servicio-analisis-termografico.pdf>
- Peralta, G. (2009). *DIAGNOSTICO DE FALLAS EN MOTORES DE INDUCCIÓN*. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3559/Peralta%20Nu%C3%B1ez.pdf?sequence=1>
- Picazo 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-Electricas-Mediante-Tecnicas-de-Termografia-Infrarroja>
- Quintana, P. (2016). *Termografía en motores eléctricos*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2762>
- Sector Electricidad. (2015). *Consejos para encontrar una Cámara Termográfica*. Obtenido de <http://www.sectorelectricidad.com/3874/peru-buscando-una-camara-termografica-consejos/>



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

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

Tropical Food Machinery. (2016). Obtenido de <http://www.tropicalfood.net/es/empresa-tropical-food-machinery.asp>

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, **Loján Feijoo, Fausto Fabián** con C.C: # **0706442134** autor del trabajo de titulación: **Estudio termográfico y análisis preventivo del sistema eléctrico y motores eléctricos en la procesadora Bojan S.A.**, 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, 14 de septiembre del 2018**

---

**Loján Feijoo, Fausto Fabián**

C.C: 0706442134



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Estudio termográfico y análisis preventivo del sistema eléctrico y motores eléctricos en la procesadora Bojan S.A.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Loján Feijoo, Fausto Fabián		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Heras Sánchez, Miguel Armando		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Eléctrico-Mecánica		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Eléctrico-Mecánico		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	14 de septiembre del 2018	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	107
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Maquinas eléctricas, termografía, mediciones eléctricas		
<b>PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:</b>	Análisis infrarrojo; Termografía; Sistema eléctrico; Motor inducción; Mantenimiento predictivo.		
<b>RESUMEN:</b>	<p>El presente trabajo de titulación plantea como objetivo principal el monitoreo de sistemas eléctricos y análisis preventivo de motores eléctricos en la industria a través del diagnóstico termográfico, de tal manera que abarque análisis de tableros eléctricos, conexiones, bornes, transformadores, fusibles y empalmes eléctricos y puntos críticos por temperatura de motores eléctricos, con el fin de detectar un problema potencial. 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 exploratorio por cuanto se obtendrá información vital para formalizar el análisis del estado eléctrico de infraestructura de fuerza y de motores de inducción en la planta industrial Bojan S.A. Como resultado del trabajo se emitirá conclusiones y recomendaciones que se expresará a través del análisis termográfico, esto permite ahorrar tiempo, recursos y seguridad industrial del personal de trabajo de la industria Bojan S.A.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> 0997393350	<b>E-mail:</b> faustolojan@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Orlando Philco Asqui		
	<b>Teléfono:</b> +593-980960875		
	<b>E-mail:</b> luis.philco@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			