



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TEMA:

**Evaluación de Pérdidas Energéticas en Motores Eléctricos trifásicos
asíncronos utilizando análisis termográficos**

AUTOR:

Cóndor Arévalo, Jahzeel Manuel

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO

TUTOR:

M. Sc.Pacheco Bohórquez Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador

4 de marzo de 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
Cóndor Arévalo, Jahzeel Manuel como requerimiento para la obtención del
título de **INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO**.

TUTOR

M. Sc. Pacheco Bohórquez Héctor Ignacio

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, 4 de marzo de 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Cóndor Arévalo, Jahzeel Manuel**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación: “**Evaluación de Pérdidas Energéticas en Motores Eléctricos trifásicos asíncronos utilizando análisis termográficos**”, previo a la obtención del Título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánico**, 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, 4 de marzo de 2020

EL AUTOR

CÓNDOR ARÉVALO, JAHZEEL MANUEL



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Cóndor Arévalo, Jahzeel Manuel**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Evaluación de Pérdidas Energéticas en Motores Eléctricos trifásicos asíncronos utilizando análisis termográficos”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

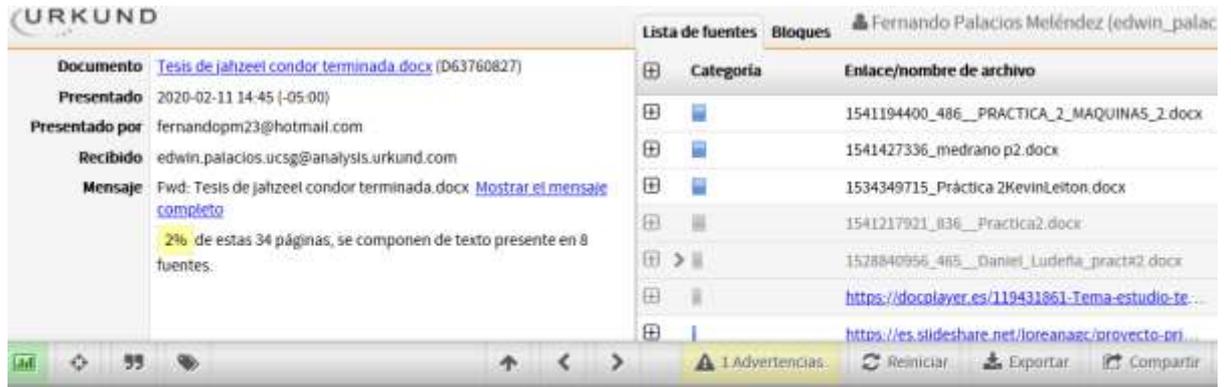
Guayaquil, 4 de marzo de 2020

EL AUTOR

CÓNDOR ARÉVALO, JAHZEEL MANUEL

REPORTE DE URKUND

Informe del Trabajo de Titulación de la Carrera de Ingeniería en ELÉCTRICO-MECÁNICA, con 2% de coincidencias perteneciente al estudiante, JAHZEEL MANUEL CÓNDOR ÁREVALO.



The screenshot shows the URKUND interface. On the left, a document titled 'Tesis de jahzeel condor terminada.docx (D63760827)' is displayed with details: 'Presentado' on 2020-02-11 14:45 (-05:00), 'Presentado por' fernandopm23@hotmail.com, 'Recibido' by edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com, and 'Mensaje' 'Fwd: Tesis de jahzeel condor terminada.docx'. A summary indicates '2% de estas 34 páginas, se componen de texto presente en 8 fuentes.' On the right, a 'Lista de fuentes' table lists various sources.

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	1541194400_486_PRACTICA_2_MQUINAS_2.docx
	1541427336_medrano p2.docx
	1534349715_Práctica 2KevinLeiton.docx
	1541217921_836_Practica2.docx
	1528840956_485_Daniel_Ludeña_practa2.docx
	https://docplayer.es/119431861-Tema-estudio-te...
	https://es.slideshare.net/joreanaazc/proyecto-pri...

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERIA ELÉCTRICA-MECÁNICA

TEMA: Evaluación de Pérdidas Energéticas en Motores Eléctricos trifásicos asíncronos utilizando análisis termográficos para prevención de fallas y mejorar la eficiencia de uso

AUTOR: Cóndor Arevalo, Jahzeel Manuel

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de INGENIERO ELÉCTRICO-

MECÁNICO

TUTOR: M. Sc. Pacheco Bohórquez Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador

1 de Marzo del 2020

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE

Atte.

M. Sc. Héctor Ignacio Pacheco Bohórquez

TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mis padres que con esfuerzo me han apoyado toda mi vida y me han podido pagar toda la educación, sin olvidar a mis hermanos que son mis motivos a seguir adelante y prepararme cada día más como persona y como profesional porque quiero ser para ellos un ejemplo a seguir o que sean mejores que yo, también le dedico esto a los profesores que gracias al conocimiento que me han dado yo he podido ejercer todos mis conocimientos es este trabajo de titulación.

EL AUTOR

CÓNDOR ARÉVALO, JAHZEEL MANUEL

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a mis padres, a mis hermanos, a mi abuelo, a mi tutor por el apoyo que me han dado para poder culminar el trabajo de titulación, cada uno de ellos aportaron por sus medios para yo poder ser ingeniero, también le agradezco a mis profesores, compañeros que lo largo de la vida universitaria me transfirieron conocimientos y una gran amistad.

Le agradezco a Dios por llenarme de bendiciones y mucha sabiduría, teniendo Fe todo es posible.

EL AUTOR

CÓNDOR ARÉVALO, JAHZEEL MANUEL



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO

f. _____

M. Sc. PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO
COORDINADOR DE TESIS

f. _____

M. Sc. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO
OPONENTE

Índice General

Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Definición del Problema.	4
1.4. Justificación del Problema.....	4
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.....	4
1.5.1. Objetivo General.	4
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Hipótesis.....	5
1.7. Metodología de Investigación.....	5
Capítulo 2: Fundamentación Teórica.....	7
2.1. Definición de Motor.....	7
2.2. Ley de Faraday.	7
2.2. Ley de Lenz.....	8
2.3. Nociones básicas de un motor eléctrico.....	9
2.4. Motor Asíncrono.....	10
2.4.1. Principios funcionamiento.....	12
2.4.2. Tipos de pérdidas y calentamiento.....	13
2.5. Rendimiento.....	19
2.5.1. Esquema de flujo de potencia.....	19
2.5.2. Potencia y par de motor asíncrono.....	20
2.5.3. Corriente eléctrica consumida de un motor trifásico	22
2.6. Fallas y averías de un motor eléctrico trifásico	23
2.6.1. Fallas eléctricas.....	25
2.6.2. Fallas mecánicas.....	27
2.6.3. Sobrecalentamiento.....	28
2.6.4. Suciedad.....	29
2.6.5. Humedad	30
2.6.6. Excentricidad.....	31

2.7.	Termografía.....	32
2.7.1.	Luz infrarroja	33
Capítulo 3: Evaluación de motores con resultados reales		35
3.1.	Breve descripción	35
3.2.	Grados IP.....	35
3.3.	Circuito equivalente.....	37
3.4.	Causas de las zonas de fallas de motores eléctricos.....	38
3.4.1.	Causas de Fallas en los motores eléctricos por la temperatura.....	39
3.4.2.	Causas de fallas en el estator	39
3.4.3.	Causas de fallas en el rotor	40
3.5.	Normativas para realizar una termografía.....	43
3.6.	Pruebas en los motores eléctricos	44
Capítulo 4: Pruebas y resultados.....		46
4.1.	Diagnóstico de un motor ABB de inducción	46
4.1.1.	Motor ABB de inducción.....	46
4.1.2.	Prueba de vacío del motor ABB	47
4.1.3.	Prueba de rotor bloqueado del motor ABB	48
4.1.4.	Prueba de resistencia del estator del motor ABB.....	50
4.1.5.	Análisis del motor ABB	52
4.2.	Diagnóstico de un motor WEG	52
4.2.1.	Motor WEG.....	52
4.2.2.	Prueba de vacío del motor WEG	53
4.2.3.	Prueba de rotor bloqueado del motor WEG	54
4.2.4.	Prueba de resistencia del estator	56
4.2.5.	Análisis del motor WEG	57
4.3.	Diagnóstico de un motor SEW-EURODRIVE.....	58
4.3.1.	Motor SEW-EURODRIVE	58
4.3.2.	Prueba de vacío del motor SEW-EURODRIVE.....	59
4.3.3.	Prueba de rotor bloqueado del motor SEW-EURODRIVE.....	60

4.3.4.	Prueba de resistencia del estator del motor SEW-EURODRIVE.....	61
4.3.5.	Análisis del motor SEW-EURODRIVE.....	62
4.4.	Diagnóstico de un motor SIEMENS	63
4.4.1.	Motor SIEMENS.....	63
4.4.2.	Prueba de vacío del motor SIEMENS	64
4.4.3.	Prueba de rotor bloqueado del motor SIEMENS.....	65
4.4.4.	Prueba de resistencia del estator del motor SIEMENS	66
4.4.5.	Análisis del motor SIEMENS.....	68
4.5.	Diagnóstico de un motor ANTONINI.....	68
4.5.1.	Motor ANTONINI.....	68
4.5.2.	Prueba de vacío del motor ANTONINI	69
4.5.3.	Prueba de rotor bloqueado del motor ANTONINI.....	70
4.5.4.	Prueba de resistencia del estator del motor ANTONINI.....	72
4.5.5.	Análisis del motor ANTONINI	73
	Conclusiones.....	75
	Recomendaciones.	77
	Bibliografía	78
	Anexo 1: Prueba al motor	80
	Anexo 2: Prueba al motor con DC.....	80
	Anexo 3: Analizando al motor	80

Índice de Figuras

Capítulo 2

<i>Figura 2. 1: Motor de inducción trifásico de última generación (Motores ABB de Origen).....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2. 2: Características principales de un motor eléctrico.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2. 3: Partes de un motor eléctrico.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2. 4: Sistema de funcionamiento de una maquina eléctrica.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2. 5: Esquema de potencia de salida.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2. 6: Sobrecorriente en un motor.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2. 7: Armónico de un motor.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 2. 8: Bobina de motor quemada.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2. 9: Motor con suciedad.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2. 10: Motor con humedad.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2. 11: Tipos de excentricidad.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2. 12: Excentricidad.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 2. 13: Técnica de termografía.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 2. 14: Espectro electromagnético.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3. 1: Grados de IP.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3. 2: Esquema de IP.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3. 3: Circuito equivalente de motor.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3. 4: Zonas de fallas en un motor.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3. 5: Zonas de fallas en un motor.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3. 6: Diagrama de prueba en vacío.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3. 7: Diagrama de prueba en rotor bloqueado.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 4. 1: Motor de inducción ABB.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 4. 2: Termograma.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 4. 3: Código matlab de torque vs velocidad en arranque de la prueba 1.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 4. 4: Gráfica de matlab de torque vs velocidad en arranque de la prueba 1.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 4. 5: Motor de de inducción WEG.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4. 6: Termograma.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 4. 7: Código de matlab de torque vs velocidad en arranque de la prueba 2.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 4. 8: Gráfica de matlab de torque vs velocidad en arranque de la prueba 2.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 4. 9: Motor de inducción SEW-EURODRIVE.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 4. 10: Termograma.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 4. 10: Código de matlab de torque vs velocidad en la prueba 3.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 4. 11: Gráfica de matlab de torque vs velocidad en arranque de la prueba 3.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 4. 12: Motor de inducción SIEMENS.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 4. 13: Termograma.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 4. 14: Código de matlab de torque vs velocidad en la prueba 4.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 4. 15: Gráfica de matlab de torque vs velocidad en la prueba 4.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 4. 16: Motor de inducción ANTONINI.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 4. 17: Termograma.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 4. 18: Código de matlab de torque vs velocidad en arranque de prueba 5.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 4. 19: Gráfica de matlab de torque vs velocidad en arranque de prueba 5.....</i>	<i>73</i>

Índice de Tablas

Capítulo 2

<i>Tabla 2. 1: Datos generales de motores trifásicos asíncronos con tensión de 380 voltios, velocidad nominal de 1.500 revoluciones por minuto, con rotor en cortocircuito.....</i>	23
<i>Tabla 2. 2: Fallas de los motores de inducción dado por porcentaje.....</i>	28
<i>Tabla 3. 1: Perturbaciones de temperatura.....</i>	41
<i>Tabla 3. 2: Temperatura de aislamiento.....</i>	42
<i>Tabla 3. 3: Normativa de niveles de temperatura.....</i>	43
<i>Tabla 3. 4: Pruebas de motores de inducción ABB.....</i>	46
<i>Tabla 4. 1: Datos de prueba en vacío.....</i>	48
<i>Tabla 4. 2: Datos de Pruebas de rotor bloqueado.....</i>	49
<i>Tabla 4. 3: Datos de prueba de vacío.....</i>	50
<i>Tabla 4. 4: Datos de prueba de vacío.....</i>	53
<i>Tabla 4. 5: Datos de prueba de rotor bloqueado.....</i>	54
<i>Tabla 4. 6: Datos de prueba de resistencia del estator.....</i>	56
<i>Tabla 4. 7: Datos de prueba de vacío.....</i>	59
<i>Tabla 4. 8: Datos de prueba de rotor bloqueado.....</i>	60
<i>Tabla 4. 9: Datos de prueba de resistencia del estator.....</i>	61
<i>Tabla 4. 10: Datos de prueba en vacío.....</i>	64
<i>Tabla 4. 11: Datos de prueba de rotor bloqueado.....</i>	65
<i>Tabla 4. 12: Datos de prueba de resistencia del estator.....</i>	66
<i>Tabla 4. 13: Datos de prueba en vacío.....</i>	69
<i>Tabla 4. 14: Datos de prueba de rotor bloqueado.....</i>	70
<i>Tabla 4. 15: Datos de prueba de resistencia del estator.....</i>	72

Resumen

En el presente trabajo se presentara los estados de los motores eléctricos tipo asíncrono que mediante un estudio termográfico y pruebas eléctricas analizaremos las posibles fallas que se pueda encontrar en ellos, los motores eléctrico son dados de baja antes lo establecido a lo diseñado por el fabricante y este estudio presentará los parámetros que deben ser para llegar a un aproximado de vida útil mediante las pruebas que se van realizar, la primera prueba es en vacío donde el motor trabaja sin carga con un voltaje nominal para hallar las corrientes y las potencias en las fases, la segunda prueba es en rotor bloqueado donde el motor trabaja con corriente nominal y el rotor se lo bloquea hasta hallar los voltajes y las potencias por línea, la tercera prueba es la resistencia del estator donde se inyecta corriente DC en el estator para medir la resistencia, también se conocerá los fundamentos eléctricos, el funcionamiento de un motor eléctrico con sus partes que lo conforman, con sus respectivas pérdidas eléctricas, mecánicas y térmicas que se presentan cuando están operando.

El análisis termográfico se llevará a cabo para prevenir las fallas que se encuentren en el equipo, este tipo de análisis no es dañino para el motor, porque funciona mediante radiación infrarroja, el cual se podrá observar los puntos más calientes para después diagnosticar qué medidas se toma para alargar la vida del motor.

Palabras claves: TERMOGRAFÍA, PÉRDIDAS, MOTOR ELÉCTRICO, EFICIENCIA, FALLAS, PRUEBAS

Abstract

This paper will present the states of asynchronous electric motors that through a thermographic study and electrical tests we will analyze the possible failures that can be found in them, electric motors are written off before what is established by the manufacturer and This study will present the parameters that must be to reach an approximate useful life through the tests that are going to be performed, the first test is in vacuum where the motor works without load with a nominal voltage to find the currents and powers in the phases , the second test is in a blocked rotor where the motor works with nominal current and the rotor blocks it until the voltages and powers per line are found, the third test is the stator resistance where DC current is injected into the stator to measure the resistance, it will also be known the electrical fundamentals, the operation of an electric motor with its parts that co They report, with their respective electrical, mechanical and thermal losses that occur when they are operating.

The thermographic analysis would be carried out to avoid faults found in the equipment, this type of analysis is not harmful to the engine, because it works by infrared radiation, which will be able to observe the hottest points and then diagnose what measures are taken to extend engine life

Keywords: THERMOGRAPHY, TESTS, EFFICIENCY, FAILURES, LOSSES, ELECTRIC MOTOR

Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación

1.1. Introducción.

El estudio de un motor eléctrico se ha convertido una necesidad en todas las industrias por la gran cantidad de averías que se ocasionan a lo largo del duro trabajo que realizan estos motores de los cuales trabajan los trescientos sesenta días al año, son olvidados o desatendidos por el departamento de mantenimiento por no implementar un cronograma de mantenimiento y esto produce fallas en el motor asociadas principalmente en los rodamiento que se producen defectos, también fallas del estator, desequilibrio mecánico y otros.

A lo motores eléctricos se le realizan pruebas eléctricas para descartar daños por el sistema eléctrico, el primero en realizarse es la prueba en vacío que determina la corriente y la potencia del motor, la segunda prueba es en rotor bloqueado que determina el voltaje y la potencia que trabaja el motor, y la última prueba es resistencia del estator que se inyecta corriente DC para sacar los resultados de las resistencias y determinar en qué estado están para descartar alguna falla mediante estas pruebas.

Debido a los diagnósticos y a la detección de fallas que se produce en un motor por procesos industriales, el cual nos presenta todos los posibles factores de fallas y un ejemplo importante es la desalineación, que causa una caída de eficiencia del motor y el equipo desalineado tiende más a fallar por el motivo de un incremento de carga en los cojinetes y acoplamiento, que son comúnmente fallas mecánicas en estos tipos de motores de inducción que se utiliza en una planta de producción.

Hay algunas técnicas para hallar las fallas en los motores eléctricos, y un ejemplo es un análisis de vibraciones, pero aun así no permite el hallazgo de todas las fallas que se encuentran en un motor eléctrico y produce daño en el momento de analizar, también se para el equipo para poder hacer el

estudio. Por esta razón, un análisis de termografía infrarroja es el idóneo para un mantenimiento predictivo sin pérdidas en el motor, sin pérdidas de costo de producción y sin apagar el equipo en funcionamiento, además una gran cantidad de fallas son provocadas por el incremento de temperatura en áreas específicas que se observan con la cámara termográfica y servir de gran utilidad esta herramienta.

1.2. Antecedentes.

Analizar las diferentes pérdidas que sufre el motor eléctrico asíncrono es bastante importante las hacen menos eficiente que en las mayorías de industrias las suelen dar de bajas a un corto plazo, pero no solo las pérdidas de energía que sufren estos motores son las causantes, también son por falta de mantenimiento que no se realizan en el porqué tiene pérdidas eléctricas, pérdidas mecánicas y pérdidas térmicas que tiempo establecido por ahorrarse dinero en mano de obra cuando en realidad pierden más cuando tienen paradas de producción por fallas, estas con ocasionadas por un deslizamiento, desgaste de rodamientos, desequilibrio mecánicos, fallas de rotor, y entre otras que son fallas mecánicas que suelen tener cuando trabajan las 24 horas al día de los 7 días de la semana, sin olvidar las fallas eléctricas que es una amplia gama como son por, sobrecorriente, el deterioro de aislamiento y armónicos. Sin embargo, la falta de mantenimiento preventivo es escasa y afecta más cuando tienen un ambiente corrosivo que produce suciedad en los motores que se le entran partículas por el interior que dañan a lo largo del tiempo.

Por esta razón el estudio termográfico es importante porque no produce daños como lo hace un análisis por vibración, mediante la termografía uno puede ver los puntos calientes y así realizar un rápido mantenimiento, lo cual esta técnica lo hace más eficiente, así previniendo cualquier daño al motor.

1.3. Definición del Problema.

La falta de mantenimiento y pruebas eléctricas durante el periodo de trabajo en los motores eléctrico tipo asíncrono es la principal causa de los paros de trabajo no programado en las industrias de Guayaquil.

1.4. Justificación del Problema.

Las condiciones para una mayor eficiencia se obtendrán mediante un análisis de pérdidas en un motor eléctrico trifásico tipo asíncrono que es el tipo de maquinaria que se estudiara para favorecer a las industrias que tienen muchos daños internos y externos, como fallas en su aislamiento, fallas en sus rodamientos, fallas por sobrecalentamiento y entre otros, que produce paros de producción por factores de temperatura, por corrosión, y humedad. Por lo tanto, el estudio que se realizará en Guayaquil será para obtener una mayor eficiencia en estos tipos de motores que tendrán posibles averías.

En las condiciones actuales las industrias dan de bajas a los motores antes de su tiempo de vida útil dada por el fabricante porque los motores son sujetos a esfuerzo mecánico, térmico y eléctrico, y no realizan el mantenimiento previo al tiempo previsto por el manual.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Evaluar el estado de los motores eléctricos trifásicos asíncronos mediante la utilización de la termografía sin tanto costo inicial por equipos de medición.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Analizar los rangos de operaciones tales como, voltaje, torque, temperatura y corriente que se nos presenta en diferentes potencias de motores eléctricos.
- Estudiar todas las pérdidas tales como, eléctricas, en el entrehierro, mecánicas, y dispersas, que se puede producir en un motor eléctrico trifásico asíncrono.

- Diagnosticar mediante la termografía el estado de los motores eléctricos para obtener una mayor eficiencia.
- Indicar los parámetros de funcionamiento de un motor mediante pruebas de vacío, rotor bloqueado y resistencia del estator.

1.6. Hipótesis.

Las variables térmicas, eléctricas, y mecánicas son perjudiciales cuando no son controladas en los motores eléctricos asíncrono, por lo cual el uso de la termografía es más eficiente que otros métodos para hallar las fallas que se producen en ellos.

1.7. Metodología de Investigación.

En el presente trabajo de titulación se presentan dos métodos que corresponde a los siguientes:

Método descriptivo: describe la investigación que será evaluada en motores con todas las características de las pérdidas que posteriormente se someterá a analizar para una mayor eficiencia, además se estudiará las fallas existentes cuando se produce daños en el motor, sea por sobrecalentamiento, sobrecorriente y mecánicas. Por esta razón, la técnica de termografía infrarroja juega un papel importante porque se estudiará para un motor eléctrico.

Método analítico: Por medio del uso de la Termografía infrarroja y pruebas eléctricas se encontrarán el medio para razonar las causas y efectos de fallas en motores eléctricos orientándolo a la investigación.

Método empírico: por medio de las pruebas eléctricas que se realizan en vacío, rotor bloqueado y resistencia del estator, se encontrarán las averías que tendrá el motor. En vacío el motor trabaja con voltaje ideal hasta alcanzar la corriente esperada, en rotor bloqueado el motor trabaja a corriente ideal hasta alcanzar el voltaje esperado, y en resistencia del estator el motor es

alimentado por una fuente de corriente directa para hallar las resistencias del motor.

Por medio de la termografía se hallara los puentes caliente que se encontrarán en todo el motor por parámetros .

Capítulo 2: Fundamentación Teórica

2.1. Definición de Motor

Un motor eléctrico transforma la energía eléctrica en mecánica esta operación se desarrolla introduciendo una corriente en la maquina por medio de una fuente externa, que pasan por las bobinas del estator que inducen corriente al bobinado del rotor dentro del motor generando un campo magnético produciendo un movimiento de la máquina, entonces aparecerá la fuerza electromotriz (f.e.m) inducida que se opone a la corriente y que por ello se denomina contra electromotriz. Por ende, el motor necesita una energía eléctrica de entrada para producir la energía mecánica correspondiente. (Mora, 2003)

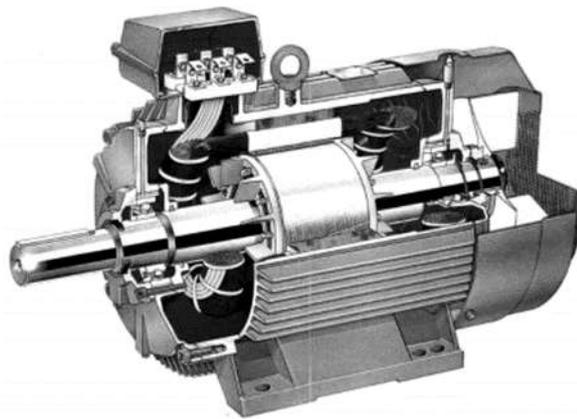


Figura 2. 1: Motor de inducción trifásico de última generación (Motores ABB de Origen).
Fuente: (ABB, 2014)

2.2. Ley de Faraday.

La ley de Faraday se basa en muchos experimentos realizados y se sacó una conclusión de los resultados de aquellos, donde se llega a un punto importante y estableció que el voltaje (FEM, fuerza electromotriz inducida) inducido en una bobina es directamente proporcional a la rapidez de cambio del flujo magnético por unidad de tiempo en una superficie cualquiera con el circuito como borde:

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad \text{Ec. 1}$$

Los datos de la ecuación 1 se explica a continuación en donde \mathcal{E} es la FEM inducida, N es el número de vueltas de la bobina, y $\Delta\phi$, es la variación del flujo magnético en un tiempo, Δt es cuando el flujo magnético se da en webers y el tiempo en segundos, la fuerza electromotriz inducida resulta en voltio y Un voltio da igual a un weber-vuelta por segundo, también hay que darse cuenta que el signo negativo corresponde a que el voltaje inducido posee un sentido tal que constituye una corriente que se opone al cambio de flujo magnético. El cambio del número de líneas magnéticas que circula por un circuito induce una corriente en él, si el circuito está cerrado, pero el cambio constantemente induce una fuerza electromotriz, esté o no el circuito cerrado.

Definimos flujo magnético de manera que el producto entre el campo magnético y el área que esta encierra:

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha \quad \text{Ec. 2}$$

2.2. Ley de Lenz.

La ley de Lenz consta que una corriente siempre es inducida y su campo magnético se opone al cambio de flujo, como claramente se ve en el momento de realizar la experiencia, también esta ley podría haberse predicho a partir de principio de la conservación de la energía, cuando se mueve un imán hacia una bobina, induciéndose así una corriente en el enrollamiento, la corriente inducida calienta el alambre para proporcionar la energía necesaria para ello, se tiene que hacer trabajo venciendo una fuerza que se opone. Si la fuerza no se opusiera al movimiento, se estaría creando energía; por lo tanto, el campo magnético de la corriente inducida tiene que oponerse al cambio. (LÓPEZ, 2007)

2.3. Nociones básicas de un motor eléctrico.

Una máquina eléctrica se conforma por dos partes y una de ellas es el estator que contiene una forma cilíndrica, en la cavidad del estator se ubica el rotor, que nos da entender que es la parte giratoria de la máquina y se coloca en un eje que descansa en dos rodamientos o cojinetes. El lugar de aire que separa el estator del rotor debe ser obligatorio para que pueda girar la máquina, se denomina entrehierro, siendo cierto un campo magnético que constituye el acoplamiento entre el sistema eléctrico y mecánico.

Los devanados que están en el estator y rotor son fabricados por cobre que es el tipo de conductor que se utiliza para el paso de la corriente que es cedida por un sistema eléctrico, el devanado que está en el estator crea un flujo en el entrehierro por una fuente de alimentación que lo excita, creando un campo magnético en el inductor para que el otro devanado que está en el rotor absorba el flujo que ha producido del inductor al inducido para promover las corrientes al circuito exterior y se pueda cerrar.

El estator en su exterior está constituido por un recubrimiento que es la carcasa, el interior está construido como un cilindro hueco al que se unen los pies y en el motor una unidad de fijación.

Para evitar las pérdidas en el hierro del estator y rotor que son construidos con material ferromagnético se le aplica chapas magnéticas de acero al silicio ranuradas en el interior de los devanados. (Mora, 2003)

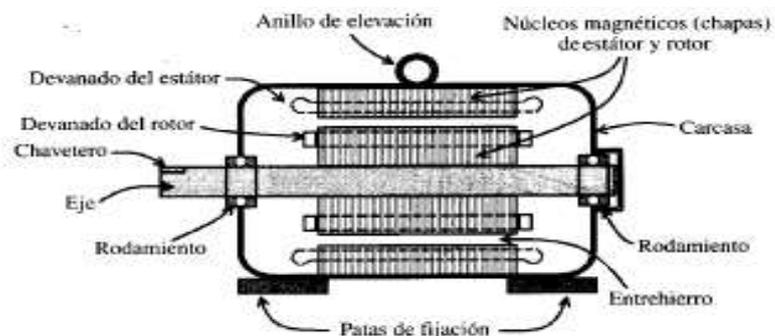


Figura 2. 2: Características principales de un motor eléctrico
Fuente: (Mora, 2003)

2.4. Motor Asíncrono

Un motor eléctrico asíncrono se lo identifica porque la corriente no va a los arrollamientos, sino a los devanados que se debe a la fuerza electromotriz inducida por el campo magnético que hay entre el estator y el rotor que es un flujo que los motores asíncronos tienen por la velocidad de giro del rotor, el cual no gira a la velocidad del sincronismo aplicada por la frecuencia de la red que lo suministra. Por otra parte, La constitución de este tipo de motor es simple y robusta que es un factor importante en su fabricación que mayormente en el rotor su forma es de jaula de ardilla, el cual trabaja en circunstancia más adversas proporcionando un servicio de excelencia con pequeños mantenimientos. (Mora, 2003)

Partes fundamentales de un motor asíncrono trifásico.

1. Carcasa: contiene todas las partes del motor eléctrico: estator, rotor, eje y entre otros.
2. Estator: es donde está el devanado inductor conformado por chapas de acero especial que esta ranurado
3. Rotor: es una pieza móvil de transferencia mecánica que convierte la energía eléctrica a mecánica y es construida por láminas de acero al silicio que forman un solo compacto, sabiendo que hay dos tipos de rotor, el más utilizado es el de jaula de ardilla.
4. Eje: es la pieza que acopla a la carga que va ser sometida y está situada en el rotor con ventilador que es aguantado por rodamientos y lo soportan las tapas.
5. Chavetero: es una pieza que ayuda a sujetar el acople entre el motor y la carga que impulsara, se encuentra en el extremo del eje y sujeta la chavetera.
6. Ventilador. Es un componente que se encuentra acoplado al eje para ventilar el motor y que no se sobrecaliente.
7. Cubreventilador: Se encuentra en el exterior de motor protegiendo el ventilador para que no le entre ninguna partícula de lo dañe.
8. Tapas: existen dos que están situadas en el anterior y otra en el posterior, tapando el estator y alojan los rodamientos del eje.

9. Rodamientos: se utilizan dos y los puedes encontrar en cada una de las tapas; son los que soportan y a su vez permiten el giro el eje.
10. Base: se lo utiliza para determinar el motor propiamente dicho a una base; forma parte de la carcasa.
11. Cáncamo de izaje: Se proporciona a partir de una determinada potencia. Está junto a la carcasa, se utiliza cuando es preciso movilizarlo.
12. Cajas de conexiones: Se encuentra en la parte externa de la carcasa y es la parte donde se conectan los cables de alimentación a los extremos de los bobinados que existen en el estator.
13. Chapa característica: es una carcasa de presentación el cual se encuentra en el exterior del motor con los datos, tales como potencia eléctrica nominal, corriente eléctrica nominal, grado de protección mecánica, y otros. Cierta información es necesaria por norma. (Farina, 2018)

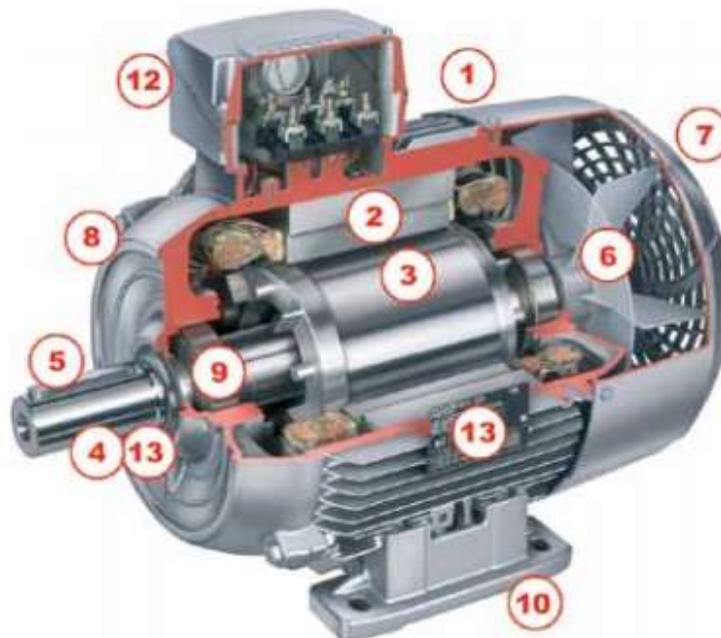


Figura 2. 3: Partes de un motor eléctrico
Fuente: (Farina, 2018)

2.4.1. Principios funcionamiento

La Máquina Asíncrona trifásica, se basa a la ley de Faraday, compuesta por un devanado trifásico alojado en el estator y desarrollado por tres bobinas desfasados 120° en el espacio y $2p$ polos. También, un devanado alojado en el rotor, quedando sus conductores en cortocircuito sabiendo que el cortocircuito puede hacerse, bien claramente (rotor de jaula) o bien pasando por unas resistencias (rotor bobinado).

Al hacer circular la corriente de un sentido a otro en un sistema de corrientes trifásicas equilibradas, el cual, la frecuencia es f , por el devanado del estator, se produce una onda de fuerza electromotriz que se distribuye senoidalmente largamente del entrehierro y que gira a la velocidad de:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \text{ Ec. 3}$$

También se lo conoce como velocidad de sincronismo. Los conductores alojados en rotor se encuentran en presencia de un campo magnético variable y, por ende, se induce una determinada tensión.

Cuando el devanado del rotor esta cortocircuitado, se originan unas corrientes inducidas en el rotor, el cual, producirán un campo magnético de inducido que girará a la velocidad de sincronismo y que se agregará al existente para causar un campo magnético resultante que girará la velocidad de sincronismo. (Mora, 2003)

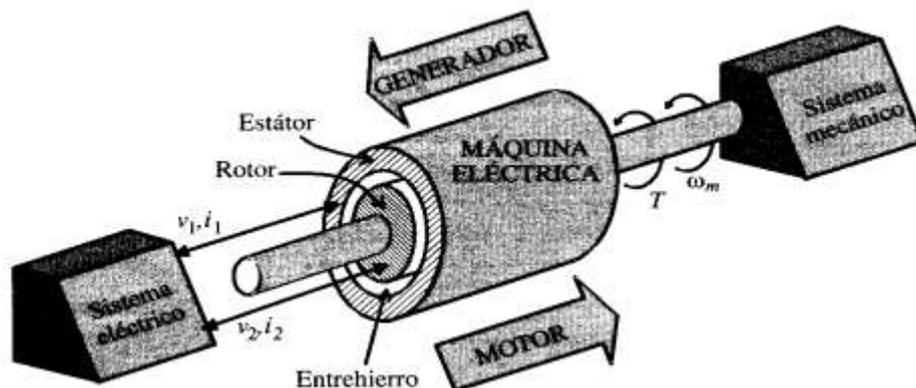


Figura 2. 4: Sistema de funcionamiento de una maquina eléctrica

Fuente: (Mora, 2003)

En la figura 2. 4., Se encuentra una máquina eléctrica la cual puede funcionar de dos maneras, como un motor eléctrico y como un generador.

Un generador se alimenta de un sistema mecánico para realizar el giratorio de la máquina eléctrica así produciendo un campo magnético entre las bobinas del estator y el rotor, por medio de la fuerza electromotriz producida, se desarrolla una fuerza mecánica que se transforma en energía eléctrica. Un motor se alimenta de un sistema eléctrico para realizar el giratorio de la máquina eléctrica, así produciendo un campo magnético entre las bobinas del estator y el rotor, también aparece una fuerza contra electromotriz cuando la corriente inducida por las bobinas se opone, por ende, cuando una máquina eléctrica pasa de un sistema eléctrico a mecánico, se denomina motor.

2.4.2. Tipos de pérdidas y calentamiento

La energía no se crea ni se destruye, se transforma. En los motores eléctricos una fracción de energía que se transforma en electromecánica, se convierte en calor y prácticamente no se utiliza, constituyendo un conjunto llamadas pérdidas de la máquina. Observando mediante un punto de vista físico, un motor eléctrico o máquina eléctrica posee un circuito eléctrico, compuesto por los devanados del inductor e inducido, donde se originan unas pérdidas por efecto joule, llamadas rústicamente pérdidas en el cobre, por ser el material que normalmente suelen utilizar para este tipo de fabricación que son los bobinados, (aunque también puede ser el aluminio): además, los arrollamientos se ubican en una estructura magnética, realizada con chapas de acero al silicio que ofrecen, debido a los campos magnéticos variables, unas pérdidas denominadas pérdidas en el hierro; como quiera que también la máquina o motor eléctrico da un acceso mecánico, aparecen en el unas pérdidas mecánicas debidas a los rozamientos o fricciones de las otras partes del sistema.(Mora, 2003)

Prestando la debida atención al análisis de estas pérdidas que se encuentra un motor porque influye sobre dos magnitudes muy importantes en la explotación: el rendimiento para obtener una mayor eficiencia y el calentamiento que no es solo afectado por temperaturas del motor sino por el área de trabajo que se encuentra.

A continuación, observaremos los tipos de pérdidas de un motor eléctrico:

a) Pérdidas en el cobre o eléctricas

La pérdida en el cobre (PCE) se produce en el devanado del estator que es la parte inducida y del rotor que es la parte del inductor en el motor por un calentamiento de ambos, la siguiente ecuación se refleja a la pérdida en el cobre.

$$P_{PCE} = 3I_A^2 R_A \quad \text{Ec. 4}$$

Donde la corriente que conduce en las fases del devanado del estator es I_A y la resistencia de las fases es R_A .

Un motor eléctrico de inducción (PCR) tiene pérdidas de cobre en el rotor, el cual está dado por:

$$P_{PCR} = I_F^2 R_F \quad \text{Ec. 5}$$

Donde la corriente que conduce en el devanado del rotor es I_F la resistencia del devanado es R_F , eventualmente cuando uno hace los cálculos para la resistencia del devanado es a una temperatura normal sin pasarse a lo establecido por el fabricante.

b) Pérdidas en el Entrehierro

Las pérdidas en el núcleo son las pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas que se presentan en el material magnético del motor.

$$f^2 P_{fe} = P_H + P_F = (K_H f B_m^2 + K_F f^2 B_m^2 a^2 \sigma) \cdot vol \quad \text{Ec. 6}$$

Donde K_H y K_F son constantes, la frecuencia es f , la inducción máxima es B_m , el espesor de las chapas magnéticas es a , la conductividad de las mismas es σ , el parámetro es x , y el volumen de las chapas es vol , para reducir las pérdidas en el entrehierro y los valores de las pérdidas por histéresis (el ciclo se hace más estrecho) se utiliza núcleo magnético de acero al silicio, por la adición de silicio y a aislar las chapas se reduce las pérdidas por corriente de Foucault.

c) Pérdidas mecánicas

Las pérdidas asociadas con efectos mecánicos son las pérdidas mecánicas en una máquina de corriente alterna. Encontramos dos ejemplos principales de pérdidas mecánicas: una es de fricción y la otra es de rozamiento con el aire. La fricción en los cojinetes de los motores eléctricos causa las pérdidas por fricción por otra parte la fricción entre las partes móviles de la máquina y el aire internamente de la caja del motor causa las pérdidas por rozamiento con el aire. Acorde al cubo de la velocidad de rotación de la máquina varían estas pérdidas.

Frecuentemente, bajo el nombre de pérdidas rotacionales sin carga de un motor eléctrico son agrupadas las pérdidas mecánicas y las pérdidas en el núcleo de un motor eléctrico o máquina eléctrica, la cual cuando está en vacío toda la potencia de entrada se corresponde utilizar para superar estas pérdidas. Consecuentemente, la medida de la potencia de entrada al estator de un motor eléctrico de corriente alterna que actúa como motor en vacío representa el valor aproximado de estas pérdidas. (Chapman, 2012)

Además, puede realizarse teniendo en cuenta la forma en que varían las mismas y así se tienen: pérdidas fijas, pérdidas variables.

Las pérdidas fijas son aquellas que no varían, sin embargo, cambia la potencia absorbida o cedida por el motor eléctrico, también se toma en cuenta la observación de las pérdidas mecánicas. Como se ha comentado en los párrafos anteriores, solo depende de la velocidad y como ya se sabe que la mayor parte de los motores eléctricos tienen velocidades constantes o sensiblemente constante se podrán considerar estas pérdidas como constantes. (Mora, 2003).

$$P_f = P_{Fe} + P_m ; P_v = P_{cu} \quad \mathbf{Ec. 7}$$

Por lo tanto, en la ecuación 7 dice que las pérdidas en el entrehierro y las pérdidas mecánicas forman las pérdidas fijas, así como el efecto joule en el cobre producen las pérdidas variables en los motores eléctricos.

d) Pérdidas dispersas

Llamadas también pérdidas misceláneas no entran en ninguna de las categorías anteriores. No importa la mayor precisión que se adquiera para considerar las pérdidas, muchas de ellas no pertenecen a las categorías anteriores, estas se agrupan en la categoría ya mencionada (pérdidas dispersas).

Además, en gran parte de las máquinas eléctricas, el 1% de la carga total conforman las pérdidas dispersas.

Las pérdidas anteriormente mencionadas se convierten en calor. El cual se transfiere en fracción a la intemperie, por radiación y convección, la estructura de la máquina lo absorbe en parte, incrementando su temperatura, la cual está relacionada con su calor específico.

En el momento que la temperatura adquiere un valor determinado para el cual la cantidad que es producida por el calor (respectivo a las pérdidas) se equipara con la cantidad de calor transferida al ambiente, la temperatura se mantiene constante. Entonces la máquina ha conseguido la **temperatura de régimen**.

La temperatura de régimen es de gran importancia, debido a que por medio de ella se puede establecer si los materiales aislantes con los que está edificado el motor van a trabajar adecuadamente. Por ende, los aislantes, formados en su gran parte por materiales orgánicos, se carbonizan a una temperatura definida, también pierden su cualidad cuando llegan a una temperatura mínima ocasionando daños, lo cuales son más rápidos si están sometidos a altas temperaturas. Es claro que, al perjudicar la función aislante de dichos materiales, el motor no funciona en condiciones favorables y termina deteriorándose al generarse cortocircuitos entre bobinas o defectos a tierra.

Hay una regla aproximada pero muy convincente, la cual es dada por la GENERAL ELECTRIC, la cual ha hecho un análisis extenuado de nueve años relacionado a aislantes, propuso una fórmula empírica destacada como la ley de los 10°C, nos da a entender que para cada incremento de 10°C de temperatura sobre el máximo recomendado, de la vida del aislante se reducía a la mitad, e inversamente, una disminución de 10°C doblaría su vida. (Mora, 2003)

A continuación, se presentará los tipos de aislamiento dependiendo la temperatura que puede soportar los aislantes fijando una temperatura ambiente convencional:

- AISLAMIENTO CLASE A: Este tipo de aislamiento está compuesto por materiales fibrosos a base de celulosa o seda, bañados con líquidos aislantes (la temperatura máxima que en ningún caso debe sobrepasar en este tipo de aislantes es de 10°C).

- AISLAMIENTO CLASE E: Este tipo de aislamiento son conformados de fibras orgánicas sintéticas, por lo tanto este aislamiento no debe alcanzar una temperatura alta y el máximo es de 120°C.
- AISLAMIENTO CLASE B: Este tipo de aislamiento está conformado por materiales basados en poliéster y poliimidos aglutinados con materiales orgánicos o impregnados con estos, por lo tanto este aislamiento no debería alcanzar por ningún motivo los 130°C de temperatura.
- AISLAMIENTO CLASE F: Este tipo de aislamiento está conformado por materiales basados en fibra de mica, amianto y fibra de vidrio aglutinados con materiales sintéticos (siliconas, poliésteres o epóxidos), por lo tanto este aislamiento no debería alcanzar por ningún motivo los 155°C de temperatura.
- AISLAMIENTO CLASE H: Este tipo de aislamiento está conformado por materiales basados en mica, amianto o fibra de vidrio aglutinados con silicona de alta estabilidad térmica, por lo tanto este aislamiento no debería alcanzar por ningún motivo los 180°C de temperatura.
- AISLAMIENTO CLASE 200: Este tipo de aislamiento está conformado por materiales basados en mica, vidrio y cerámica, etc. Por lo tanto este aislamiento no debería alcanzar por ningún motivo los 200°C de temperatura.
- AISLAMIENTO CLASE 220: Este tipo de aislamiento está conformado por materiales basados en mica, vidrio, cerámica, etc. (Poliimidas tipo Kapton), por lo tanto este aislamiento no debería alcanzar por ningún motivo los 220°C de temperatura.
- AISLAMIENTO CLASE 250: Este tipo de aislamiento está conformado por materiales basados en mica, cerámica, etc. (poliimidas tipo Kapton), por lo tanto este aislamiento no debería alcanzar por ningún motivo los 250°C de temperatura.(Mora, 2003)

2.5. Rendimiento

En un motor eléctrico que se transforma energía de una manera, se va encontrar pérdidas, la cual la energía absorbida en la entrada solo se entregara una parte a la salida. La potencia absorbida o total y la potencia útil será el cociente que se define como rendimiento.(Eusebi Martínez, 2009)

$$\eta = \frac{\text{potencia util}}{\text{potencia total}} = \frac{P_{\mu}}{P_T} \quad \text{Ec. 8}$$

2.5.1. Esquema de flujo de potencia

El diagrama de flujo de potencia se considera como una de las técnicas más ventajosa para las pérdidas de potencia en motor eléctrico.

- a) El diagrama de flujo de potencia de un generador de corriente alterna, en el cual le proporciona potencia mecánica al motor e inmediatamente se quitan las pérdidas dispersas, las pérdidas mecánicas y las pérdidas en el núcleo. Luego que se han quitado estas pérdidas (en situaciones ideales), la potencia convencional se llama así porque la potencia restante se convierte de potencia mecánica a eléctrica. la ecuación que veremos es igual a la potencia mecánica que se ha convertido en,

$$P_{conv} = \tau_{ind} \omega_m \quad \text{Ec. 9}$$

Y la potencia eléctrica se produce en igual cantidad. Pero, dicha potencia que está presente no llega a los terminales del motor, las perdidas eléctricas I^2R de debe de quitar primitivamente a llegar a los terminales. (Chapman, 2012)

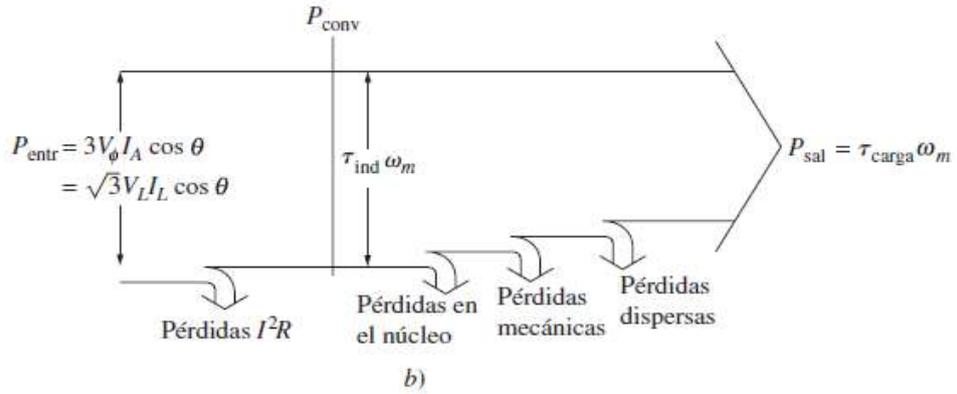


Figura 2. 5: Esquema de potencia de salida
Fuente: (Chapman, 2012)

El diagrama de flujo de potencia en los tipos de motores de corriente alterna sencillamente se invierte.

b) El diagrama de flujo de potencia de un motor lo observamos en la figura 2. 5

2.5.2. Potencia y par de motor asíncrono

Restando las pérdidas en el cobre del estator, las pérdidas en el núcleo y las pérdidas en el cobre del rotor de la potencia de entrada de un motor, la potencia que queda se transforma de eléctrica a mecánica. Esta Potencia transformada, que en muchas ocasiones se le da el nombre de potencia mecánica desarrollada, igual a:

$$P_{conv} = P_{EH} - P_{PCR} \quad \text{Ec. 10}$$

$$= 3I_2^2 \frac{R_2}{s} - 3I_2^2 R_2 \quad \text{Ec. 11}$$

$$= 3I_2^2 R_2 \left(\frac{1}{s} - 1 \right) \quad \text{Ec. 12}$$

$$P_{conv} = 3I_2^2 R_2 \left(\frac{1-s}{s} \right) \quad \text{Ec. 13}$$

Las pérdidas en el cobre del rotor son dadas por la potencia en el entrehierro y multiplica por el deslizamiento:

$$P_{PCR} = sP_{EH} \quad \text{Ec. 14}$$

El deslizamiento del motor debe ser menor para que las pérdidas del rotor sean menores, tomando en cuenta que el rotor no gira entonces consume toda la potencia en el entrehierro porque el deslizamiento es $S=1$. Esto tiene mucha lógica ya que la potencia de salida $P_{sal}(= \tau_{ind} \omega_m)$ va a ser cero puesto que el rotor no gira ($P_{conv} = P_{EH} - P_{PCR}$), por ende, nos da otra manera de relación entre la potencia en el hierro y la potencia transformada de eléctrica a mecánica que es la que se esperaba llegar:

$$P_{conv} = P_{EH} - P_{PCR} \quad \text{Ec. 15}$$

$$= P_{EH} - sP_{EH} \quad \text{Ec. 16}$$

$$P_{conv} = (1 - S)P_{EH} \quad \text{Ec. 17}$$

Finalmente, la potencia de salida se hallará si se sabe las pérdidas por fricción, las pérdidas por rozamiento con el aire y las perdidas misceláneas en la siguiente ecuación.

$$P_{sal} = P_{conv} - P_{FyR} - P_{misc} \quad \text{Ec. 18}$$

El **par inducido** τ_{ind} en una máquina se definió como el par generado por la conversión de potencia interna de eléctrica a mecánica. Este par difiere del par realmente disponible en los terminales del motor por una cantidad igual a los pares de fricción y de rozamiento con el aire en la máquina. (Chapman, 2012)

El par inducido está dado por la ecuación.

$$\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m} \quad \text{Ec. 19}$$

2.5.3. Corriente eléctrica consumida de un motor trifásico

Es una carga trifásica equilibrada, a la fuerza de la corriente eléctrica que pasa por algunos de los tres cables que lo alimenta, la siguiente ecuación está dada:

$$I = P / [\sqrt{(3)}U \cos\varphi] \quad \text{Ec. 20}$$

En el cual, la potencia eléctrica del motor en (watt) es P, el voltaje entre conductores dados en (volt) es U, el factor de potencia del motor eléctrico es $\cos\varphi$ y la intensidad de la corriente eléctrica dada en (amperes) es I. (Farina, 2018)

La alimentación trifásica trifilar es dada por que el motor es trifásico y la tensión U es de 380 voltios. A continuación, se presentará una tabla que permitirá usarla con las formulas ya dada anteriormente, para saber de forma directa la corriente eléctrica parámetros relacionados con el funcionamiento.

A continuación, se observará una tabla con motores que han sido evaluados:

Potencia	Potencia	Corriente nominal	Corriente de arranque	Velocidad	Rendimiento	Cos ϕ
0.5 HP	0.37 KW	1.09 A	4.4 Xn	1.390 rpm	74%	0.7
.75 HP	0.55 KW	1.43 A	7 Xn	1.440 rpm	75%	0.79
1 HP	0.75 KW	1.92 A	6.5 Xn	1.415 rpm	76 %	0.92
1.5 HP	1.9 KW	2.75 A	5.5 Xn	1.440 rpm	77 %	0.79
2 HP	1.5 KW	3.37 A	7.5 Xn	1.420 rpm	90 %	0.94
3 HP	2.20 KW	4.91 A	7.5 Xn	1.420 rpm	93 %	0.92
4 HP	3 KW	6.42 A	7.5 Xn	1.420 rpm	94 %	0.95
5.5 HP	4 KW	9.45 A	7.5 Xn	1.430 rpm	96 %	0.94
7.5 HP	5.5 KW	11.9 A	7.3 Xn	1.470 rpm	99 %	0.95
9 HP	7.5 KW	15.1 A	7.5 Xn	1.470 rpm	99 %	0.95
15 HP	11 KW	22.9 A	7 Xn	1.470 rpm	90 %	0.94
20 HP	15 KW	30.3 A	6 Xn	1.470 rpm	91 %	0.93
25 HP	19.5 KW	36.5 A	7.5 Xn	1.470 rpm	92 %	0.94
30 HP	22 KW	42.2 A	7.5 Xn	1.475 rpm	92 %	0.96

Tabla 2. 1: Datos generales de motores trifásicos asíncronos con tensión de 380 voltios, velocidad nominal de 1.500 revoluciones por minuto, con rotor en cortocircuito.

Fuente: (Farina, 2018)

2.6. Fallas y averías de un motor eléctrico trifásico

Los motores eléctricos producen un sin número de factores que hacen daño, lo cual hay que tener una importancia para prevenir y diagnosticar a tiempo una falla que obligara a investigar constantemente los factores que producen todas ellas, también hay que tomar en cuenta las averías que se

producen en los motores ya que son repetidas y son causadas por problemas de tipo eléctrico, pero los daños mecánicos y otros factores también producen fallas. (ING.HECTOR ENRIQUE PEÑA, 1994)

Las fallas más comunes que se encuentra en el aislamiento de un motor y que son producidas por las siguientes causas:

- Calor o frío excesivos del motor.
- Humedad en motores.
- Acumulación de polvo y suciedad en los motores.
- Medio ambiente corrosivo donde trabaja el motor.
- Vibraciones excesivas en el motor.
- Envejecimiento por tiempo de servicio del motor.
- Sobrecarga en el motor

Además, en los motores eléctricos trifásicos asíncronos se presenta otros tipos de problemas que están el exterior del motor, partes mecánicas y eléctricas, el cual los principales desperfectos son:

- Sobrecalentamiento de las chumaceras en general.
- Sobrecalentamiento de las chumaceras de casquillo metálico.
- Sobrecalentamiento de las chumaceras de baleros.
- Gotas de aceite en los tapones de los rebosaderos.
- Motor eléctrico asíncrono sucio.
- Motor eléctrico asíncrono mojado.
- El motor eléctrico asíncrono no arranca, pero está conectado.
- El motor eléctrico asíncrono arranca y mediante va pasando el tiempo para disminuyendo su velocidad hasta parar.
- La rotación es incorrecta.
- El motor eléctrico asíncrono durante la marca con carga se sobrecaliente.
- Después de haber practicado todas las correcciones, el motor eléctrico asíncrono sigue vibrando.
- La descompensación de corriente en los motores eléctricos asíncrono en sus fases. (ARMA, 1991)

2.6.1. Fallas eléctricas

Habitualmente las fallas eléctricas son ocasionadas por el sistema de aislamiento que se deteriora en los devanados, tales como; los resultados de mucho tiempo y trabajo de sobrecarga, en una sola fase cuando el motor está operando, el desbalance de tensión de una fuente de alimentación y la larga vida útil del material aislante. También se analiza que los defectos producidos son las malas conexiones, por los contactos débiles que se efectúan o sucio y no solo también puede ser por malas operaciones de los fusibles o incorrecta calibración en los sistemas de protección, y otros.

- **Sobrecorriente**

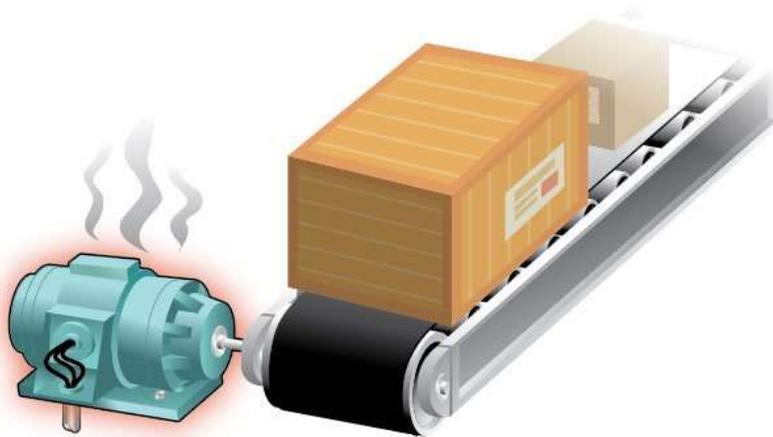
La sobrecorriente en los motores eléctricos se encontrarán en las operaciones que los dispositivos eléctricos comenzarán a consumir corriente demás de la cual está dada por su capacidad total, por lo que estas situaciones impredecibles ocurrirán inesperadamente y habrá un gran impacto en los motores. Es decir, que uno de los puntos importantes es la calidad de energía que es dada al circuito del motor, porque la variación de larga duración se analiza ya que incluye el desbalance de voltaje entre fases, sobretensiones y bajos voltajes, y no solo eso, también la distorsión de forma de onda la cual es causada por la presencia de armónicos en la red. (Morales Montero, 2018)

Cuando se le suministra energía eléctrica a un motor eléctrico para que opere, la onda de energía es muy susceptible y un gran ejemplo es cuando se produce un desbalance de voltaje, por eso en los devanados del motor se genera unas corrientes de secuencia negativa, el cual crea un campo magnético opuesto a la rotación del motor que se le llama calentamiento del equipo y pérdida de torque.

La sobre carga en los motores eléctrico se da por trabajo extra y eso puede dañar al equipo e instalaciones eléctricas, ya que las corrientes superiores a la corriente normal se consideran

sobrecorriente. También el esfuerzo mecánico demás que hace el motor se produce por fallas mecánicas, por falta de mantenimiento y la entrega de energía extra hace que tenga una sobrecarga.

En la figura 2. 6.- siguiente se podrá observar un pequeño ejemplo,



*Figura 2. 6: Sobrecorriente en un motor
Fuente: www.fluke.com*

- **Armónico**

Los componentes físicos y estructurales no solo son afectados por la variación de tensión en los niveles de alimentación de un motor, además también afecta su desempeño y operación, en las características de arranque y su eficiencia se ven afectado el par o torque que entrega y el factor de potencia, además esto depende del diseño de carcasa con cual fue hecho en gran medida.

Las ondas sinusoidales son conocidas como distorsiones se encuentran en los armónicos y las cuales se logran ver mediante la tensión y la corriente, cuya frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental (50 o 60HZ). El incremento de las perdidas por potencia activa y el incremento de la corriente I_{rms} ha hecho de esto unos de los temas a investigar por la aparición de efectos skin, la cual reduce en los conductores la efectividad y con el transcurso del tiempo se incrementa la frecuencia

sobrecalentándose, también el aumento de calentamiento por efecto Joule debido a las corrientes de Foucault, ocasiona daños en el aislamiento y la disminución de la vida útil en los equipos. (Morales Montero, 2018)

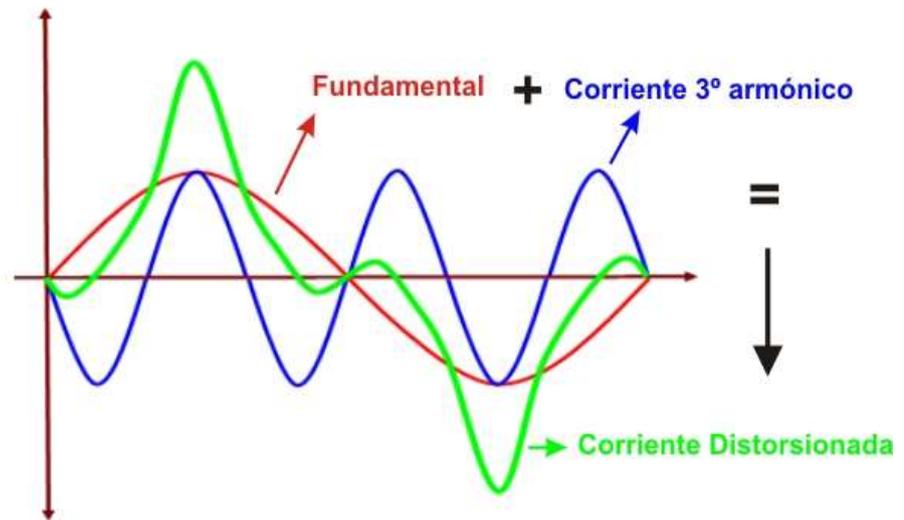


Figura 2. 7: Armónico de un motor
Fuente: www.alternasa.com/armonicos

2.6.2. Fallas mecánicas

Las fallas mecánicas se producen por varios factores, los cuales son originados por vibraciones excesivas o cuando terminan de hacer un mantenimiento hacen un mal alineamiento en el motor y no se dan cuenta de la carga acoplada, también hay que tomar en cuenta los defectos de la base de montaje y la falta de lubricación en los cojinetes o las partes constructiva del motor se encuentra un problema de ajuste. (ING.HECTOR ENRIQUE PEÑA, 1994)

El instituto de investigación para la energía eléctrica (EPRI ElectricalPowerResearchInstitute) y la General motors, hicieron un estudio en el año 2000 en Estados unidos que resaltaron valores porcentuales de causas de fallas en motores de inducción, en la tabla siguiente.

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

Tabla 2. 2: Fallas de los motores de inducción dado por porcentaje

Fuente: (Peralta Nuñez, 2005)

2.6.3. Sobrecaentamiento

Las condiciones ambientales en un motor pueden afectar por equipos atascados, por cambios en la carga, por usar variadores de velocidad para bajar velocidad o subir, por la reducción de tamaño del motor y todos estos factores perjudican cuando se está operando.

En un motor el sobrecaentamiento en las bobinas hace que el aislamiento del bobinado se deteriore más rápido de lo pensado y la vida útil del aislamiento se reduce a la mitad por cada diez grados centígrados que incremento la temperatura. El promedio de fallas en los aislamientos es del 55% que son causadas por sobrecaentamiento, esto se debe porque cada motor tiene su temperatura nominal dada por el fabricante y cada vez que arranque con corrientes elevadas, su temperatura será más cálida de lo normal por funcionar con condiciones que no están diseñadas para ese motor.



Figura 2. 8: Bobina de motor quemada

Fuente: www.pinterest.com

El sobrecalentamiento se produce por:

- Cables de alimentación muy largos y finos.
- Incorrecta conexión de los cables de conexión del motor.
- Frecuentes números de partidas en un lazo de tiempo corto.
- Demasiada carga en la punta de eje.
- Sobretensión o subtensión de alimentación de la red.
- Falta de ventilación. (Peralta Nuñez, 2005)

2.6.4. Suciedad

Uno de los daños que se produce en los motores es por falta de limpieza que se hace cuando hay un mantenimiento, esto ayuda a que la parte externa e interna del motor este sin ninguna suciedad que pueda dañar el motor al bloquear el ventilador de enfriamiento y esto produzca una alta temperatura y se sobrecaliente, este tipo de temperatura también afecta el aislante del devanado. (Morales Montero, 2018)

Un ambiente corrosivo también perjudica al motor eléctrico por la cantidad de polvo en toda el área de trabajo, el cual estas partículas se introducen en los bornes y se hace un falso contacto en sus terminales de conexión eléctrica así produciendo baja velocidad o perdidas de líneas, los otros objetos que se introducen hacen que el motor trabaje demás porque se presentan resistencia por la cantidad de partículas extras que no están constituidas en ellas.



Figura 2. 9: Motor con suciedad

Fuente: www.fluke.com

2.6.5. Humedad

La humedad afecta al motor causando una corrosión en algunas partes que su aislamiento se correrá, provocando cortocircuito entre los devanados, como en los cojinetes, en el eje del motor y los rotores. La rotación suave que hay es producto por la humedad que habrá dentro, así disminuyendo la eficiencia la cual llevará a una falla completa del motor. (Morales Montero, 2018)

La mayoría de los motores que sufren este tipo de problema es por el ambiente de trabajo, por el tipo de trabajo, por la falta de mantenimiento, que en algunas empresas por ahorrarse ese tipo de mantenimiento sufren daños internamente y no le prestan la debida atención.



Figura 2. 10: Motor con humedad

Fuente: (Morales Montero, 2018)

2.6.6. Excentricidad

La excentricidad en los motores es muy usual que se detecta por las vibraciones que producen porque entre el eje de rotación y el eje de simetría no coinciden entre sí, produciendo fricción entre ellos porque en los elementos mecánicos tiene diferentes lugares, como en las poleas, las ruedas dentadas y en las dos piezas concéntricas tiene un posicionamiento relativo que en el rotor y el estator de diferentes motores eléctricos se puede observar. (ALFONSO, 2017)

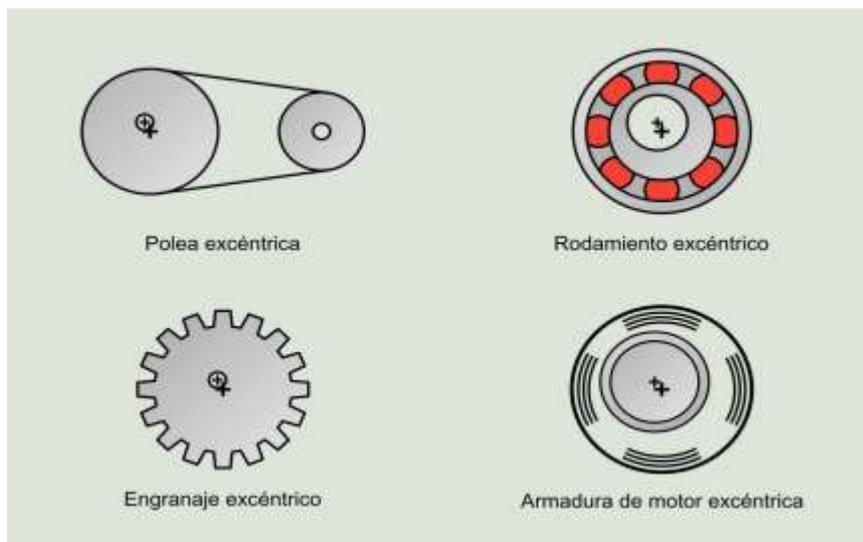


Figura 2. 11: Tipos de excentricidad

Fuente: (ALFONSO, 2017)

Las personas que fabrican estos motores eléctricos, lo hacen con un principal objetivo que es el incremento de eficiencia en ellos, pero no se percatan que se origina una excentricidad por el incorrecto posicionamiento relativo entre el rotor y el estator, por consecuente se manifiesta una disminución progresiva del entrehierro y un desgaste desigual de una superficie.

Cuando el motor es de potencia grande no es recomendable el montaje con brida, el cual la fatiga y las variaciones bruscas de temperatura induciendo dilataciones o contracciones en la máquina del rotor respecto al estator que alteren la concentricidad y así induciendo un incremento de vibraciones de la máquina. Además, cuando es un montaje en voladizo la maquina es ayudada por la presencia de desequilibrio. (TESTMOTORS, 2017)

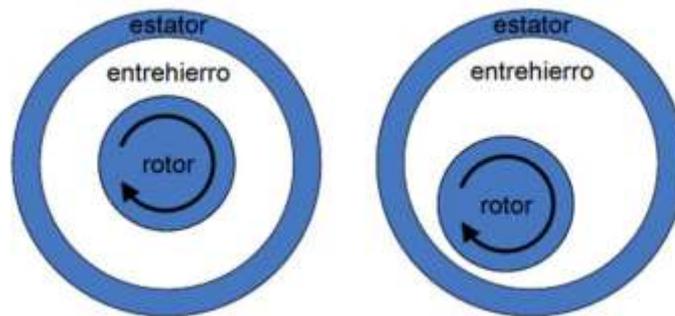


Figura 2. 12: Excentricidad
Fuente: (TESTMOTORS, 2017)

2.7. Termografía

La termografía infrarroja es una tecnología fundamentada por la radiación térmica o energía infrarroja que se reflejan sin tener contacto y no destruye en el momento de hacer la prueba, esta técnica que se emplea en forma de ondas electromagnéticas son emitidas por energía, la cual circula a la velocidad de la luz por medio del aire o por otra vía de conducción y la temperatura del equipo es de relación directa, entonces cuando el objeto está bien caliente, envía una gran cantidad de energía y una mínima longitud de onda de dicha energía. Este tipo de emisiones no se observan en la vista de un ser humano y es invisible por el espectro de emisiones infrarrojas que están dadas en longitudes onda mayor.

Este tipo de tecnología que está en la actualidad con la ayuda de las radiaciones infrarroja nos permite trabajar en las cámaras termográficas por medio de transformación de una imagen infrarroja a una imagen radiométrica, el cual en las distribuciones superficiales de temperatura se logra observar y determinar los parámetros de temperatura de la imagen, con el propósito de acumular todos los datos térmicos de un equipo eléctrico o mecánico, de tal manera que los trabajos normales o anormales estén bajo términos que se pueda controlar, corregir y hallar futuras fallas que probablemente se producirán, por ejemplo la temperatura que permite ver el término de operación de un equipo cuando se visualiza los parámetro. (Neita Duarte & Peña Rodríguez, 2011)



Figura 2. 13: Técnica de termografía

Fuente: flirmedia

2.7.1. Luz infrarroja

Una luz infrarroja detecta dicha energía que emite un objeto por medio de la cámara de infrarrojo que se reproduce en las áreas calientes que aparecen brillantes y las frías aparecen oscuras, por ende, la temperatura será pieza fundamental para que se refleje una intensidad y la emisividad se la considera como una propiedad del material de superficie.

Entre las ondas de radio del espectro electromagnético y la luz visible se localiza la radiación infrarroja, la cual entre el 1 milímetro y 750 nanómetros tiene longitudes de ondas, también oscila entre 300 Giga Hertz y 400 Tera Hertz la frecuencia de esta radiación. (Tapia Montero, 2019)

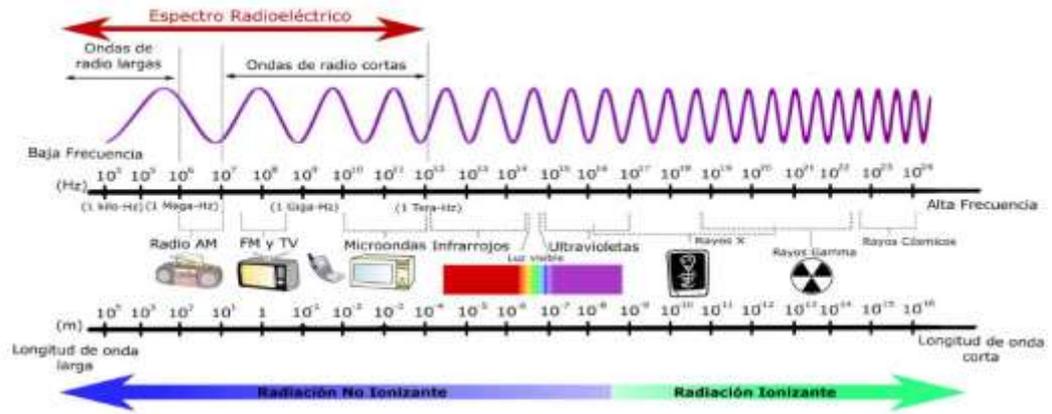


Figura 2. 14: Espectro electromagnético

Fuente: (Tapia Montero, 2019)

Capítulo 3: Evaluación de motores con resultados reales

3.1. Breve descripción

Se evalúa los motores eléctricos para conocer las condiciones específicas y sus equipos que lo hace funcionar como algunos de sus componentes principales, como es, el estator, el rotor y el circuito equivalente. Estos primeros estudios se realizan para conocer más profundo el motor y desde ahí comenzar el analiza a las posibles fallas que se encuentran realizando pruebas al motor, por ejemplo, la prueba de vacío, prueba de rotor bloqueado y prueba de resistencia del estator.

El análisis por medio de la termografía infrarroja es muy utilizado en la actualidad por su eficiencia en encontrar las posibles fallas en los motores, esta técnica se lo usa porque no ocasiona daños cuando se realizan las pruebas y trabaja con radiación infrarroja, además esta tecnología es eficaz por encontrar los puntos calientes en el equipo a evaluar con exactitud, lo cual permite a las industrias planificar un mantenimiento preventivo o predictivo para evitar las paras no programadas.

3.2. Grados IP

Los grados IP del motor están constituida en dos parte, de lado izquierda es la protección a personas para evitar en contacto a partes externas del motor que están movimiento y para evitar el ingreso de polvo o objetos sólidos al interior de las partes de un motor. También, se refiere a la protección del motor del ingreso de agua que puede producir daños en interior del motor, de lado derecho. (ABB, 2014)

ÍNDICES DE PROTECCIÓN IP SEGÚN NORMA IEC 60529

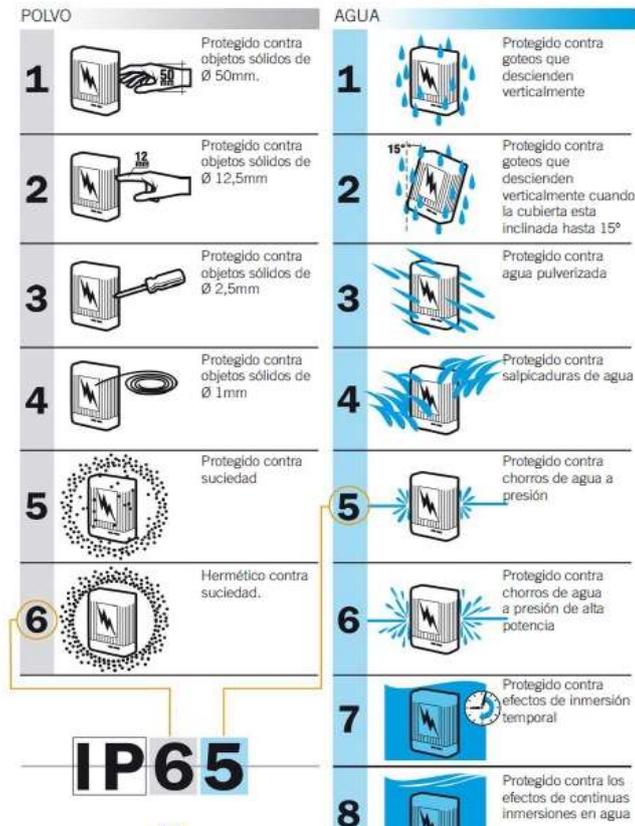


Figura 3. 1: Grados de IP

Fuente: (ABB, 2014)

La clasificación de los grados de protección IP son dadas por el estándar IEC 600 34-5. Como se visualiza en la siguiente figura

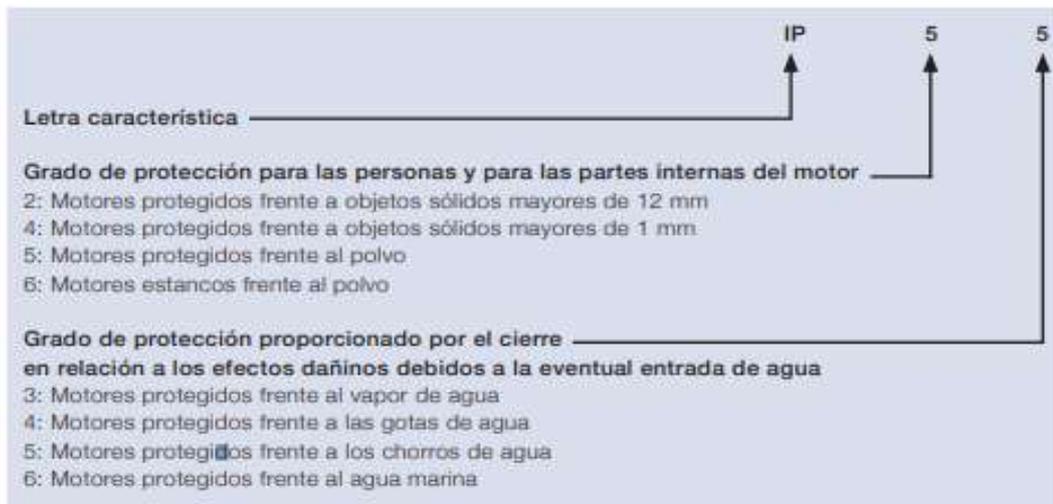


Figura 3. 2: Esquema de IP

Fuente: (ABB, 2014)

3.3. Circuito equivalente

Las cantidades referidas al estator y sus componentes se hallan en un circuito equivalente, el cual un comportamiento de una maquina es asignada por el sentido de la corriente que manifiestan con un deslizamiento positivo.

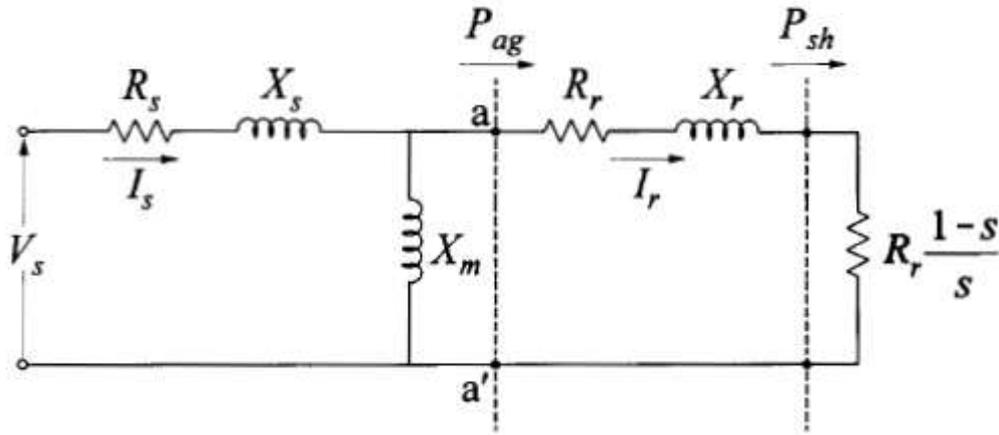


Figura 3. 3: Circuito equivalente de motor

Fuente: (Guru)

La transferencia de potencia en el entrehierro:

$$P_{ag} = \frac{R_r}{s} I_r^2 \quad \text{Ec. 21}$$

Las pérdidas en rotor:

$$P_{lr} = R_r I_r^2 \quad \text{Ec. 22}$$

La potencia mecánica es desarrollada por:

$$\begin{aligned} P_{sh} &= P_{ag} - P_{lr} \\ &= \frac{R_r}{s} I_r^2 - R_r I_r^2 \\ &= R_r \frac{1-s}{s} I_r^2 \end{aligned} \quad \text{Ec. 23}$$

La ecuación que se muestra es de la potencia entregada al eje de la maquina después de tener una disminución de pérdidas de diferente índole.

El motor desarrolla un par electromagnético que es:

$$T_e = \frac{3P_{sh}}{\omega_m} \quad \text{Ec. 24}$$

La velocidad mecánica del rotor en RPM es ω_m .

$$\begin{aligned} \omega_m &= \omega_r \frac{2}{p_f} \\ &= \omega_s (1-s) \frac{2}{p_f} \end{aligned} \quad \text{Ec. 25}$$

Es decir, el par electromagnético es:

$$T_e = 3 \frac{p_f}{2} \frac{R_r}{s\omega_s} I_r^2 \quad \text{Ec. 26}$$

3.4. Causas de las zonas de fallas de motores eléctricos

Se ha realizado un estudio en el cual se ha diagnosticado las posibles fallas que se encuentra en un motor de inducción que se mostrara en la figura siguiente.

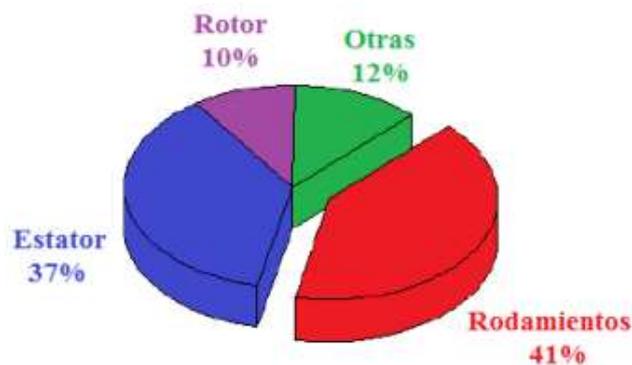


Figura 3. 4: Zonas de fallas en un motor
Fuente: (Abarca Sigcho Diego Fernando, 2012)

3.4.1. Causas de Fallas en los motores eléctricos por la temperatura

En un volumen alto de motores eléctricos la mayor cantidad de fallas son por aislamiento y fallas mecánicas. Por lo cual, los daños en las espiras del estator son producidas por fallas en aislamiento, o también se le da el nombre de cortocircuito en el enrollamiento del estator.

En las fallas mecánicas una gran cantidad de daños están relacionado al rotor o los mismo que lo componen entre sí, las siguientes fallas mecánicas principales se destacan por, daños en rodamientos, quiebre de barras, anillos del rotor, irregularidades en el entrehierro (excentricidad) y desbalance. (Abarca Sigcho Diego Fernando, 2012)

3.4.2. Causas de fallas en el estator

Estas causas en el estator se dan por las variaciones de voltaje que afecta al motor y a las bobinas con relación a la temperatura, por ese motivo en el instante de diseñar motores, se sugiere utilizar un parámetro que realiza la operación satisfactoria, el cual hay una variación de voltaje de más o menos 10%.

Cuando tienes un voltaje de fase desbalanceada afecta en un porcentaje la temperatura en las bobinas del estator, por eso cuando tienes una cantidad mínima de desbalance de fase causa un incremento en los bobinados del estator. se conoce por estadísticas que cada 3.5% de desbalanceo por fase, el incremento de un 25% se produce en la fase de mayor corriente por la temperatura en las bobinas. Es decir, se debe tener un balance proporcionado en las 3 fases posibles para evitar estos tipos de problemas.

Los arranques cíclicos en los motores son sometidos a frecuentes arranques en un pequeño periodo de tiempo, los grandes corrientes de arranque son realizados por rápido incremento de temperatura en las bobinas. Además, una de las causas de los arranques cíclicos es la contracción y expansión del aislante que se encuentra en las bobinas, volverse frágil, e idóneo a quebraduras con el pasar del tiempo. (Abarca Sigcho Diego Fernando, 2012)

En muchos de los casos una de las causas es la obstrucción del medio de ventilación, en el rotor y estator de un motor se produce un calor que con la ayuda de un sistema de ventilación se va a las afueras del equipo, en donde, se llega a generar alguna situación dañada u obstrucciones, van a causar en las bobinas del estator un sobrecalentamiento. Hay que tomar en consideración un sistema de ventilación extra si el motor llegara a operar con sobrecalentamiento en trabajo normal.

3.4.3. Causas de fallas en el rotor

Es posible que sucedan estas sobrecargas térmicas en la partida, siendo así en circunstancias de rotor bloqueado o régimen permanente, conociendo que el mayor causante de daños en el rotor es cuando está en rotor bloqueado. (Abarca Sigcho Diego Fernando, 2012)

Las siguientes causas comunes de fallas por sobrecarga térmica son:

- La mayor cantidad de arranque seguidos ocasiona grandes temperaturas en las barras y los anillos del rotor.
- Grandes cargas impuestas en el eje del motor ocasionan un rotor bloqueado.
- Fallas en el sistema de rodamientos o circunstancia de grandes vibraciones ocasionan fricción entre estator y rotor.
- La fatiga ocasiona rotura de barras del rotor.
- Deficiencia del ventilador.

El desbalance térmico se puede dar en el comienzo en el proceso de fabricación del rotor o puede aparecer por circunstancias de operación que sobrepasen los límites de trabajo del mismo. Estos desbalances térmicos son causados por fallas que se presentaran a continuación:

- Entre el centro y las barras del rotor existen transferencia desigual de calor.

- En las barras del rotor hay diferentes temperaturas producidas por sucesivos arranques en el motor.
- Se genera rotura de barras a la circulación de corriente desigual ocasionado por los gradientes de temperatura.

Perturbación	Causa de la perturbación	Efecto de la perturbación
Aumento de la temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Suciedad de las partes del motor. • Aislamiento s térmicos defectuosos. • Cuchillas gastadas en molinos. • Sobrecarga de control desconfigurados. • Operación inadecuada de protecciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento excesivo. • Destrucción de equipos. • Conatos de incendio. • Pérdidas de energía. • Paros indebidos. • Sobre corrientes. • Caídas de tensión. • Ineficiencia en el proceso. • Extra costos en operación y mantenimiento.

Tabla 3. 3: Perturbaciones de temperatura

Fuente: (Abarca Sigcho Diego Fernando, 2012)

Los diseños de los motores están dados por unos parámetros, el cual, indica que la vida útil es de 25.000 horas de servicio (con un aproximado de 10 años) con una prueba en el aislamiento de una temperatura máxima aceptable de 120°C para clase B.

- **Normas [NEMA StandarsPublication, 1993]**

Esta normativa establece que por cada 10°C que el motor trabaje arriba de su máximo valor de incremento de temperatura, la vida útil de su aislamiento se disminuye a la mitad. Aun, cuando nos dirigimos a la resistencia que hay entre este a tierra por las condiciones de aislamiento, demuestra lo limpio o sano está el aislamiento. (Abarca Sigcho Diego Fernando, 2012)

Clase	Temperatura máxima	
	Y	90°C
A	105°C	221°F
E	120°C	248°F
B	130°C	266°F
F	155°C	311°F
H	180°C	356°F
C	Más de 180°C	Más de 356°F

Tabla 3. 4: Temperatura de aislamiento

Fuente: (Abarca Sigcho Diego Fernando, 2012)

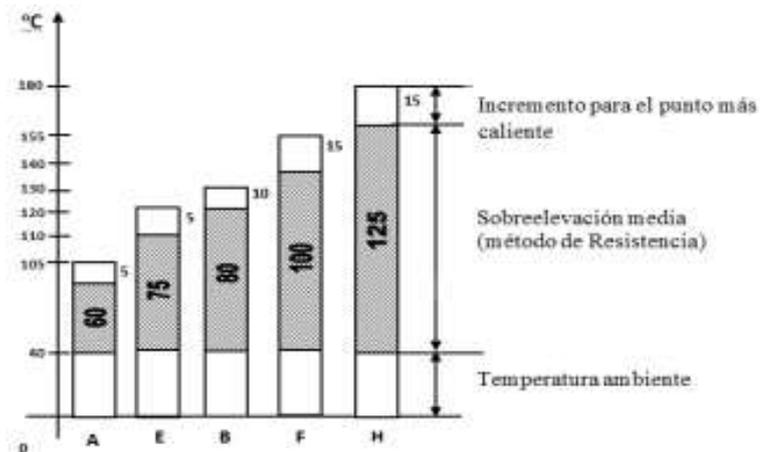


Figura 3. 5: Zonas de fallas en un motor

Fuente: (Abarca Sigcho Diego Fernando, 2012)

Con la técnica de la termografía se puede hallar las fallas que se produce en el aislamiento del motor, conociendo los datos de placa del mismo. Generalmente al medir la temperatura de placa del motor, se sobreentiende que el aislamiento está en 20°C más grande que ésta.

- **IEEE 43-2000 (Institute of electrical and electronic engineers)**

Esta normativa de la IEEE se basa a los límites de 40°C de temperatura de aislamiento.

- **IEC 85 (Internacional electrotechnical commission)**

Esta normativa nos indica que todos los motores están diseñados de forma que no sobrepasen los calentamientos dados por los límites establecidos.

3.5. Normativas para realizar una termografía

En un diagnóstico de un estudio de termografía se debe seguir los criterios específicos de NETA (International Electrical Testing Association), por lo tanto, cuando se sobrepasa los 15°C bajo carga similar entre componentes existe una diferencia de temperatura, la cual, se descubrirá posibles fallas.

Cuando tienes la diferencia de temperatura con los componentes y el aire que supera los 40 °C, esta asociación recomienda determinar las diferencias de temperatura que clasifica las posibles fallas. (Tapia Montero, 2019)

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

Tabla 3. 5: Normativa de niveles de temperatura

Fuente: (Abarca Sigcho Diego Fernando, 2012)

Donde:

- T_{PC} : Temperatura punto caliente
- T_{AMB} : Temperatura ambiente.
- T_{REF} : Temperatura punto de referencia de otro componente similar bajo cargas similares
- DIF_{SIM} : Diferencia temperatura punto calientes con temperatura con punto similar.

- DIF_{AMB} : Diferencia temperatura punto caliente con temperatura ambiente.

3.6. Pruebas en los motores eléctricos

Mediante estos parámetros, se puede comenzar los siguientes estudios termográficos para evaluar sus puntos calientes o temperatura en motores eléctricos, como son las partes eléctricas y partes mecánicas.

Para analizar un motor y conocer sus condiciones eléctricas se realiza tres tipos de pruebas que nos darán los parámetros internos, en la prueba de vacío IDEAL no se induce corriente en el rotor y al mismo tiempo solo queda el circuito de reluctancia (el deslizamiento es 0), por ende, se observara la corriente en vacío, voltaje en vacío, y potencia(se saca R_{fe} y jX_m), los parámetros de R_{cc} y X_{cc} a esta $X_{cc}/2 = X_2' = X_1$, se obtiene con la prueba de rotor bloqueado a corriente nominal, además 1 es el deslizamiento, y para terminar nos queda las resistencia por fase y se despeja la del rotor por default. (Guru)

3.6.1. Prueba de vacío ideal

Se adjunta el eje del motor electrico de inducción a un motor de corriente continua para que gire el rotor a la velocidad de sincronismo, con el proposito de evitar que en el rotor haya corriente inducida y por ende se pueda tomar los datos de potencia de entrada, voltaje de vacío y corriente de vacío.

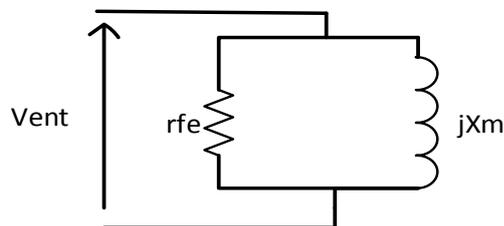


Figura 3. 6: Diagrama de prueba en vacío

Fuente: (Guru)

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 0 \quad \text{Ec. 26}$$

$$V_{entrada} = V_{nominal}, I_0 \quad \text{Ec. 27}$$

$$r_{fe} = \frac{V_n^2}{P_0} \quad \text{Ec. 28}$$

$$I_\phi = \sqrt{I_0^2 - \left(\frac{V_n}{r_{fe}}\right)^2} \quad \text{Ec. 29}$$

$$X_n = \frac{V_n}{I_\phi} \quad \text{Ec. 30}$$

3.6.2. Prueba de rotor bloqueado

En la prueba de rotor bloqueado se conserva el rotor frenando con un madero, aplicando al estator tensión que se disminuye hasta que la corriente en línea de igual a la corriente nominal del rotor, con los valores de potencia, voltaje y corriente.

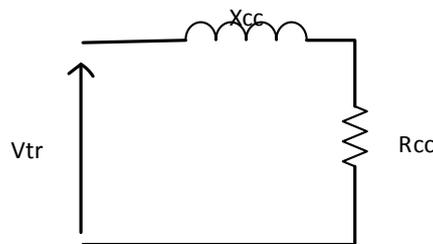


Figura 3. 7: Diagrama de prueba en rotor bloqueado

Fuente: (Guru)

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 \quad \text{Ec. 31}$$

$$R_{cc} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2} \quad \text{Ec. 32}$$

$$Z_{cc} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \quad \text{Ec. 33}$$

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} \quad \text{Ec. 34}$$

$$X_1 = X_2' = \frac{X_{cc}}{2} \quad \text{Ec. 35}$$

3.6.3. Pruebas de resistencia del estator

En la prueba de resistencia del estator se aplica una fuente de voltaje DC variable en dos líneas del estator hasta que el valor nominal del motor de

igual a la corriente en DC, y al calcular la resistencia se procede a dividir para dos ($V_{dc} = I_{dc} \times 2R_{est}$)

$$r_1 = \frac{V_{DC}}{2 I_{DC}} \quad \text{Ec. 36}$$

$$r_2' = r_{cc} - r_1 \quad \text{Ec. 37}$$

3.6.4. Resultado de las corrientes y torques en diferentes escalas de potencia

Potencia			Eficiencia [%]			Factor de potencia			Corriente			Torque			Momento de inercia		Peso [kg]	Ruido [dBA]	
[kW]	[HP]	Tipo	% de la potencia nominal			FS			I_n [A]	I_s [A]	lvacio [A]	T_n [Nm]	T_s [Nm]	T_{max} [Nm]	J=1/4GD2 [kgm2]				
			r/min	50	75	100	50	75	100										
2 polos = 3600 r/min			440 V 60 Hz																
0,37	0,50	M2QA 71 M2A	3359	64,1	70,3	70,9	0,68	0,77	0,83	1,15	0,83	3,5	0,6	1,1	2,3	3,0	0,00030	10	59
0,55	0,75	M2QA 71 M2B	3350	68,0	73,4	73,8	0,70	0,80	0,86	1,15	1,2	4,0	0,9	1,6	2,2	2,5	0,00037	11	59
0,75	1	M2QA 71 M2B	3255	72,4	73,8	70,8	0,77	0,85	0,87	1,15	1,6	5,7	0,9	2,2	1,6	1,8	0,00037	11	59
1,1	1,5	M2QA 80 M2A	3324	75,7	75,7	71,8	0,85	0,89	0,89	1,15	2,3	5,6	0,8	3,2	1,5	1,8	0,00091	16	61
1,5	2	M2QA 80 M2B*	3380	77,2	78,3	75,5	0,84	0,88	0,89	1	2,9	6,4	1,2	4,2	1,7	1,7	0,00107	17	61
2,2	3	M2QA 90 L2A	3449	80,0	82,7	82,1	0,73	0,82	0,87	1,15	4,0	5,1	2,0	6,1	2,3	3,3	0,00163	24	65
3,0	4	M2QA 90 L2A*	3391	82,5	82,0	80,1	0,79	0,88	0,90	1	5,5	6,5	2,0	8,4	1,6	2,4	0,00163	24	65
3,7	5	M2QA 112 M2A	3495	83,1	85,9	85,9	0,81	0,88	0,92	1,15	6,2	5,9	2,7	10,1	2,5	3,3	0,00671	42	71
4,5	6	M2QA 112 M2A	3472	84,8	86,0	85,1	0,84	0,91	0,93	1,15	7,5	5,1	2,7	12,4	2,0	2,7	0,00671	42	71
5,5	7,5	M2QA 112 L2A*	3480	85,0	86,0	85,0	0,83	0,89	0,91	1	10,7	7,0	3,0	17,3	2,0	2,1	0,00826	49	73
7,5	10	M2QA 132 S2B	3515	85,7	87,4	87,6	0,81	0,87	0,90	1,15	12,4	6,3	3,6	20,4	2,3	3,4	0,01491	63	74
9,2	12,5	M2QA 132 M2A*	3500	85,0	86,0	85,5	0,81	0,87	0,89	1	16,0	7,5	7,9	28,9	2,0	2,2	0,01499	68	74
11	15	M2QA 132 M2B*	3480	88,0	89,0	89,0	0,82	0,88	0,90	1	18,3	8,0	9,0	35	2,2	2,2	0,01768	73	76
15	20	M2QA 160 M2B	3522	89,7	91,5	91,6	0,83	0,89	0,92	1,15	23,1	5,0	7,4	40	2,6	3,4	0,05510	122	76
18,5	25	M2QA 160 L2A	3523	90,1	91,7	91,8	0,82	0,88	0,91	1,15	29,2	5,4	8,5	51	2,6	3,3	0,06549	142	76
22	30	M2QA 160 L2B*	3520	87,0	88,0	88,0	0,82	0,88	0,90	1	37,1	6,5	10,2	69	2,3	2,8	0,06549	130	78
30	40	M2QA 180 L2A	3540	91,1	92,1	92,1	0,82	0,88	0,90	1,15	47,3	6,5	16,2	93	2,3	2,8	0,10339	185	78
37	50	M2QA 200 L2B	3552	89,0	90,6	90,7	0,82	0,88	0,91	1,15	59,0	5,9	14,4	100	2,4	2,8	0,16822	254	85
45	60	M2QA 200 L2C	3550	93,1	94,1	94,1	0,83	0,89	0,91	1,15	68,6	7,0	22,0	142	2,2	2,6	0,18473	276	84
55	75	M2QA 225 M2B*	3570	93,0	94,0	94,0	0,82	0,88	0,90	1	86,9	7,0	27	169	2,5	2,8	0,33431	340	84

Tabla 3. 6: Pruebas de motores de inducción ABB

Fuente: (ABB, 2014)

Capítulo 4: Pruebas y resultados

4.1. Diagnóstico de un motor ABB de inducción

4.1.1. Motor ABB de inducción



Figura 4. 8: Motor de inducción ABB
Elaborado por: Autor.

Datos:

- Potencia: 5.5 KW
- Frecuencia: 60 Hz
- I: 18.9 A
- V: 220 v
- 2 polos = 3600 rpm



Figura 4. 9: Termograma
Elaborado por: Autor.

4.1.2. Prueba de vacío del motor ABB

Vab:	204.4	Va:	118.1	Ia:	12.155
Vbc:	204.2	Vb:	117.8	Ib:	12.388

Vca:	202.1	Vc:	116.6	lc:	12.257
Pa:	0.114	Sa:	1.434	Qa:	1.429
Pb:	0.116	Sb:	1.459	Qb:	1.454
Pc:	0.114	Sc:	1.429	Qc:	1.424
PΣ:	0.344	SΣ:	4.322	QΣ::	4.307
FPa:	0.07	FPb:	0.08	FPc:	0.06
PFΣ: 0.08					

Tabla 4. 7: Datos de prueba en vacío

Elaborado por: Autor

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 0 \text{ Ec. 38}$$

$$\frac{r'_2}{s} \rightarrow \infty \text{ Ec. 39}$$

$$R_{fe} = \frac{V_L^2}{P_o} = \frac{204.4^2}{114} = 803.44 [\Omega] \text{ Ec. 40}$$

$$I_{\partial} = \sqrt{I_o^2 - \frac{V_n^2}{R_{fe}}} = \sqrt{12.15^2 - \left(\frac{204.4}{803.44}\right)^2} = 12.15 [A] \text{ Ec. 41}$$

$$X_{\partial} = \frac{V_L}{I_{\partial}} = \frac{204.4}{12.15} = 16.82 [H] \text{ Ec. 42}$$

4.1.3. Prueba de rotor bloqueado del motor ABB

Vab:	130.00	Va:	75.05	la:	18.61
Vbc:	130.4	Vb:	75.28	lb:	18.53
Vca:	130.9	Vc:	75.57	lc:	12.51

Pa:	0.804K	Sa:	1.396K	Qa:	0.766K
Pb:	0.805K	Sb:	1.394K	Qb:	0.766K
Pc:	0.363K	Sc:	0.945K	Qc:	0.513K
PΣ:	1.446K	SΣ:	3.735K	QΣ:	2.045K
FPa:	0.57	FPb:	0.58	FPc:	0.70
PFΣ: 0.62					

Tabla 4. 8: Datos de Pruebas de rotor bloqueado

Elaborado por: Autor.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 \text{ Ec. 43}$$

$$\frac{r'_2}{s} \rightarrow r'_2 \text{ Ec. 44}$$

$$I_{rb} = I_{nom} \text{ Ec. 45}$$

Fase A

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{804}{18.61^2} = 2.32 [\Omega] \text{ Ec. 46}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{130.4}{18.61} = 6.985 \text{ Ec. 47}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{6.985^2 - 2.32^2} = 6.588 [H] \text{ Ec. 48}$$

$$X_{11} = X_{22} = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{6.63}{2} = 3.29 [H] \text{ Ec. 49}$$

Fase B

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{805}{18.53^2} = 2.34 [\Omega] \text{ Ec. 50}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{130}{18.53} = 7.03 \text{ Ec. 51}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{7.03^2 - 2.34^2} = 6.63 [H] \text{ Ec. 52}$$

$$X_{11} = X'_{22} = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{6.63}{2} = 3.31 [H] \text{Ec. 53}$$

Fase C

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{545}{12.51^2} = 3.48 [\Omega] \text{Ec. 54}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{130.9}{12.51} = 10.46 \text{ Ec. 55}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{10.46^2 - 3.48^2} = 9.86 [H] \text{Ec. 56}$$

$$X_{11} = X'_{22} = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{9.86}{2} = 4.93 [H] \text{Ec. 57}$$

4.1.4. Prueba de resistencia del estator del motor ABB

Vdc (L1-L2):	18.15	Vdc (L2-L3):	18.15	Vdc (L3-L1):	18.15
Idc (L1-L2):	5.21	Idc (L2-L3):	4.14	Idc (L3-L1):	2.75
R (L1-L2):	2.16	R (L2-L3):	2.19	R (L3-L1):	2.37

Tabla 4. 9: Datos de prueba de vacío

Elaborado por: Autor.

$$R_1 = \frac{V_{DC}}{2 \cdot I_{DC}} = \frac{18.15}{2 \cdot 5.21} = 2.16 [\Omega] \text{Ec. 58}$$

$$R_2' = R_{rb} - R_1 = 2.32 - 2.16 = 0.158 [\Omega] \text{Ec. 59}$$

```

2 - f=60; %frecuencia de operacion
3 - p=2; %numero de polos del motor sacado por la velocidad sincrona
4 - m=3; %numero de fases
5 - v=220; %voltaje
6 - r1=2.19; %resistencia del estator
7 - r2=0.15; %resistencia del rotor referida
8 - x1=3.31; %reactancia del estator
9 - x2=3.31; %reactancia del rotor
10
11 - ns=(120*f)/p;
12 - s=(0:1:200)/200;
13 - s(1)=0.005;
14 - n=ns*(1-s);
15 - for i=1:200;
16 -     Tmec(i)=(7.04/ns)*m*(v^2)/(r1+(r2/s(i))^2+(x1+x2)^2)*(r2/s(i));
17 - end
18
19 %Gráfica Torque-Velocidad
20 - figure(2)
21 - plot(n,Tmec)
22 - grid on
23 - title('Motor de inducción')
24 - xlabel('Velocidad [rpm]')
25 - ylabel('Toque Mecánico [N*m]')
26 - hold on

```

Figura 4. 10: Código matlab de torque vs velocidad en arranque de la prueba 1
Elaborado por: Autor.

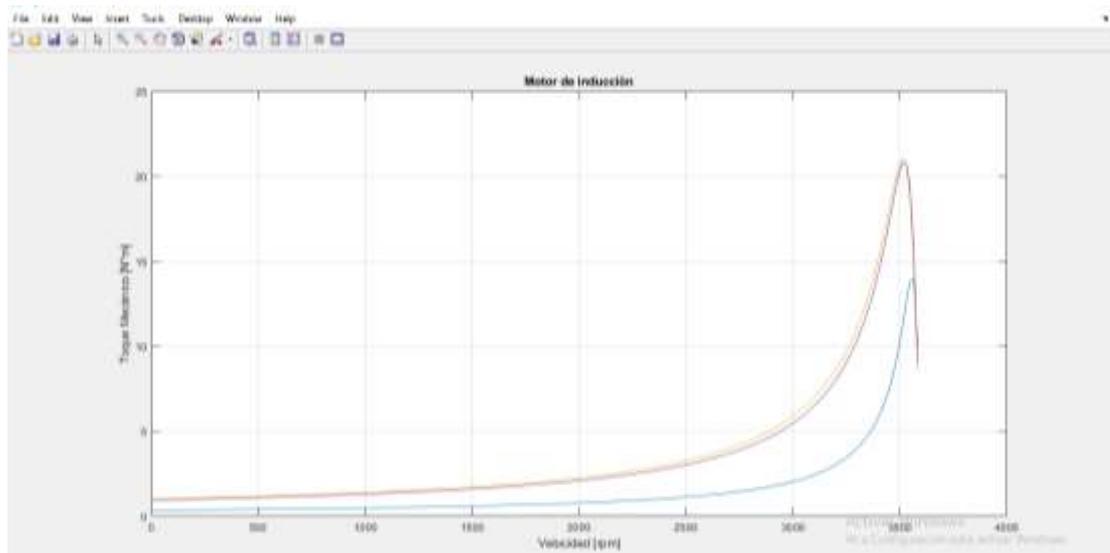


Figura 4. 11: Gráfica de matlab de torque vs velocidad en arranque de la prueba 1
Elaborado por: Autor.

- Azul fase c
- Amarilla fase a
- Morada fase b

4.1.5. Análisis del motor ABB

- Mediante las pruebas de rotor bloqueado y en vacío podemos ver que al tener el circuito equivalente y simular la gráfica de torque vs velocidad para ver el arranque, existe una descompensación de torque por fase, lo que provoca un esfuerzo eléctrico en la bobina de la fase C.
- Mediante el estudio termográfico se puede observar claramente como se sobrecalienta una de sus fases viendo puntos calientes en el material de hasta 59 °C sobrepasando su valor nominal de 45°C por 14°C por norma NETA Tabla 3.5. se tiene que realizar una reparación pronta
- Lo que ocasionan esto es cuando: Entre el centro y las barras del rotor existen transferencia desigual de calor, En las barras del rotor hay diferentes temperaturas producidas por sucesivos arranques en el motor, Se genera rotura de barras a la circulación de corriente desigual ocasionado por los gradientes de temperatura.
- Se recomienda que se realice un mantenimiento preventivo cada 4 meses y ya no 6 meses, además se recomienda cambiar el aislamiento del motor antes que se produzca un cortocircuito en el devanado en lo que es la parte eléctrica.

4.2. Diagnóstico de un motor WEG

4.2.1. Motor WEG



Figura 4. 15: Motor de de inducción WEG

Elaborado por: Autor.

Datos:

- Potencia: 7.5 Kw
- Frecuencia: 60 Hz
- I: 13.2 A
- V: 440 V
- 4 polos: 1800 rpm

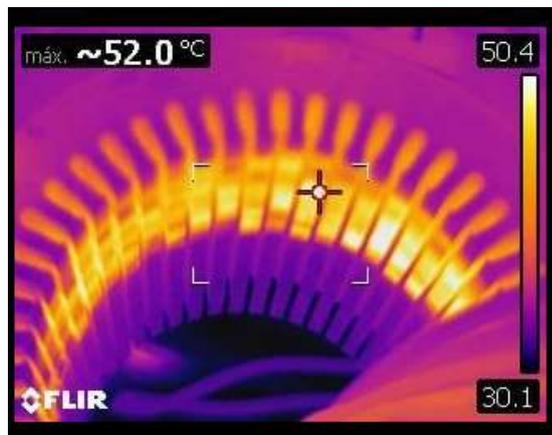


Figura 4. 16: Termograma
Elaborado por: Autor.

4.2.2. Prueba de vacío del motor WEG

Vab:	405.5	Va:	234.11	Ia:	5.1
Vbc:	405.3	Vb:	233.82	Ib:	4.9
Vca:	403.2	Vc:	232.78	Ic:	5.0
Pa:	0.095	Sa:	1.193	Qa:	1.189
Pb:	0.091	Sb:	1.145	Qb:	1.141
Pc:	0.058	Sc:	1.163	Qc:	1.161
PΣ:	0.244	SΣ:	3.501	QΣ::	3.491
FPa:	0.08	FPb:	0.07	FPc:	0.05
PFΣ: 0.08					

Tabla 4. 10: Datos de prueba de vacío

Elaborado por: Autor.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 0 \text{ Ec. 60}$$

$$\frac{r'_2}{s} \rightarrow \infty \text{ Ec. 61}$$

$$R_{fe} = \frac{V_n^2}{P_o} = \frac{405.5^2}{95} = 1730.84 [\Omega] \text{ Ec. 62}$$

$$I_{\partial} = \sqrt{I_o^2 - \frac{V_n^2}{R_{fe}}} = \sqrt{5.1^2 - \left(\frac{405.5}{1730.84}\right)^2} = 5.045 [A] \text{ Ec. 63}$$

$$X_m = \frac{V_n}{I_{\partial}} = \frac{405.5}{5.045} = 80.37 [H] \text{ Ec. 64}$$

4.2.3. Prueba de rotor bloqueado del motor WEG

Vab:	160.1	Va:	92.40	la:	12.5
Vbc:	160.5	Vb:	92.66	lb:	10.0
Vca:	160.3	Vc:	92.54	lc:	13.2
Pa:	0.666K	Sa:	1.155	Qa:	0.079
Pb:	0.535K	Sb:	0.926	Qb:	-0.082
Pc:	0.705K	Sc:	1.221	Qc:	0.096
PΣ:	1.906K	SΣ:	3.302	QΣ:	0.235
FPa:	0.64	FPc:	0.56	FPc:	0.92
PFΣ: 0.62					

Tabla 4. 11: Datos de prueba de rotor bloqueado

Elaborado por: Autor.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 \text{ Ec. 65}$$

$$\frac{r'_2}{s} \rightarrow r'_2 \text{Ec. 66}$$

$$I_{rb} = I_{nom} \text{Ec. 67}$$

Fase A

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{666}{12.5^2} = 4.26[\Omega] \text{Ec. 68}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{160.1}{12.5} = 12.8 \text{Ec. 69}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{12.8^2 - 4.26^2} = 12.07[H] \text{Ec. 70}$$

$$X_{11} = X'_{22} = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{12.07}{2} = 6.03[H] \text{Ec. 71}$$

Fase B

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{535}{10^2} = 5.35[\Omega] \text{Ec. 72}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{160.5}{10} = 16.05 \text{Ec. 73}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{16.05^2 - 5.35^2} = 15.6[H] \text{Ec. 74}$$

$$X_{11} = X'_{22} = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{15.6}{2} = 7.80[H] \text{Ec. 75}$$

Fase C

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{705}{13.2^2} = 4.04[\Omega] \text{Ec. 76}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{160.3}{13.2} = 12.14 \text{Ec. 77}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{12.14^2 - 4.04^2} = 11.448[H] \text{Ec. 78}$$

$$X_{11} = X'_{22} = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{11.44}{2} = 5.72[H] \text{ Ec. 79}$$

4.2.4. Prueba de resistencia del estator

Vdc (L1-L2):	28.5	Vdc (L2-L3):	28.5	Vdc (L3-L1):	28.5
Idc (L1-L2):	4.0	Idc (L2-L3):	3.05	Idc (L3-L1):	4.25
R (L1-L2):	3.56	R (L2-L3):	4.67	R (L3-L1):	3.35

Tabla 4. 12: Datos de prueba de resistencia del estator

Elaborado por: Autor.

$$r_1 = \frac{V_{DC}}{2 \cdot I_{DC}} = \frac{28.5}{2 \cdot 4.0} = 3.56[\Omega] \text{ Ec. 80}$$

$$r'_2 = R_{rb} - r_1 = 4.26 - 3.56 = 0.70 [\Omega] \text{ Ec. 81}$$

```

1 %Datos del motor
2 f=60; %frecuencia de operacion
3 p=4; %numero de polos del motor escido por la velocidad sincrona
4 m=3; %numero de fases
5 v=440; %voltaje
6 r1=3.35; %resistencia del estator
7 r2=0.69; %resistencia del rotor referido
8 x1=5.72; %reactancia del estator
9 x2=5.72; %reactancia del rotor
10
11 ns=(100*pi)/p;
12 s=|0:1:100|/100;
13 s(i)=0.005;
14 s=ns*(1-s);
15 for i=1:1000;
16     Tmec(i)=(7.04/ns)*m*(pi^2)/(r1+(x2/s(i))^2+(x1+w2)^2)*(x2/s(i));
17 end
18
19 %Gráfica Torque-Velocidad
20 figure(2)
21 plot(x,Tmec)
22 grid on
23 title('Motor de Inducción')
24 xlabel('Velocidad [rpm]')
25 ylabel('Torque Mecánico [W*h]')
26 hold on
  
```

Figura 4. 17: Código de matlab de torque vs velocidad en arranque de la prueba 2

Elaborado por: Autor.

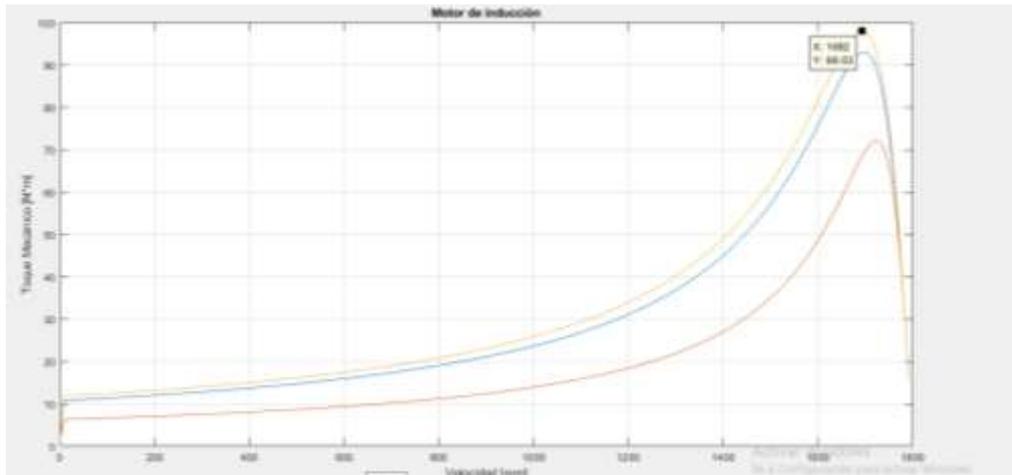


Figura 4. 18: Gráfica de matlab de torque vs velocidad en arranque de la prueba 2
Elaborado por: Autor.

- Rojo fase b
- Azul fase a
- Amarilla fase c

4.2.5. Análisis del motor WEG

- Realizandole las pruebas en rotor bloqueado se observa que su resistividad es baja relacionado a su inductancia, sabiendo que el motor consume corriente mayor a lo normal por un esfuerzo mecánico que se presenta cuando se acopla al eje una carga que hace frozar al motor y sobrecalentarlo.
- Mediante el estudio termografico de acuerdo con el IEEE 43-2000 (Institute of electrical and electronicengineers), Esta normativa de la IEEE se basa a los límites de 40°C de temperatura de aislamiento, se observa en la figura los puntos calientes que presenta el motor superando la temperatura idonea en supera a 44.2°C, determinando el daño por el parametro de temperatura, los puntos calientes en los rodamientos y en el cobre del estator.
- El desgaste de rodamientos, pérdida por fricción, falta de engrasamiento, efecto joule, La mayor cantidad de arranque seguidos ocasiona grandes temperaturas en las barras y los anillos del rotor son los que ocasionan estas averías.

- Se recomienda realizarle un mantenimiento correctivo para no quemar el motor y predictivo en dentro de 3 meses para que no se produzca de nuevo estos tipos fallas por esfuerzo mecánico.

4.3. Diagnóstico de un motor SEW-EURODRIVE

4.3.1. Motor SEW-EURODRIVE



*Figura 4. 19. Motor de inducción SEW-EURODRIVE
Elaborado por: Autor.*

Datos:

- Potencia: 3 Kw
- Frecuencia: 60 Hz
- V: 440 V
- I: 5.6 A
- 4 polos: 1800 rpm

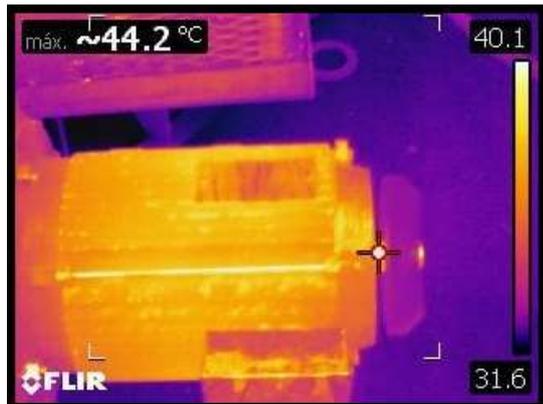


Figura 4. 20: Termograma
Elaborado por: Autor.

4.3.2. Prueba de vacío del motor SEW-EURODRIVE

Vab:	400.5	Va:	231.2	Ia:	2.83
Vbc:	400.4	Vb:	231.1	Ib:	2.82
Vca:	399.6	Vc:	230.7	Ic:	2.85
Pa:	0.052	Sa:	0.654	Qa:	0.651
Pb:	0.052	Sb:	0.651	Qb:	0.648
Pc:	0.052	Sc:	0.657	Qc:	0.654
PΣ:	0.156	SΣ:	1.962	QΣ::	1.953
Fpa:	0.07	Fpb:	0.08	Fpc:	0.07
PFΣ: 0.08					

Tabla 4. 13: Datos de prueba de vacío

Elaborado por: Autor.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 0 \text{ Ec. 82}$$

$$\frac{r'_2}{s} \rightarrow \infty \text{ Ec. 83}$$

$$R_{fe} = \frac{V_n^2}{P_o} = \frac{400.5^2}{52} = 773.08 [\Omega] \text{ Ec. 84}$$

$$I_{\theta} = \sqrt{I_o^2 - \frac{V_n^2}{R_{fe}}} = \sqrt{8.15^2 - \left(\frac{400.5}{773.08}\right)^2} = 8.14[A] \text{ Ec. 85}$$

$$X_m = \frac{V_n}{I_{\theta}} = \frac{400.5}{8.14} = 24.61[H] \text{ Ec. 86}$$

4.3.3. Prueba de rotor bloqueado del motor SEW-EURODRIVE

Vab:	180.1	Va:	103.9	la:	5.5
Vbc:	180.05	Vb:	103.9	lb:	5.6
Vca:	180.1	Vc:	103.9	lc:	5.4
Pa:	0.330K	Sa:	0.571	Qa:	0.465
Pb:	0.336K	Sb:	0.581	Qb:	0.473
Pc:	0.324K	Sc:	0.561	Qc:	0.457
PΣ:	0.99K	SΣ:	1.713	QΣ:	1.395
FPa:	0.64	FPb:	0.66	FPc:	0.65
PFΣ: 0.65					

Tabla 4. 14: Datos de prueba de rotor bloqueado

Elaborado por: Autor.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 \text{ Ec. 87}$$

$$\frac{r'_2}{s} \rightarrow r'_2 \text{ Ec. 88}$$

$$I_{rb} = I_{nom} \text{ Ec. 89}$$

Fase A

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{330}{5.5^2} = 10.9[\Omega] \text{ Ec. 90}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{103.9}{5.5} = 32.75 \text{ Ec. 91}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{32.75^2 - 10.9^2} = 30.88[H] \text{ Ec. 92}$$

$$X_{11} = X'_{22} = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{30.88}{2} = 15.44[H] \text{Ec. 93}$$

Fase B

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{333}{5.6^2} = 10.71[\Omega] \text{Ec. 94}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{180.05}{5.6} = 32.15 \text{Ec. 95}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{32.15^2 - 10.71^2} = 30.31[H] \text{Ec. 96}$$

$$X_{11} = X'_{22} = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{30.31}{2} = 15.15[H] \text{Ec. 97}$$

Fase C

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{324}{5.4^2} = 11.11[\Omega] \text{Ec. 98}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{180.1}{5.4} = 33.35 \text{Ec. 99}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{33.35^2 - 11.11^2} = 31.44[H] \text{Ec. 100}$$

$$X_{11} = X'_{22} = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{31.44}{2} = 15.72[H] \text{Ec. 101}$$

4.3.4. Prueba de resistencia del estator del motor SEW-EURODRIVE

Vdc (L1-L2):	40.15	Vdc (L2-L3):	40.15	Vdc (L3-L1):	40.15
Idc (L1-L2):	2.20	Idc (L2-L3):	2.25	Idc (L3-L1):	2.23
R (L1-L2):	9.1	R (L2-L3):	8.9	R (L3-L1):	9

Tabla 4. 15: Datos de prueba de resistencia del estator

Elaborado por: Autor.

$$r_1 = \frac{V_{DC}}{2 \cdot I_{DC}} = \frac{40.15}{2 \cdot 2.20} = 9.1[\Omega] \text{Ec. 102}$$

$$r'_2 = R_{rb} - r_1 = 10.9 - 2.28 = 1.8[\Omega] \text{Ec. 103}$$

```

Editor - C:\Users\Gonzalo\Desktop\tesis\matlab\laboratorio\Prueba3\Prueba3.m
Prueba3.m
1 %Datos del motor
2 f=60; %frecuencia de operacion
3 p=4; %numero de polos del motor sacado por la velocidad sincrona
4 m=3; %numero de fases
5 v=440; %voltage
6 r1=9; %resistencia del estator
7 r2=0.1; %resistencia del rotor referida
8 x1=15.7; %reactancia del estator
9 x2=15.7; %reactancia del rotor
10
11 ne=(210*pi)/p;
12 s=(0:1:200)/200;
13 s(1)=0.035;
14 nme*(1-s);
15 for i=1:200;
16 Tmec(i)=(7.06/50)*m*(v^2)/((r1+(x1/s(i))^2+(x2/s(i))^2)+(r2/s(i)));
17 end
18
19 %grafico Torque-Velocidad
20 figure(2)
21 plot(s,Tmec)
22 grid on
23 title('Motor de inducción')
24 xlabel('Velocidad [rpm]')
25 ylabel('Torque Mecánico [N*m]')
26 hold on

```

Figura 4. 21: Código de matlab de torque vs velocidad en la prueba 3
Elaborado por: Autor.

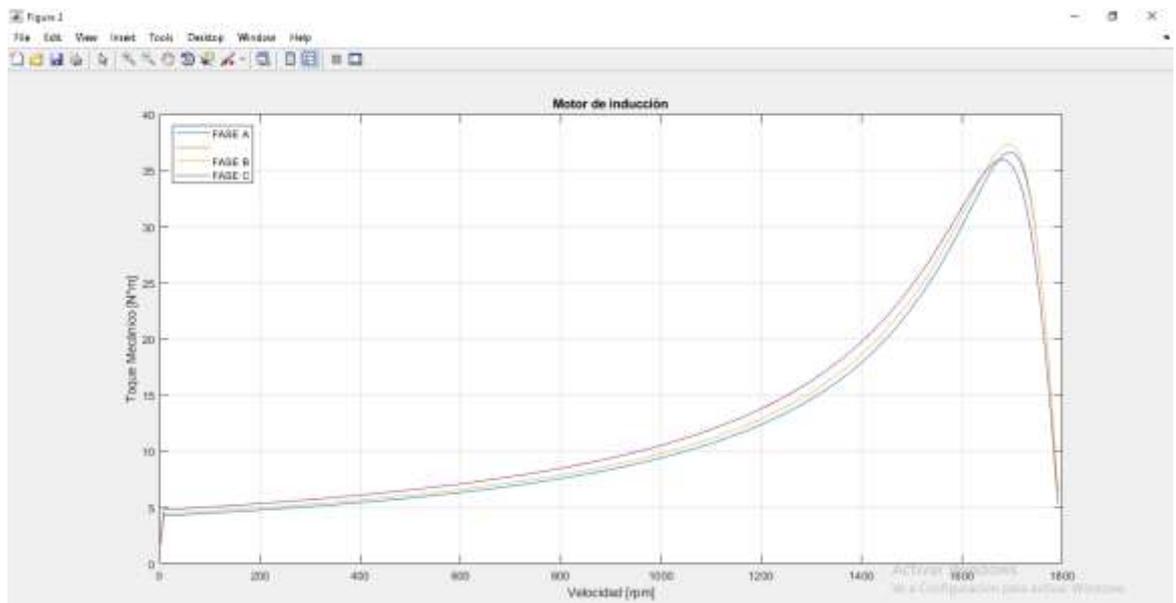


Figura 4. 22: Grafica de matlab de torque vs velocidad en arranque de la prueba 3
Elaborado por: Autor.

4.3.5. Análisis del motor SEW-EURODRIVE

- Se evalúa el motor mediante las pruebas en vacío sin ningún problema, después se realizó la prueba la prueba con rotor bloqueado los

resultados fueron los normales y por ultimo una prueba en la resistencia del estator, los parámetros del motor son buenos sin ningún problema.

- Se analiza el motor en las borneras y no se encuentra ninguna novedad de punto caliente, los cables que salen del devanado se encuentran bien y se espera que funcione siempre en esas condiciones.
- Se evalua el motor por medio de la termografía hayan puntos calientes en el eje en la parte exterior pero ningun punto caliente en el estator, conociendo como referencia la temperatura ambiente en donde trabaja y en la parte eléctrica el motor se encuentra bien, pero la parte mecánica si hay una observacion, la cual debe ser cambiada para evitar posible paros.
- La causa de este problema es por el deslizamiento, poca grasa en su equipo y desgaste de escobillas, anillos del rotor, irregularidades en el entrehierro (excentricidad) y desbalance.
- Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo para la parte mecánica, dentro de 4 meses un mantenimiento predictivo mediante la termografía porque no produce daños al motor y unas pruebas como las que se realizaron.

4.4. Diagnóstico de un motor SIEMENS

4.4.1. Motor SIEMENS



*Figura 4. 23: Motor de inducción SIEMENS
Elaborado por: Autor*

Datos:

- Potencia: 20 Hp
- Fase: 3
- Frecuencia: 60 Hz
- I: 23.9 A
- V: 440 V
- 4 polos: 1800 rpm



Figura 4. 24: Termograma
Elaborado por: Autor.

4.4.2. Prueba de vacío del motor SIEMENS

Vab:	400.1	Va:	230.99	Ia:	8.6
Vbc:	400.5	Vb:	231.22	Ib:	8.4
Vca:	400.3	Vc:	231.11	Ic:	8.3
Pa:	1.588	Sa:	1.986	Qa:	1.192
Pb:	1.553	Sb:	1.942	Qb:	1.165
Pc:	1.534	Sc:	1.918	Qc:	1.151
PΣ:	4.675	SΣ:	5.846	QΣ::	4.659
FPa:	0.8	FPb:	0.8	FPc:	0.7
PFΣ: 0.8					

Tabla 4. 16: Datos de prueba en vacío

Elaborado por: Autor.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 0 \text{ Ec. 104}$$

$$\frac{r'_2}{s} \rightarrow \infty \text{ Ec. 105}$$

$$R_{fe} = \frac{V_n^2}{P_o} = \frac{400.1^2}{1588} = 100[\Omega] \text{ Ec. 106}$$

$$I_\theta = \sqrt{I_o^2 - \frac{V_n^2}{R_{fe}}} = \sqrt{8.6^2 - \left(\frac{400.1}{100}\right)^2} = 7.6[A] \text{ Ec. 107}$$

$$X_m = \frac{V_n}{I_\theta} = \frac{400.1}{7.6} = 52.6[H] \text{ Ec. 108}$$

4.4.3. Prueba de rotor bloqueado del motor SIEMENS

Vab:	200	Va:	115.47	la:	23.90
Vbc:	200.1	Vb:	115.52	lb:	23.80
Vca:	200.2	Vc:	115.5	lc:	23.87
Pa:	1.931K	Sa:	2.759	Qa:	11.089
Pb:	1.932K	Sb:	2.749	Qb:	-11.082
Pc:	1.929K	Sc:	2.756	Qc:	12.086
PΣ:	5.792K	SΣ:	8.264	QΣ:	0.139
FPa:	0.7	FPb:	0.8	FPc:	0.7
PFΣ: 0.7					

Tabla 4. 17: Datos de prueba de rotor bloqueado

Elaborado por: Autor.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 \text{ Ec. 109}$$

$$\frac{r'_2}{s} \rightarrow r'_2 \text{ Ec. 110}$$

$$I_{rb} = I_{nom} \text{ Ec. 111}$$

Fase A

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{1931}{23.9^2} = 5.84[\Omega] \text{ Ec. 112}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{200}{23.9} = 8.36 \text{Ec. 113}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{8.36^2 - 5.84^2} = 6[H] \text{Ec. 114}$$

$$X_{11} = X_{22}' = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{6}{2} = 3H] \text{Ec. 115}$$

Fase B

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{1932}{23.8^2} = 5.9[\Omega] \text{Ec. 116}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{200.1}{23.9} = 8.4 \text{Ec. 117}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{8.4^2 - 5.9^2} = 5.97[H] \text{Ec. 118}$$

$$X_{11} = X_{22}' = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{5.97}{2} = 2.98H] \text{Ec. 119}$$

Fase C

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{1929}{23.87^2} = 5.87[\Omega] \text{Ec. 120}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{200.2}{23.87} = 8.38 \text{Ec. 121}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{8.38^2 - 5.87^2} = 5.98[H] \text{Ec. 122}$$

$$X_{11} = X_{22}' = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{5.98}{2} = 3H] \text{Ec. 123}$$

4.4.4. Prueba de resistencia del estator del motor SIEMENS

Vdc (L1-L2):	20.15	Vdc (L2-L3):	20.15	Vdc (L3-L1):	20.15
Idc (L1-L2):	2.02	Idc (L2-L3):	2.05	Idc (L3-L1):	1.97
R (L1-L2):	4.98	R (L2-L3):	5.01	R (L3-L1):	5.1

Tabla 4. 18: Datos de prueba de resistencia del estator

Elaborado por: Autor.

$$r_1 = \frac{V_{DC}}{2 \cdot I_{DC}} = \frac{20.15}{2 \cdot 2.02} = 4.98 [\Omega] \text{ Ec. 124}$$

$$r'_2 = R_{rb} - r_1 = 5.84 - 4.98 = 0.86 [\Omega] \text{ Ec. 125}$$

```

1 %Nombre del motor
2 f=60; %frecuencia de operacion
3 p=6; %numero de polos del motor escudo por la velocidad sincrona
4 m=3; %numero de fases
5 v=480; %voltage
6 r1=4.98; %resistencia del estator
7 r2=0.86; %resistencia del rotor referida
8 x1=0; %reactancia del estator
9 x2=0; %reactancia del rotor
10
11 n= (100*pi)/p;
12 w=(2*pi*60)/200;
13 s(1)=0.005;
14 wms=(1-s);
15 for i=1:200;
16     Tmec(i)=(7.06/ws)*w*(v^2)/(r1+(x2/s(i))^2+(x1+w)^2)*(x2/s(i));
17 end
18
19 %grafica Torque-Velocidad
20 figure(2)
21 plot(w,Tmec)
22 grid on
23 title('Motor de induccion')
24 xlabel('Velocidad [rpm]')
25 ylabel('Torque Mecanico [N*m]')
26 hold on

```

Figura 4. 25: Código de matlab de torque vs velocidad en la prueba 4

Elaborado por: Autor

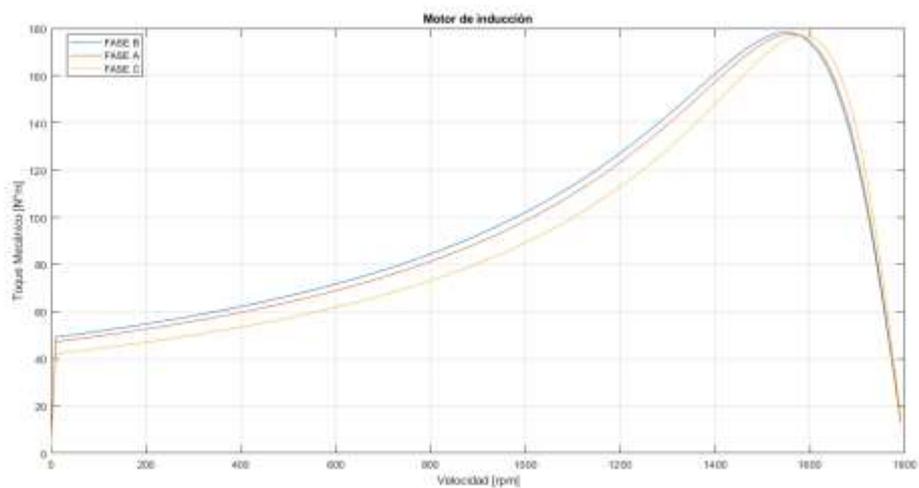


Figura 4. 26: Grafica de matlab de torque vs velocidad en la prueba 4

Elaborado por: Autor

4.4.5. Análisis del motor SIEMENS

- El presente motor después de realizar las pruebas eléctricas de vacío y cortocircuito se vio que los rangos de operación están en parámetros normales, se complementó el estudio con la termografía debido a que presenta calentamientos en la carcasa y la evaluación da mayor a 40°C.
- La causa del problema de calentamiento se lo determino por una mala ventilación y solo requería limpieza interna y engrasamiento en los rodamientos.
- Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo para evitar cualquier daño en el estator, y después de 4 meses un mantenimiento predictivo para que nos vuelva a tener estas temperaturas elevadas, Hay que tomar en consideración un sistema de ventilación extra si el motor llegara a operar con sobrecalentamiento en trabajo normal. Además, dimensionar bien el motor para el trabajo que va a realizar..

4.5. Diagnóstico de un motor ANTONINI

4.5.1. Motor ANTONINI



Figura 4. 27: Motor de inducción ANTONINI

Elaborado por: Autor.

Datos:

- Potencia: 2.2 Kw
- Frecuencia: 60 Hz
- Fase: 3
- I: 4.3 A
- V: 440 V
- 4 polos: 1800 rpm

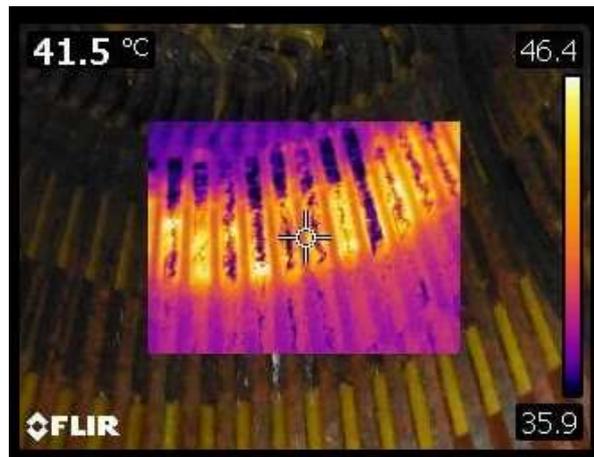


Figura 4. 28: Termograma
Elaborado por: Autor.

4.5.2. Prueba de vacío del motor ANTONINI

Vab:	438.2	Va:	120.37	Ia:	2.3
Vbc:	438.5	Vb:	120.26	Ib:	2
Vac:	438.9	Vc:	119.62	Ic:	1.8
Pa:	0.082	Sa:	0.576	Qa:	0.476
Pb:	0.082	Sb:	0.596	Qb:	0.494
Pc:	0.080	Sc:	0.581	Qc:	0.481
PΣ:	0.082	SΣ:	1.759	QΣ::	1.594
FPa:	0.08	FPb:	0.09	FPc:	0.07
PFΣ: 0.08					

Tabla 4. 19: Datos de prueba en vacío

Elaborado por: Autor.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 0 \text{ Ec. 126}$$

$$\frac{r'_2}{s} \rightarrow \infty \text{ Ec. 127}$$

$$R_{fe} = \frac{V_n^2}{P_o} = \frac{438.2^2}{2.3} = 83,486.62 [\Omega] \text{ Ec. 128}$$

$$I_{\theta} = \sqrt{I_o^2 - \frac{V_n^2}{R_{fe}}} = \sqrt{2.3^2 - \left(\frac{438.2}{83,864}\right)^2} = 2.29 [A] \text{ Ec. 129}$$

$$X_m = \frac{V_n}{I_{\theta}} = \frac{438.2}{2.3} = 190.52 [H] \text{ Ec. 130}$$

4.5.3. Prueba de rotor bloqueado del motor ANTONINI

Vab:	79.6	Va:	45.95	la:	4.3
Vbc:	79.3	Vb:	45.76	lb:	3.8
Vca:	79.9	Vc:	46.13	lc:	3.3
Pa:	0.138K	Sa:	0.197	Qa:	0.140
Pb:	0.121K	Sb:	0.173	Qb:	0.123
Pc:	0.106K	Sc:	0.152	Qc:	0.108
PΣ:	0.365K	SΣ:	0.522	QΣ:	0.371
FPa:	0.7	FPb:	0.8	FPc:	0.72
PFΣ: 0.7					

Tabla 4. 20: Datos de prueba de rotor bloqueado

Elaborado por: Autor.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 \text{ Ec. 131}$$

$$\frac{r'_2}{s} \rightarrow r'_2 \text{Ec. 132}$$

$$I_{rb} = I_{nom} \text{Ec. 133}$$

Fase A

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{138}{4.3^2} = 7.46[\Omega] \text{Ec. 134}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{79.6}{4.3} = 18.51 \text{Ec. 135}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{18.51^2 - 7.46^2} = 16.93[H] \text{Ec. 136}$$

$$X_{11} = X'_{22} = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{16.93}{2} = 8.46[H] \text{Ec. 137}$$

Fase B

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{121}{3.8^2} = 8.29[\Omega] \text{Ec. 138}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{79.3}{3.8} = 20.86 \text{Ec. 139}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{20.86^2 - 8.29^2} = 19.15[H] \text{Ec. 140}$$

$$X_{11} = X'_{22} = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{19.16}{2} = 9.5[H] \text{Ec. 141}$$

Fase C

$$R_{rb} = \frac{P_{rb}}{I_{rb}^2} = \frac{106}{3.3^2} = 9.73[\Omega] \text{Ec. 142}$$

$$Z_{rb} = \frac{V_{rb}}{I_{rb}} = \frac{79.9}{3.3} = 24.21 \text{Ec. 143}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{rb}^2} = \sqrt{24.21^2 - 9.73^2} = 22.17[H] \text{Ec. 144}$$

$$X_{11} = X'_{22} = \frac{X_{rb}}{2} = \frac{22.17}{2} = 11.08[H] \text{Ec. 145}$$

4.5.4. Prueba de resistencia del estator del motor ANTONINI

Vdc (L1-L2):	18.15	Vdc (L2-L3):	18.15	Vdc (L3-L1):	18.15
Idc (L1-L2):	1.53	Idc (L2-L3):	1.35	Idc (L3-L1):	1.12
R (L1-L2):	5.9	R (L2-L3):	6.7	R (L3-L1):	8.1

Tabla 4. 21: Datos de prueba de resistencia del estator

Elaborado por: Autor.

$$r_1 = \frac{V_{DC}}{2 \cdot I_{DC}} = \frac{18.15}{2 \cdot 1.53} = 5.9 [\Omega] \text{ Ec. 146}$$

$$r'_2 = R_{rb} - r_1 = 7.48 - 5.9 = 1.5 [\Omega] \text{ Ec. 147}$$

```

1 %Estator del motor
2 f=60; %frecuencia de operacion
3 p=4; %numero de polos del motor cuando por la velocidad sincrona
4 m=3; %numero de fases
5 v=440; %voltaje
6 r1=8.1; %resistencia del estator
7 r2=1.53; %resistencia del rotor referida
8 x1=11.08; %reactancia del estator
9 x2=11.08; %reactancia del rotor
10
11 me=(120*p)/p;
12 s=(0:1:200)/200;
13 s(1)=0.005;
14 n=me*(1-s);
15 for i=1:200;
16     Tmec(i)=(7.04/me)*m*((v^2)/(x1+(x2/s(i))^2+(x1+x2)^2))*(x2/s(i));
17 end
18
19 %Gráfica Torque-Velocidad
20 figure(2)
21 plot(n,Tmec)
22 grid on
23 title('Motor de inducción')
24 xlabel('Velocidad [rpm]')
25 ylabel('Torque Mecánico [N*m]')
26 hold on
    
```

Figura 4. 29: Código de matlab de torque vs velocidad en arranque de prueba 5

Elaborado por: Autor.

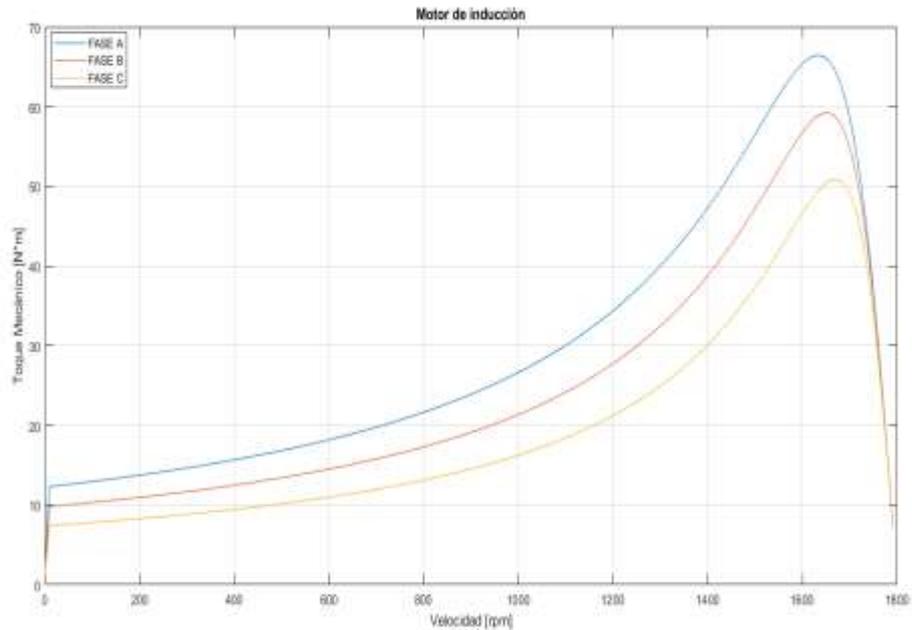


Figura 4. 30: Gráfica de matlab de torque vs velocidad en arranque de prueba 5
Elaborado por: Autor.

4.5.5. Análisis del motor ANTONINI

- Todo el bobinado del estator de este motor está completamente saturado, marca una temperatura muy elevada a la diseñada por el fabricante, y existe un desbalance en sus líneas que se necesita ser dado de baja hasta el momento ya que necesita un cambio en casi todos sus componentes eléctricos y mecánicos.
- Mediante el estudio termográfico se observa puntos calientes en el devanado del estator completamente saturado en el cobre, justo donde se presentó problemas cuando se realizaron las pruebas.
- Se presentó una corriente desbalanceada en la prueba de rotor bloqueado que afecta en un porcentaje la temperatura en las bobinas del estator, por eso cuando tienes una cantidad mínima de desbalance de fase causa un incremento en los bobinados del estator. se conoce por estadísticas que cada 3.5% de desbalance por fase, el incremento de un 25% se produce en la fase de mayor corriente por la temperatura en las bobinas.

- En las tres pruebas eléctricas realizadas conjunto al análisis por simulación vemos que el desbalance esta complemente disparado en el torque de arranque superando sus valores nominales de 28.06 N.m a casi 3 veces más su valor nominal llegando a un valor por simulación de 66.43 N.m. lo que demuestra un esfuerzo eléctrico muy grande y además un esfuerzo mecánico que desgasto los cojinetes del motor.
- Se recomienda rebobinar el motor, pero por efectos de temperatura y el tiempo que ha sido sometido este motor a esfuerzos eléctricos y mecánicos, el material ferromagnético pierde sus características magnéticas, además de las partes mecánicas también han sido afectadas como rodamientos por lo que es mejor dar de baja al motor o tenerlo en el laboratorio de pruebas como repuesto en caso de necesitar piezas provisionales.

4.6. Resultado

Se hizo el estudio a los motores para prevenir las fallas mediante pruebas eléctricas y análisis de termografía con el fin de darle una mayor eficiencia a los motores, tomando en cuenta datos ideales en el cual debe trabajar el equipo y evaluando los parámetros del motor.

En un volumen alto de motores eléctricos la mayor cantidad de fallas son por aislamiento y fallas mecánicas. Por lo cual, los daños en las espiras del estator son producidas por fallas en aislamiento, o también se le da el nombre de cortocircuito en el enrollamiento del estator. Estas causas en el estator se dan por las variaciones de voltaje que afecta al motor y a las bobinas con relación a la temperatura, por ese motivo en el instante de diseñar motores, se sugiere utilizar un parámetro que realiza la operación satisfactoria, el cual hay una variación de voltaje de más o menos 10%.

Indicando su tiempo de vida útil hemos realizado estudios para que el motor llegue a este tiempo establecido por el fabricante y no sea dado de baja antes de lo diseñado, por lo tanto, se debe seguir las pruebas eléctricas realizadas, puede ser, por simulaciones o por cálculos cada 4 meses si el

motor trabaja las 24 horas de los 7 días a la semana del año, tiene que tener un cronograma de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.

Este se recomienda hacerlo con la técnica de termografía para bajar el porcentaje de fallas eléctricas y mecánicas que sufre el motor que lo hace ser menos eficiente, además debe tener una temperatura neutra para evitar calentamiento o enfriamiento en el motor. Realizando todo esto, la vida útil de motor se aproximará a los datos del fabricante y evitara paras no programadas, con el fin de ahorro de costo-tiempo que en muchas empresas es su principal problema.

Conclusiones.

- El resultado de este estudio fue lo esperado, los motores eléctricos tipo asíncronos sufren daños cuando no tienen el cuidado correspondiente con cada una de sus partes y se producen fallas eléctricas, mecánicas y térmicas, por no realizar un mantenimiento preventivo, ni predictivo, por lo cual produce que los motores sean dados de baja antes del tiempo establecido y paras de trabajo, perjudicando a las empresas con los costos y tiempo. Además, las condiciones de temperatura influyen en los daños en los aislamientos, conductores, y las bobinas.

Mediante las pruebas eléctricas tales como, pruebas en vacío, prueba en rotor bloqueado y prueba en la resistencia del estator a los motores, se pudo ver sus parámetros las medidas en la que trabajan y por estas pruebas uno puede observar posibles averías que puede tener o indicar un mantenimiento preventivo para que no ocurra ninguna falla a futuro.

- El estudio de la termografía ha sido fundamental en este estudio para prevenir las fallas y poder tener una mayor eficiencia en los motores que trabajan 24/7 como son los de las industrias, esta técnica nos permitió visualizar puntos calientes en diferentes partes del motor que fueron eléctricas, mecánicas y térmicas, las cuales son producidas por:
 - Sobre calentamiento en el núcleo.
 - Calentamiento en las borneras
 - Desgaste de rodamiento
 - Perdida de una fase
 - Calentamiento en los conductores
 - Deslizamiento en el rotor
- Las fallas y la deficiencia de los motores eléctricos son por la falta de cronograma de mantenimiento que no se realizan, por las faltas de pruebas en el motor y sin olvidar, las malas condiciones de temperatura y donde trabajan.

Recomendaciones.

- Realizada la evaluación de las fallas y las pérdidas en los motores eléctricos, recomendaremos algunos puntos para prevenir y tener un motor eficiente de larga durabilidad, el cual pueda beneficiar a las empresas con los factores principales que son costos y tiempo en una industria.

Se recomienda evitar los siguientes puntos:

- Sobrecalentamiento en los motores
 - Temperaturas mayores a 40 grados centígrados
 - Vibraciones
 - Humedad
 - Suciedad
 - Corrosividad
 - Esfuerzos mecánicos
- Mediante el estudio termográfico uno puede observar los diferentes puntos críticos a analizar para prevenir posibles fallas, se presentará unas recomendaciones a seguir para prevenir fallas y obtener eficiencia en los motores, Son:
 - Mantenimiento preventivo
 - Mantenimiento predictivo
 - Cambio de rodamientos
 - Ventilación en lugar de trabajo
 - Las prevenciones de fallas y la eficiencia de un motor, solo se puede dar con un correcto mantenimiento preventivo y predictivo, siempre y cuando las condiciones climáticas sean las acordes a lo diseñado por el fabricante, además hay que presentar otras alternativas de precaución como son las pruebas eléctricas para conocer el estado de las resistencias del estator, las corrientes sin carga y con carga, y tener un motor eficaz.

Bibliografía

- Abarca Sigcho Diego Fernando, I. V. (2012). *Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo mediante la aplicación de termografía industrial en los motores eléctricos de la planta de eurolit en la empresa tubasec c.a.* Riobamba: Escuela superior politecnica de chimborazo.
- ABB. (Diciembre de 2014). *ABB*. Obtenido de motors & generators: www.abb.com/motors&generators
- Alfonso, f. (27 de febrero de 2017). *Power-in*. Obtenido de <https://power-mi.com/es/content/excentricidad>
- Arma, e. A. (1991). *Criterio generales para el mantenimiento de maquinas electricas rotativas*. Guayaquil: escuela politecna nacional.
- Chapman, S. J. (2012). *Maquinas electricas* . Mexico, D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A.
- Eusebi Martínez, M. T. (Agosto de 2009). Obtenido de Tecnica Industrial: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-2743-determinacion-rendimiento-motores-induccion-trifasicos-segun-norma-iec-60034-2-1.aspx>
- Farina, I. A. (Abril de 2018). Motores eléctricos trifásicos. *Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento*.
- Guru, B. S. (s.f.). *Máquinas eléctricas y transformadores* /.México, D.F. :. Oxford University Press,. c2003. xvi, 699 p. ; 24 cm. Edición ; 3a. ed.
- Ing.hector enrique peña, i. H. (1994). Energia y computacion. En i. H. Ing.hector enrique peña, *Fallas en los motores electricos de induccion* (OCTAVA ed., Vol. III, págs. 71-76).

- lópez, I. f. (2007). *editorial luciano*. obtenido de
<http://www2.ib.edu.ar/becaib/bib2007/LopezL.PDF>
- Mora, J. F. (2003). *Maquinas Electricas* . madrid: Concepcion Fernández Madrid.
- Morales Montero, J. F. (2018). *Metodología para el análisis de fallas en los motores*. Guayaquil: Universidad catolica de santiago de guayaquil.
- Neita Duarte, L. Y., & Peña Rodriguez, E. O. (2011). *Principios basicos de la termografia infrarroja y su utilizacion como técnica para mantenimiento predictivo*. Froidablanca: Universidad pontifica bolivariana facultad de ingenieria electronica .
- Peralta Nuñez, G. S. (2005). *Diagnostico de fallas en los motores de inducción*. Huancayo: Universidad nacional del centro de peru.
- Tapia Montero, G. O. (2019). *Diagnóstico de Fallas en Máquinas Eléctricas de la Planta BALMISA por análisis de Termografía*. Guayaquil: Universidad Catolica de Santiago de Guayaquil.
- Testmotors. (13 de enero de 2017). *Testmotors*. Obtenido de
<http://www.testmotors.com/es/portfolio-item/deteccion-excentricidad-motor/>

Anexo 1: Prueba al motor



Anexo 2: Prueba al motor con DC



Anexo 3: Analizando al motor





Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Cóndor Arévalo, Jahzeel Manuel** con C.C: # 092775622-1 autor del Trabajo de Titulación: **Evaluación de Pérdidas Energéticas en Motores Eléctricos trifásicos asíncronos utilizando análisis termográfico**, previo a la obtención del título de **INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 4 de marzo de 2020

f. _____

Nombre: **Cóndor Arévalo, Jahzeel Manuel**

C.C: 092775622-1

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Evaluación de Pérdidas Energéticas en Motores Eléctricos trifásicos asíncronos utilizando análisis termográfico.		
AUTOR(ES)	CÓNDOR ARÉVALO, JAHZEEL MANUEL		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Héctor Ignacio Pacheco Bohórquez		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico-Mecánico		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico-Mecánico		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	4 de marzo del 2020	No. DE PÁGINAS:	80
Áreas temáticas:	Ingeniería Eléctrica-Mecánica – Mantenimiento motores eléctricos		
Palabras claves/ keywords:	Termografía, Motor Eléctrico, Pruebas, Pérdidas, Eficiencia y Fallas		

RESUMEN/ABSTRACT:

En el presente trabajo se presentara los estados de los motores eléctricos tipo asíncrono que mediante un estudio termográfico y pruebas eléctricas analizaremos las posibles fallas que se pueda encontrar en ellos, los motores eléctrico son dados de baja antes lo establecido a lo diseñado por el fabricante y este estudio presentará los parámetros que deben ser para llegar a un aproximado de vida útil mediante las pruebas que se van realizar, la primera prueba es en vacío donde el motor trabaja sin carga con un voltaje nominal para hallar las corrientes y las potencias en las fases, la segunda prueba es en rotor bloqueado donde el motor trabaja con corriente nominal y el rotor se lo bloquea hasta hallar los voltajes y las potencias por línea, la tercera prueba es la resistencia del estator donde se inyecta corriente DC en el estator para medir la resistencia, también se conocerá los fundamentos eléctricos, el funcionamiento de un motor eléctrico con sus partes que lo conforman, con sus respectivas pérdidas eléctricas, mecánicas y térmicas que se presentan cuando están operando.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593998122399	E-mail: jahzeel_manuel@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO	
	Teléfono: +593-980960875	
	E-mail: philco_7@hotmail.com	

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	